

В.Г.Федоров  
О.М.Скарбовійчук  
О.І.Кепко  
П.О.Кравчук

# Теплофізичні характеристики продуктів і матеріалів АПК

ДОВІДНИК

Умань

2014

УДК 536, 641

ББК 30я2

Т34

Рекомендовано Вченою радою уманського національного університету садництва, як навчальний посібник для студентів технічних та технологічних спеціальностей вищих навчальних закладів  
(Протокол № 2 від 27 листопада 2014 року)

**Рецензенти:**

*Горобець В.Г.* – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплотехніки Навчально-наукового інституту енергетики і автоматики Національного університету біоресурсів і природокористування України,

*Колтунов В.А.* – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри товарознавства та експертизи продуктів Київського торговельно-економічного університету.

**Федоров В.Г.**

Т34 Теплофізичні характеристики продуктів і матеріалів АПК. Довідник / В.Г.Федоров, О.М.Скарбовійчук, О.І.Кепко, П.О.Кравчук – Умань.: Редакційно-видавничий відділ Уманського НУС, 2014. – 352 с.

У довіднику наведено вітчизняну термінологію харчової промисловості та АПК, Розглянуто теплофізичні характеристики продуктів хлібопекарського та кондитерського виробництва, м'ясо- та рибопереробки, виробництва олій та жирів. Подані дані щодо продукції виноробної, пивоварної та спиртової галузей. Увагу приділено теплофізичним характеристикам плодів і овочів та виробів із них. Окремо розглянуті ТФХ ґрунтів та основних матеріалів АПК і харчової промисловості.

Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Харчові технології та інженерія», Може бути корисним для фахівців виробничих, науково-дослідних і конструкторських установ.

**ISBN 978 966 201–132–7**

© В.Г.Федоров  
© О.М.Скарбовійчук,  
© О.І. Кепко  
© П.О. Кравчук

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ПЕРЕДМОВА .....  | 11 |
| УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН ТА ЇХ ОДИНИЦІ<br>ВИМІРУ ..... | 12 |
| РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ .....                               | 14 |
| 1.1.Способи перенесення теплової енергії .....                   | 14 |
| 1.2.Кондуктивні ТФХ .....  | 16 |
| 1.3.Конвективні ТФХ.....   | 20 |
| 1.4.Тепломасообмінні характеристики .....                        | 21 |
| 1.5.Характеристики випромінювання. ....                          | 23 |
| 1.5.1.Пасивні терморадіаційні характеристики (ТРХ).....          | 23 |
| 1.5.2.Активні ТРХ.....   | 24 |
| РОЗДІЛ 2. ВОДА І ПОВІТРЯ .....                                   | 25 |
| 2.1.Вода, лід та водяна пара .....                               | 25 |
| 2.1.1Вода. ....  | 25 |
| 2.1.2Лід. 30   |    |
| 2.1.3Водяна пара.....  | 32 |
| 2.2.Повітря. ....  | 34 |
| 2.3.Вологе повітря. ....   | 35 |
| РОЗДІЛ 3. ХЛІБОПЕКАРНЕ ТА МАКАРОННЕ ВИРОБНИЦТВО.....             | 38 |
| 3.1.Тісто.....   | 38 |
| 3.2.Тісто-хліб .....   | 42 |
| 3.3.М'якушка, скоринка, хліб .....                               | 50 |
| 3.4.Національні сорти хліба .....                                | 54 |
| 3.5.Сухарі .....   | 55 |
| 3.6.Макарони .....   | 58 |
| РОЗДІЛ 4. КОНДИТЕРСЬКЕ ВИРОБНИЦТВО .....                         | 60 |
| 4.1.Сировина .....   | 60 |
| 4.1.1.Кава.....  | 60 |
| 4.1.2.Какао.....   | 63 |
| 4.1.3.Яйця і яєчні продукти .....                                | 66 |
| 4.2.Шоколад .....  | 71 |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.3.Карамель .....                                  | 72        |
| 4.4.Мармелад .....                                  | 74        |
| 4.5.Борошняні кондитерські вироби .....             | 74        |
| 4.5.1.Бісквіт .....                                 | 74        |
| 4.5.2.Вафельні листи .....                          | 75        |
| 4.5.3.Галети .....                                  | 76        |
| 4.5.4.Печиво .....                                  | 76        |
| 4.5.5.Пряники .....                                 | 77        |
| 4.5.6.Інші види виробів .....                       | 78        |
| <b>РОЗДІЛ 5. М'ЯСНА ПРОМИСЛОВІСТЬ.....</b>          | <b>80</b> |
| 5.1.Яловичина .....                                 | 80        |
| 5.1.1. Випарна здатність м'яса .....                | 83        |
| 5.2.Свинина .....                                   | 84        |
| 5.3.Баранина .....                                  | 86        |
| 5.4.Телятина і ягнятина .....                       | 87        |
| 5.5.Ковбасні вироби .....                           | 89        |
| 5.6.Кістки .....                                    | 94        |
| 5.7.Кров .....                                      | 95        |
| 5.8.Бульйони м'ясні, м'ясо-кісткові і кісткові..... | 97        |
| <b>РОЗДІЛ 6. РИБА ТА ПРОДУКТИ З РИБИ .....</b>      | <b>99</b> |
| 6.1.Тріска.....                                     | 99        |
| 6.2.Судак .....                                     | 102       |
| 6.3.Оселедець.....                                  | 104       |
| 6.4.Щука .....                                      | 106       |
| 6.5.Скумбрія.....                                   | 109       |
| 6.6.Минтай .....                                    | 110       |
| 6.7.Хек та кулінарні вироби з риб .....             | 112       |
| 6.8.Сардина .....                                   | 113       |
| 6.9.Короп .....                                     | 114       |
| 6.10. Окунь морський.....                           | 115       |
| 6.11. Ставрида.....                                 | 117       |
| 6.12. Пікша .....                                   | 118       |

|   |            |
|---|------------|
| 6.13. Лосось.....                                 | 119        |
| 6.14. Осетер.....                                 | 120        |
| 6.15. Короп дзеркальний.....                      | 120        |
| 6.16. Лящ.....                                    | 121        |
| 6.17. Тунець.....                                 | 122        |
| 6.18. Мойва.....                                  | 122        |
| <b>РОЗДІЛ 7. ОЛІЇ ТА ЖИРИ.....</b>                | <b>124</b> |
| 7.1.Олії.....                                     | 124        |
| 7.1.1.Олія соняшникова.....                       | 124        |
| 7.1.2.Олія бавовняна.....                         | 125        |
| 7.1.3.Олія оливкова.....                          | 127        |
| 7.1.4.Олія кунжутна.....                          | 128        |
| 7.1.5.Олія кукурудзяна.....                       | 129        |
| 7.1.6.Олія соєва.....                             | 129        |
| 7.2.Жири тваринні.....                            | 131        |
| 7.2.1.Жир яловичий.....                           | 131        |
| 7.2.2.Жир баранячий.....                          | 132        |
| 7.2.3.Олії копитна і кісткова.....                | 133        |
| 7.2.4.Жир свинячий.....                           | 135        |
| 7.3.Жирові продукти.....                          | 137        |
| 7.3.1.Саломас.....                                | 137        |
| 7.3.2.Маргарин.....                               | 139        |
| 7.3.3.Жири кулінарні.....                         | 141        |
| <b>РОЗДІЛ 8. ВИНОРОБНА, ПИВОВАРНА ТА СПИРТОВА</b> |            |
| <b>ПРОМИСЛОВІСТЬ.....</b>                         | <b>144</b> |
| 8.1.Виноробство.....                              | 144        |
| 8.2.Пивоварне виробництво.....                    | 150        |
| 8.3.Спиртове виробництво.....                     | 154        |
| <b>РОЗДІЛ 9. ЦУКРОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ.....</b>       | <b>163</b> |
| 9.1.Буряк.....                                    | 163        |
| 9.2.Жом.....                                      | 166        |
| 9.3.Цукор.....                                    | 170        |
| 9.3.1.Монокристал цукру.....                      | 170        |

|  |            |
|--|------------|
| 9.3.2.Аморфний цукор.....  | 170        |
| 9.3.3.Цукор–рафінад.....   | 171        |
| 9.3.4.Цукор пісок.....   | 172        |
| <b>РОЗДІЛ 10. МОЛОКО ТА МОЛОЧНІ ПРОДУКТИ .....</b>                     | <b>174</b> |
| 10.1. Молоко .....   | 174        |
| 10.1.1. Знежирене молоко.....  | 174        |
| 10.1.2. Незбиране молоко.....  | 175        |
| 10.2. Молочні продукти.....  | 176        |
| 10.2.1. Згущене молоко.....  | 176        |
| 10.2.2. Вершки.....  | 179        |
| 10.2.3. Масло.....   | 181        |
| 10.2.4. Жир молочний.....  | 183        |
| 10.2.5. Сухе молоко.....   | 184        |
| 10.2.6. Сир (творог).....  | 186        |
| 10.2.7. Сир (бринза).....  | 187        |
| 10.2.8. Казеїн. Сироватка. Лактоза.....                                | 187        |
| 10.3. Енергетична цінність молока та молочних продукті .....           | 189        |
| <b>РОЗДІЛ 11. КАРТОПЛЯ ТА ПРОДУКТИ З НЕЇ, КРОХМАЛЬ.....</b>            | <b>190</b> |
| 11.1. Картопля свіжа .....   | 190        |
| 11.1.1. Картопля при варінні і нагріванні.....                         | 193        |
| 11.1.2. Картопля при обсмажуванні .....                                | 196        |
| 11.1.3. Картопля при охолодженні та заморожуванні .....                | 197        |
| 11.1.4. Картопля при сушінні.....                                      | 199        |
| 11.2. Вироби із картоплі .....   | 202        |
| 11.3. Крохмаль з картоплі та інших продуктів.....                      | 206        |
| 11.3.1. Крохмальна патока.....   | 210        |
| 11.4. Енергетична цінність картоплі та продуктів з неї .....           | 211        |
| <b>РОЗДІЛ 12. ОВОЧІ, ГРИБИ ТА ВИРОБИ З НИХ.....</b>                    | <b>212</b> |
| 12.1. Столовий та кормовий буряк .....                                 | 212        |
| 12.1.1. Енергетична цінність столового буряка та виробів з нього ..... | 214        |
| 12.1.2. Тепломасообмінні характеристики буряка .....                   | 214        |
| 12.2. Морква.....  | 215        |
| 12.2.1. Морква свіжа .....   | 215        |
| 12.2.2. Варіння і нагрівання.....                                      | 216        |

|              |  |            |
|--------------|--|------------|
| 12.2.3.      | Обжарювання.....   | 218        |
| 12.2.4.      | Сушіння.....   | 218        |
| 12.2.5.      | Охолодження та заморожування .....   | 219        |
| 12.2.6.      | Вироби з моркви.....   | 220        |
| 12.2.7.      | Енергетична цінність моркви та виробів з неї.....                                | 221        |
| 12.2.8.      | Тепломасообмінні характеристики моркви .....                                     | 221        |
| <b>12.3.</b> | <b>Інші коренеплоди .....</b>  | <b>221</b> |
| 12.3.1.      | Бруква.....  | 221        |
| 12.3.2.      | Ріпа .....   | 222        |
| 12.3.3.      | Редис.....   | 223        |
| 12.3.4.      | Селера.....  | 223        |
| 12.3.5.      | Петрушка, пастернак, хрін, редька.....   | 224        |
| 12.3.6.      | Енергетична цінність коренеплодів.....   | 225        |
| <b>12.4.</b> | <b>Капустяні овочі.....</b>  | <b>225</b> |
| 12.4.1.      | Капуста білокачанна .....  | 225        |
| 12.4.2.      | Капуста цвітна .....   | 227        |
| 12.4.3.      | Інші види капусти .....  | 227        |
| 12.4.4.      | Вироби з капусти.....  | 229        |
| <b>12.5.</b> | <b>Листкові овочі .....</b>  | <b>230</b> |
| 12.5.1.      | Шпинат.....  | 230        |
| 12.5.2.      | Салат.....   | 231        |
| 12.5.3.      | Щавель .....   | 232        |
| 12.5.4.      | Десертні овочі.....  | 232        |
| 12.5.5.      | Цибульні овочі.....  | 233        |
| 12.5.6.      | Енергетична цінність листових, десертних, цибульних овочів та виробів з них..... | 236        |
| <b>12.6.</b> | <b>Гарбузові овочі .....</b>   | <b>237</b> |
| 12.6.1.      | Гарбуз.....  | 237        |
| 12.6.2.      | Кабачки .....  | 238        |
| 12.6.3.      | Огірки.....  | 239        |
| 12.6.4.      | Дині.....  | 240        |
| 12.6.5.      | Кавуни .....   | 241        |
| 12.6.6.      | Енергетична цінність гарбузових овочів та виробів з них .....                    | 241        |
| <b>12.7.</b> | <b>Томатні овочі .....</b>   | <b>242</b> |
| 12.7.1.      | Томати. Свіжі томати.....  | 242        |
| 12.7.2.      | Томатопродукти .....   | 244        |
| 12.7.3.      | Перець .....   | 246        |

|  |  |            |
|--|--|------------|
| 12.7.4.  | Баклажани .....  | 247        |
| 12.7.5.  | Енергетична цінність томатних овочів та виробів з них .....      | 248        |
| 12.7.6.  | Тепломасообмінні характеристики томатних овочів.....             | 249        |
| <b>12.8.</b>   | <b>Бобові овочі .....</b>  | <b>249</b> |
| 12.8.1.  | Квасоля.....   | 249        |
| 12.8.2.  | Горох .....  | 251        |
| 12.8.3.  | Боби .....   | 254        |
| 12.8.4.  | Енергетична цінність бобових овочів та виробів з них .....       | 256        |
| 12.8.5.  | Тепломасообмінні характеристики гороху.....                      | 256        |
| <b>12.9.</b>   | <b>Гриби .....</b>   | <b>257</b> |
| <b>РОЗДІЛ 13. ПЛОДИ, ЯГОДИ ТА ВИРОБИ З НИХ .....</b> |  | <b>260</b> |
| <b>13.1.</b>   | <b>Плоди сім'ячкових культур .....</b>                           | <b>260</b> |
| 13.1.1.  | Яблука .....   | 260        |
| 13.1.2.  | Груші .....  | 271        |
| 13.1.3.  | Айва .....   | 273        |
| 13.1.4.  | Горобина .....   | 273        |
| 13.1.5.  | Енергетична цінність сім'ячкових плодів та виробів з них .....   | 274        |
|  | Енергетична цінність сім'ячкових плодів та виробів з них .....   | 274        |
| 13.1.6.  | Тепломасообмінні характеристики сім'ячкових плодів.....          | 275        |
| <b>13.2.</b>   | <b>Плоди кісточкових культур .....</b>                           | <b>275</b> |
| 13.2.1.  | Сливи.....   | 275        |
| 13.2.2.  | Вишні.....   | 277        |
| 13.2.3.  | Черешні .....  | 279        |
| 13.2.4.  | Персики .....  | 280        |
| 13.2.5.  | Абрикоси.....  | 281        |
| 13.2.6.  | Кизил .....  | 282        |
| 13.2.7.  | Енергетична цінність кісточкових плодів та виробів з них .....   | 283        |
|  | Енергетична цінність кісточкових плодів та виробів з них .....   | 283        |
| 13.2.8.  | Тепломасообмінні характеристики кісточкових .....                | 284        |
| <b>13.3.</b>   | <b>Плоди субтропічних культур .....</b>                          | <b>285</b> |
| 13.3.1.  | Мандарини .....  | 285        |
| 13.3.2.  | Лимони .....   | 285        |
| 13.3.3.  | Апельсини .....  | 286        |
| 13.3.4.  | Енергетична цінність субтропічних культур та виробів з них ..... | 289        |
| 13.3.5.  | Тепломасообмінні характеристики цитрусових.....                  | 290        |



|  |            |
|--|------------|
| 13.4. Ягоди і продукти із них .....                          | 290        |
| 13.4.1. Виноград .....                                       | 290        |
| 13.4.2. Смородина .....                                      | 293        |
| 13.4.3. Журавлина .....                                      | 294        |
| 13.4.4. Агрus.....   | 294        |
| 13.4.5. Малина .....   | 295        |
| 13.4.6. Енергетична цінність ягід та виробів із них .....    | 296        |
| Енергетична цінність ягід та виробів із них .....            | 296        |
| 13.4.7. Тепломасообмінні характеристики ягід.....            | 297        |
| <b>РОЗДІЛ 14. ЗЕРНО, КРУПИ .....</b>                         | <b>298</b> |
| 14.1. Злакові культури .....                                 | 298        |
| 14.1.1. Пшениця.....   | 298        |
| 14.1.2. Жито .....   | 304        |
| 14.1.3. Овес .....   | 306        |
| 14.1.4. Ячмінь .....   | 307        |
| 14.1.5. Кукурудза.....                                       | 310        |
| 14.1.6. Просо .....  | 311        |
| 14.1.7. Сорго .....  | 313        |
| 14.1.8. Рис.....   | 314        |
| 14.1.9. Гречка.....  | 316        |
| 14.2. Олійні і ефірно-олійні культури .....                  | 317        |
| 14.2.1. Соняшник.....  | 317        |
| 14.2.2. Бавовник.....  | 319        |
| 14.2.3. Ріпак.....   | 320        |
| 14.2.4. Інші види олійних культур.....                       | 321        |
| 14.2.5. Ефіроолійні культури.....                            | 322        |
| 14.3. Бобові культури.....                                   | 324        |
| 14.3.1. Горох .....  | 324        |
| 14.3.2. Квасоля.....   | 325        |
| 14.3.3. Соя .....  | 326        |
| 14.3.4. Кормові боби .....                                   | 327        |
| 14.3.5. Арахіс .....   | 329        |
| <b>РОЗДІЛ 15. ҐРУНТИ ТА МАТЕРІАЛИ АПК.....</b>               | <b>330</b> |
| 15.1. Залежність ТФХ ґрунтів від пористості або густини..... | 330        |
| 15.2. Вплив вологості на ТФХ ґрунтів.....                    | 331        |

|   |     |
|---|-----|
| 15.3. Вплив температури на ТФХ ґрунтів. ....                      | 334 |
| 15.4. Закладочні та промислові ґрунти .....                       | 335 |
| 15.5. Вплив мульчування на ТФХ ґрунтів. ....                      | 337 |
| 15.6. Тепличні ґрунти.....  | 339 |
| 15.7. Матеріали АПК. ....   | 340 |
| 15.7.1. ТФХ основних матеріалів АПК .....                         | 340 |
| 15.7.2. Терморадіаційні характеристики матеріалів і покриття..... | 342 |
| ЛІТЕРАТУРА.....   | 345 |
| ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК .....   | 349 |

## ПЕРЕДМОВА

Харчова промисловість України є однією з найбільш енергомістких та ресурсовитратних галузей. Зменшенню витрат енергії, сировини та матеріалів на одиницю продукції сприяє точне знання теплофізичних характеристик сільськогосподарської сировини та продуктів харчової промисловості, а також матеріалів упаковки, тощо.

В довіднику розглянуто теплофізичні характеристики продуктів хлібопекарського та кондитерського виробництва, м'ясо- та рибопереробки, виробництва олій та жирів. Подані дані щодо продукції виноробної, пивоварної та спиртової галузей. Увагу приділено теплофізичним характеристикам плодів і овочів та виробів із них. Розглянуті ТФХ ґрунтів та основних матеріалів АПК і харчової промисловості. Ця інформація потрібна студентам-технологам та механікам для виконання практичних і лабораторних занять, курсових й дипломних проектів, а також спеціалістам проектних і наукових закладів.

До хімічного складу всіх матеріалів і продуктів крім основних компонентів (жирів, білків, вуглеводів, золи) внесено також вміст мінералів та вітамінів. До фізико-хімічних властивостей належать органолептичні показники, допустимий вміст шкідливих речовин, гідромеханічні та теплофізичні характеристики, а також харчова й енергетична цінність продуктів.

Основні теплофізичні характеристики молочних продуктів — теплоємність, теплопровідність і температуропровідність є лабільними властивостями, тобто їх значення може залежати від багатьох технологічних та інших факторів — температури, часу оброблення, хімічного складу, напрямку теплової дії на продукт (охолодження або нагрівання) тощо. Найбільш точними й адекватними можна вважати такі результати вимірювання цих характеристик, які визначають із одного досліду.

## УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН ТА ЇХ ОДИНИЦІ ВИМІРУ

$t, T$  — температура, відповідно °С, К.

$\rho$  — густина, кг/м<sup>3</sup>.

$v$  — питомий об'єм, м<sup>3</sup>/кг.

$\lambda$  — теплопровідність, Вт/(м·К).

$c$  — теплоємність масова, Дж/(кг·К).

$c\rho$  — теплоємність об'ємна, Дж/(м<sup>3</sup>·К).

$a$  — температуропровідність, м<sup>2</sup>/с.

$\alpha$  — коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

$\mu$  — в'язкість динамічна, Па·с.

$\nu$  — в'язкість кінематична ( $\nu = \mu/\rho$ ), м<sup>2</sup>/с.

$Q$  — теплота, Дж.

$q$  — поверхнева густина теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>.

$h$  — питома ентальпія, Дж/кг.

$s$  — питома ентропія, Дж/(кг·К).

$r$  — питома теплота фазового перетворення, Дж/кг.

$m$  — маса речовини, кг.

$j$  — густина потоку маси, кг/(м<sup>2</sup>·с).

$p$  — тиск, Па.

$V$  — об'єм, м<sup>3</sup>.

$\omega$  — швидкість руху речовини, м/с.

$\beta$  — температурний коефіцієнт об'ємного розширення, К<sup>-1</sup>.

$\sigma$  — поверхневий натяг, Н/м.

$\theta$  — кут змочування, рад.

$W$  — масова частка вологи, %.

$\mathcal{J}$  — масова частка жиру, % .

$n$  — масова частка сухих речовин, % .

$S$  — об'ємна частка збитості морозива, % .

$v_n$  — об'ємна частка повітря в морозиві, частка одиниці.

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

### 1.1. Способи перенесення теплової енергії

Якісний бік перенесення теплової енергії (теплоти) в якійсь точці речовини характеризує температура  $t$  °С або  $T$ , К, тобто інтенсивний параметр, аналогом якого в разі перенесення електричної енергії є напруга. Аналогом сили струму є поверхнева густина теплового потоку  $q$ , Вт/м<sup>2</sup>, – кількість теплоти в Дж, що проходить за одиницю часу (с), через одиницю ізотермічної поверхні (м<sup>2</sup>) речовини. Теплота може передаватися одночасно кількома способами, густину теплового потоку визначають як сумарний ефект, отже  $q$  – це екстенсивна характеристика перенесення.

За традицією вважають, що перенесення теплової енергії відбувається трьома способами – за рахунок теплопровідності, конвекції та випромінювання, але в усіх галузях АПК теплові процеси супроводжуються фазовими перетвореннями речовини великої інтенсивності (кипіння, конденсація, випаровування, заморожування тощо), тому доцільно додати четвертий спосіб – за рахунок масообміну.

Теплопровідність або кондуктивне перенесення теплоти – це передавання внутрішньої енергії або енергії теплового руху мікрочастинок тіла у напрямку зменшення температури тіла. Вважають, що перенесення відбувається на молекулярному рівні, хоча дуже часто ці частинки менші від молекул (іони, електрони), а то й взагалі є квазічастинками (фонони).

У газах теплопровідність відбувається саме на молекулярному рівні – після зіткнення з гарячою стінкою посудини, в якій знаходиться газ, його молекули набувають енергії та швидкості, стикаються з менш рухомими молекулами, віддають їм частку енергії, тощо. Зазвичай до теплопровідності в газах додаються конвекція та випромінювання.

У газах під великим тиском та у краплинних рідинах відстані між молекулами можна порівняти з розмірами самих молекул, тому після отримання енергії від стінки або сусідньої молекули вони можуть лише збільшити

амплітуду коливання відносно якогось положення, тому тут превалює коливальний процес теплопровідності. У твердих діелектриках зберігається той самий механізм, що й в рідинах, але якщо у аморфних тілах енергія переноситься молекулами, то у кристалічних – фононами, тобто квантами пружних коливань атомів кристалу. У металів над фононою превалює електронна провідність (за рахунок вільних електронів), для напівпровідників істотними є обидва типи.

Конвекція – це перенесення речовини рухомим середовищем, наприклад, повітряним потоком. Разом з потоком відбувається перенесення внутрішньої енергії речовини. Цей процес відбувається на молярному рівні, розміри носіїв енергії («молів») незрівнянно більші від мікрочастинок – носіїв теплопровідності. Це дозволяє віднести до явищ конвекції не лише рух чистих рідин, але й запилених потоків або навіть сипких твердих матеріалів, наприклад, зерна. Якщо потік є неізотермічним, тобто відбувається теплообмін із стінками, що обмежують потік, такий теплообмін називають конвективним, в ньому відбувається теплопровідність та конвекція.

Комбінованим способом перенесення теплової енергії також є фазові перетворення. Так, під час конденсації пари на твердій стінці фактично відбувається виділення великої кількості теплоти на межі між паром та плівкою конденсату, далі теплота передається до стінки за рахунок теплопровідності та конвекції.

Ці три способи перенесення теплової енергії об'єднує той факт, що носії енергії обов'язково стикаються між собою під час її передавання, тому ці процеси носять загальну назву теплообмін зіткнення.

Зовсім іншу природу має променистий теплообмін, оскільки джерело енергії може бути на дуже великій відстані від приймача. Долати цю відстань енергія може завдяки перетворенню з теплової на променисту в поверхневих шарах твердого чи рідкого джерела або ж в надрах гарячого газу. По досягненні приймача відбувається зворотне перетворення. У даному разі термін «теплообмін» є обґрунтованішим, оскільки приймач теж випромінює енергію в напрямку джерела. Якщо ці потоки дорівнюють один одному, променистий

теплообмін має назву рівноважного.

Як окремий вид перенесення енергії променистий теплообмін має місце лише у повному вакуумі, в усіх інших випадках він відбувається одночасно з конвективним теплообміном або з чистою теплопровідністю – у твердих тілах, більш-менш прозорих для випромінювання. Так, під час прогрівання ґрунту, шару зерна або в поруватому ізоляційному матеріалі теплота передається теплопровідністю всередині окремих частинок, конвекцією та випромінюванням між ними. За цих умов має місце складний теплообмін, а якщо додається ще й випаровування краплинок води, що знаходиться в повітрі між порами та в самих частинках або навпаки конденсація пари, тоді маємо справу із складним тепло-масообміном.

Кожному виду перенесення теплоти притаманні свої теплофізичні характеристики, але для спрощення розрахунків складного тепломасообміну, який має місце в переважній більшості технологічних процесів АПК, за основу беруть найбільш інтенсивну складову, наприклад для процесу прогрівання, охолодження або зберігання зерна – теплопровідність, хоча мають місце усі чотири види перенесення теплової енергії. Решту видів враховують умовно впливом на характеристики «основного» способу. Тому в цьому довіднику зібрано інформацію здебільшого про ефективні теплофізичні характеристики продуктів і матеріалів АПК.

## 1.2. Кондуктивні ТФХ

Теплопровідність – (стара назва – коефіцієнт теплопровідності) – це здатність речовини пропускати теплову енергію через себе не затримуючи її. Ця ТФХ є коефіцієнтом пропорційності  $\lambda$  між густиною теплового потоку  $q$ , Вт/м<sup>2</sup>, та градієнтом температури  $dt/dn$ , К/м в законі Фур'є

$$q = - \lambda \cdot dt/dn \quad (1.1)$$

Знак мінус вказує на те, що вектор  $dt/dn$  спрямований в бік зростання температури речовини, а  $q$  – в бік падіння температури, отже одиницею  $\lambda$  є Вт/(м·К).



Теплопровідність  $\lambda$  є інтенсивною характеристикою, тому не підлягає закону адитивності, наприклад ефективна  $\lambda$  мокрої цегли може бути більшою, ніж  $\lambda$  сухої цегли та  $\lambda$  води. Для більшості продуктів і матеріалів АПК  $\lambda$  є функцією температури, густини, вологості, поруватості, тощо. Інтегрування (1.1.) в найпростішому випадку – теплота, що передається поперек плоскої стінки,  $q=const$ ,  $\lambda=const$  – дає формулу, аналогічну закону Ома:

$$q = \lambda \cdot \frac{\Delta t}{\delta} = \frac{\Delta t}{R}, \quad (1.2)$$

де:  $\Delta t$  – різниця температур на поверхнях стінки (рушійна сила), К;

$\delta$  – товщина стінки, м;

$R$  – термічний опір стінки,  $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ .

Теплоємність – це здатність речовини накопичувати теплову енергію з підвищенням її температури. Крім складу речовини, теплоємність залежить від характеру процесу (ізобарний, ізохорний, взагалі політропний), але в цьому довіднику наведено інформацію про ізобарну теплоємність, тому що переважна більшість технологічних процесів АПК відбувається при практично постійному тиску.

Залежно від кількості речовини, до якої відносять кількість накопиченої теплової енергії розрізняють масову, мольну, об'ємну теплоємність. Найчастіше використовують масову середню в інтервалі температур від  $t_1$  до  $t_2$  теплоємність  $c$ :

$$c = \frac{Q}{m} \cdot (t_2 - t_1) \quad (1.3)$$

де:  $Q$  – кількість накопиченої енергії, Дж або кДж;

$m$  – маса речовини, кг.

Визначена із (1.3) величина  $c$  має одиниці Дж/(кг·К) або кДж/(кг·°С) і скорочено називається теплоємність.

Інколи треба користуватися справжньою теплоємністю:

$$c = \frac{dQ}{m \cdot dt} \quad (1.4)$$

Густина (щільність) визначається, як маса речовини  $m$  в одиниці об'єму  $V$ .

Причому, термін «густина» використовуються переважно до газоподібних, рідких та сипких матеріалів, а також до традиційно вживаних понять, наприклад – густина посівів, густина теплового потоку тощо. Термін «щільність» традиційно використовується для твердих речовин.

Дійсна густина – характеристика речовини, яка кількісно визначається відношенням маси до об'єму у абсолютно щільному стані (без урахування пор, тріщин).

У своєму природному неущільненому стані сипучі матеріали характеризуються насипною густиною.

Вимірюється густина (щільність) в  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.5)$$

Хоча за своєю природою густина (щільність) не є ТФХ, від неї залежить більшість ТФХ, тому інформація про неї також зібрана в довіднику.

Залежно від характеру та розміру частинок речовини в одиниці об'єму, розрізняють справжню, насипну та уявну густину. Іноколи зручніше користуватися зворотною величиною – питомим об'ємом:  $v = 1/\rho$ ,  $\text{м}^3/\text{кг}$ .

Температуропровідність – це складна ТФХ, що визначається за формулою:

$$a = \frac{\lambda}{(c \cdot \rho)}, \text{ м}^2/\text{с} \quad (1.6)$$

Вона є характерною для нестационарного теплопереносу, коли частина теплової енергії проходить через речовину, не затримуючись ( $\lambda$ ), а друга частина накопичується ( $c \cdot \rho$ ). В результаті температура речовини менше або більше змінюється вздовж лінії теплового потоку, звідси назва цієї ТФХ.

Зворотна величина  $1/a$  є мірою теплової інерційності, однією з найбільш інерційних речовин є вода – вона має найбільше значення  $c \cdot \rho$  серед матеріалів і продуктів АПК та порівняно невелику  $\lambda$ .

В окремих випадках легше експериментально визначити  $a$ , ніж  $\lambda$  або  $c \cdot \rho$ , тому в довіднику наведено інформацію також про цю ТФХ.

Ентальпія – це максимально можлива кількість енергії, яку можна було б «видобути» або «використати» з даної кількості речовини (зазвичай з одного кілограма). Ця теоретична ТФХ має велике практичне значення в ізобарних технологічних процесах АПК, оскільки з формули (1.3) далеко не завжди можна визначити потрібну кількість теплоти  $Q$ . Наприклад, під час варки ковбаси відбуваються численні фазові перетворення води, жирів тощо, які додають або зменшують  $Q$ , але не спричиняють змінення температури. В таких випадках зручніше користуватись формулою:

$$Q = m(h_2 - h_1), \text{ кДж} \quad (1.7)$$

де:  $h_1$  та  $h_2$ , кДж/кг – початкове та кінцеве значення ентальпії.

Оскільки в практичних обрахунках треба знати не абсолютне значення  $h$ , а лише  $\Delta h = h_2 - h_1$ , нульове значення  $h$  беруть при довільній температурі (для води це  $0^\circ\text{C}$ , для м'яса – мінус  $25^\circ\text{C}$  або навіть –  $196^\circ\text{C}$ ).

Ентальпія, як і теплоємність, має екстенсивний характер, тобто для сумішей або складних речовин ці ТФХ можна розраховувати як суму ТФХ компонентів, помножених на їх частину у суміші.

Ентропія – це ТФХ речовини екстенсивного характеру, що під час перенесення теплоти  $Q$  відіграє таку ж роль, як об'єм газу під час виконання роботи розширення  $L$ :

$$Q = mT(s_2 - s_1); \quad L = mP(v_2 - v_1) \quad (1.8)$$

Перше з цих рівнянь записано для ізотермічного процесу, друге – для ізобарного, температура  $T$  і тиск  $P$  є потенціалами перенесення теплової або механічної енергії (теплоти або роботи) в будь-якому політропному процесі.

Як для ентальпії  $h$ , нульове значення  $s$  беруть при якійсь температурі, для води та водяної пари – при  $0^\circ\text{C}$ . В розрахунках теплових процесів АПК ентропія інших речовин лише починає застосовуватися (розчини сахарози тощо).

Ентропія  $s$  має таку саму одиницю, як теплоємність  $c$ , кДж/(кг·К), але ентропія речовини зростає, коли теплота до неї підводиться, та зменшується під час відведення теплоти. В реальних необоротних процесах сумарна ентропія тіл, що беруть участь в тепловому процесі, зростає.

Під час проектування огорожень різних приміщень використовують також наступні ТФХ будівельних матеріалів:

$$\text{теплова активність } b = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}, \text{ Вт} \cdot \text{с}^{1/2} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (1.9)$$

$$\text{коефіцієнт теплосасвоєння } S = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho \cdot \omega}, \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (1.10)$$

$$\text{теплова інерція } D = R \cdot S \quad (1.11)$$

В цих формулах:  $\omega$  – частота змінення температури,  $1/\text{с}$ ;  $R = \delta/\lambda$  – термічний опір стінки огороження,  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ . За інформацією щодо цих ТФХ відсилаємо до відповідних джерел.

### 1.3. Конвективні ТФХ

Під час конвективного теплообміну біля стінки (поверхні продукту) утворюється пристінний шар рідини, температура в якому змінюється від  $t_c$  – поверхні до  $t_p$  – рідини за межами пристінного шару. Розрахунки густини теплового потоку  $q$  від рідини до стінки, або навпаки, ведуть за рівнянням Ньютона:

$$q = \alpha(t_c - t_p) = \alpha \cdot \Delta t \quad (1.12)$$

Тут  $\alpha$ ,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$  – коефіцієнт конвективного теплообміну або коефіцієнт тепловіддачі. Він залежить від ТФХ рідини, інколи від ТФХ стінки, а також від багатьох інших факторів, загалом:

$$\alpha = f(w, \lambda, c, \rho, \nu, \beta, \sigma, \theta, r, \Delta t, q, x, y, z, \dots) \quad (1.13)$$

де:  $w$ ,  $\text{м} / \text{с}$  – швидкість рідини (газу) за межами пристінного шару;

$\nu$ ,  $\text{м}^2 / \text{с}$  – кінематична в'язкість рідини (за аргумент може правити також динамічна в'язкість  $\mu = \nu \cdot \rho$ ,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ ;

$\beta$ ,  $1 / \text{К}$  – коефіцієнт об'ємного розширення рідини;

$x, y, z, m$  – геометричні фактори (діаметр труби, висота стінки тощо).

Величини  $\sigma, \theta, r$  пов'язані із тепломасообміном, тому вони розглянуті у наступному підрозділі.

Оскільки серед факторів (1.13) можуть зустрітися  $\Delta t$  – рушійна сила

конвективного теплообміну (наприклад, за умов вільної конвекції рідини) та результат її дії  $q$  (наприклад, під час кипіння рідини), рівняння (1.12) не є законом, але лише розрахунковим прийомом. Для визначення  $\alpha$  в кожному конкретному випадку тепловіддачі конвекцією користуються методами теорії подібності. Оскільки цей довідник обмежено рамками ТФХ матеріалів, а не процесів, за методиками визначення  $\alpha$  відсилаємо до, наводимо лише ТФХ відповідних рідин. Одне з чисел подібності – число Прандтля ( $Pr = \nu/a$ ) є комплексною ТФХ рідини, що бере участь у конвективному теплообміні, тому для полегшення обчислень наведемо числа  $Pr$ , як функцію  $t$ , концентрації тощо.

#### 1.4. Тепломасообмінні характеристики

В довіднику наведено ТФХ, пов'язані з фазовими перетвореннями (див. п.1.1) що помітно впливають на інтенсивність перенесення теплової енергії.

Теплота фазового перетворення –  $r$ , кДж/кг – це здатність речовини виділяти або поглинати велику кількість теплової енергії без зміни температури під час переходу з одного фазового стану до іншого: затвердіння – плавлення, конденсація – випаровування, десублімація – сублімація. Для чистої рідини можна записати:

$$q = j \cdot r \quad (1.14)$$

Тут  $j$ , кг/(м<sup>2</sup>·с) – густина потоку маси, що переходить з однієї фази до іншої на 1 (одному) м<sup>2</sup> тепломасообмінної поверхні за секунду. Для продуктів АПК, компоненти яких переходять з однієї фази до іншої не одночасно, тобто не при фіксованій температурі, використовують вираз:

$$q = j \Delta h \quad (1.15)$$

Таким чином, ентальпію  $h$  почасти теж треба відносити до тепломасообмінних ТФХ.

Поверхневий натяг  $\sigma$ , Н/м – це одиниця сили, що виникає на поверхні рідкої фази, яка контактує із газуватою (паровою) фазою. Ця ТФХ є актуальною під час розрахунку  $\alpha$  при кипінні на стінці або в об'ємі.

Кут змочування  $\theta$ , рад. визначає форму бульбашки під час кипіння рідини

на твердій поверхні, що в свою чергу впливає на коефіцієнт тепловіддачі за цих умов.

Випарна здатність  $\varepsilon_e$  – це здатність продукту випаровувати з поверхні вологу у довілля порівняно із поверхнею чистої води, за однакових умов:

$$\varepsilon_e = j_{np} / j_e \quad (1.16)$$

де:  $j_{np}$  та  $j_e$ , кг/(м<sup>2</sup>·с) – густина потоку пари з поверхні продукту та води.

Інформація про цю ТФХ дозволяє використовувати дані про випаровування з поверхні води для підрахунку масообмінного компонента  $q_m$  з поверхні продукту:

$$q_{mn} = \varepsilon_e \cdot q_{me} \quad (1.17)$$

де:  $q_{me} = r \cdot j_e$ ,  $a \cdot j_e$  – густина потоку пари з поверхні води.

За формулою Дальтона

$$j_{np} = \varepsilon_e \cdot \beta \cdot (p_e - p_n) \quad (1.18)$$

де:  $j_{np}$  – коефіцієнт масовіддачі (аналог  $\alpha$ ), кг·с/Н,

$p_e$  та  $p_n$  – парціальний тиск водяної пари на поверхні води та у повітрі за межами пристінного шару.

Добуток  $\varepsilon_e \cdot \beta = k_t$  називають транспіраційним коефіцієнтом або відносною швидкістю випаровування (прийнята одиниця мг/(кг·с·МПа). Для практичних розрахунків корисним є також поняття втрати води з випаровуванням, % (доба·Мбар).

До цієї ж групи ТФХ слід віднести теплоту дихання, Дж/(кг·с), а також співвідношення між теплою, що виділяється внаслідок окислення компонентів продукту, та теплою дихання. Для продуктів, що «не дихають» наведено теплоту окислення або енергетичну цінність Ец, Дж/кг.

В довіднику не наведено інформації про масовологообмінні характеристики продуктів і матеріалів АПК і коефіцієнт дифузії, хімічний потенціал переносу осмотично або капілярно зв'язаної води, водоємність тощо.

## 1.5. Характеристики випромінювання.

### 1.5.1. Пасивні терморадіаційні характеристики (ТРХ)

Потік променистої енергії, що падає на тіло  $E_{nad}$ , Вт/м<sup>2</sup>, частково відбивається від нього  $E_R$ , поглинається  $E_A$ , а решта  $E_D$  проходить крізь нього. На теплову (внутрішню) енергію перетворюється тільки  $E_R$ .

$$E_R + E_A + E_D = E_{nad} \quad (1.19)$$

$E_R / E_{nad} = R$  – відбивальна здатність тіла,

$E_A / E_{nad} = A$  – поглинальна здатність,

$E_D / E_{nad} = D$  – пропускна здатність або діатермічність тіла.

$$R + A + D = 1 \quad (1.20)$$

Якщо  $R=D=0$ ,  $A=1$  – **тіло абсолютно чорне** (АЧТ). Більшість продуктів та матеріалів АПК мають  $A = 0,8 - 0,95$ .

Якщо  $R=1$ , а поверхня відбиває ці промені за законами геометричної оптики (кут падіння дорівнює куту відбивання) – тоді це **абсолютно дзеркальне тіло**. Якщо ж відбивання є дифузним, тобто промені відбиваються в різні боки, тіло є **абсолютно білим**. Поліруванням золотих, мідних чи алюмінієвих поверхонь можна досягти  $R = 0,96-0,98$ . У випадку  $D = 1$  тіло є **прозорим** або **діатермічним**. Повітря завтовшки 1 км над океаном може мати  $D = 0,95$ , оскільки воно складається головним чином з кисню та азоту, які є практично прозорими.

Для більшості продуктів та матеріалів усі ці ТРХ залежать від довжини хвилі  $\lambda$ , м або мкм, падаючого потоку, а також від геометричного характеру падаючого та пропущеного через шар матеріала. Такі **спектральні ТРХ** позначаються  $R_\lambda$  та  $D_\lambda$ , якщо падаючий, відбитий та пропущений потоки є дифузними, і називаються **двонапівсферичними**; та  $R'_\lambda$  та  $D'_\lambda$  якщо падаючий потік є напрямленим, а відбитий та пропущений – напівсферичними, і називаються – **напрявлено-напівсферичними ТРХ**.

Поглиналина здатність у будь-якому випадку визначається як

$$A_\lambda = 1 - R_\lambda - D_\lambda \quad (1.21)$$

До пасивних ТРХ відноситься також **глибина проникнення** теплового (або інфрачервоного) випромінювання, в товщину продукту.

### 1.5.2. Активні ТРХ

Найважливішою активною ТРХ є випромінювальна здатність  $E$  – сумарна кількість енергії, що випромінюється з одиниці поверхні тіла за одиницю часу,  $Вт/м^2$ , тобто аналог густини теплового потоку  $q$ , що передається теплопровідністю або конвенцією.



## РОЗДІЛ 2. ВОДА І ПОВІТРЯ

Вода і повітря містяться в переважній більшості сировини, продуктів і матеріалів АПК, їх ТФХ в значній мірі визначають хід будь-якого технологічного процесу та якість кінцевого продукту.

### 2.1. Вода, лід та водяна пара

#### 2.1.1 Вода.

Теоретично може існувати 42 різних ізотопних видів води, з них лише 7 є стійкими, тобто не радіоактивними. Частка важкої води із формулою  $DO_2$  ( $D$  – дейтерій, водень з атомною масою 2) становить в природній воді біля 0,15 мл на 1 л природної води. Вона має густину 1,104 кг/л, кипить за атмосферного тиску при 101,43°C, а лід з неї плавиться при 3,8°C. Важка вода пригнічує рослини, а у великих дозах викликає їх загибель. В загальній масі природної води впливом цього та інших різновидів води можна нехтувати.

Властивості звичайної води є унікальними. Якщо взяти ряд інших гідратів  $H_2S$ ,  $H_2Se$  та  $H_2Te$ , то із зменшенням молекулярної маси температури фазових переходів мають зменшуватися, отже вода за цією аналогією має замерзати при мінус 90°C, а кипіти при мінус 70, що значно відрізняється від дійсності. Одне з можливих пояснень – молекули води в кількості 12-150 об'єднуються у кластери – «згустки», які швидко утворюються та розкладаються. Ця гіпотеза дозволяє воді бути структурованою і в той же час рідкою та пояснити здатність зменшувати в'язкість із зростанням тиску (у решти рідин – навпаки), що забезпечує більшу рухомість в надрах планети.

Багато ТФХ води свідчить про те, що життя зародилося саме у воді. Так, щільність льоду майже на 11% менше, ніж у води (в інших речовинах – навпаки), тому він утворюється на її зовнішній поверхні та захищає водойми від промерзання. Цьому ж сприяє відома аномалія змінення об'єму рідкої води із температурою – під час охолодження від +4 до 0°C густина води зменшується, в

прісних водоймах відбувається стратифікація (розшарування по густині) – холодна до 0°C вода зверху, більш тепла до +4°C біля ґрунту. Це, по – перше, не дає розвиватися конвекції у водоймі, що теж захищає його від промерзання, а по-друге попереджає руйнування клітин рослин та тварин кристалами льоду.

Вода – це інертний розчинник, що зазвичай не вступає в реакцію із розчиненою речовиною. Ця властивість є дуже важливою для життя, оскільки в живих системах вода слугує інертним носієм різноманітних життєво важливих речовин.

Якщо до води потрапляють тонкодисперсні частинки, які не розчиняються в ній, молекули води вступають з їх поверхнею в контакт, втрачають свою рухомість та виділяють внутрішню кінетичну енергію, яка називається теплотою змочування. Змочування та поверхневий натяг дозволяють воді рухатися по тонких порах і тріщинах всупереч силі тяжіння (капілярний ефект). Ця здатність утворює в ґрунті так звану підвішену воду, яка за рахунок поверхневого натягу не стікає до більш глибоких горизонтів та забезпечує рослини вологою. Поверхневий натяг та змочування дозволяє воді всупереч силі тяжіння здійснюватися по тонких капілярах на 10-12 м. В значній мірі це явище впливає на тургор – пружність клітинних оболонок. Поверхневий натяг залежить від температури.

В природних умовах вода «намагається» залишитися в рідкому стані, тобто в найбільш сприятливих умовах для підтримання життя. Теплота випаровування та заморожування води (за нормальних умов 2258,5 та 332,4 кДж/кг) є більшими, ніж у будь-якої речовини, що зустрічається в АПК. Так само найбільшими є теплоємність та (як вказано в главі 1) інерційність води, що також сприяє життєвим процесам.

Таблиця 2.1

**Залежність поверхневого натягу води від температури**

| <i>t, °C</i>  | <b>5</b>               | <b>10</b>              | <b>15</b>              | <b>20</b>              | <b>25</b>              | <b>30</b>              |
|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>σ, Н/м</i> | 74,92·10 <sup>-3</sup> | 74,22·10 <sup>-3</sup> | 73,49·10 <sup>-3</sup> | 72,75·10 <sup>-3</sup> | 71,97·10 <sup>-3</sup> | 71,18·10 <sup>-3</sup> |

Інформації про ТФХ води присвячені міжнародні скелетні таблиці – книжки великого обсягу, але для потреб розрахунків, особливо комп'ютерних, будь-яких технологічних процесів АПК, до того ж з неменшою точністю, можна користуватися порівняно простими рівняннями регресії. Тиск води більший за 1 МПа в цих процесах зазвичай не використовують, його впливом на ТФХ можна нехтувати.

До наступних розрахункових формул додається гранична відносна похибка  $\delta\beta$  результату у відсотках, а також інтервал температур, в якому ця похибка є актуальною.

Коефіцієнт ізобарного розширення,  $1/K_1$

$$\beta = [(t - 4)\{29220/(t - 4)^{1,67} - 0,6\}]^{-1} \quad (2.1)$$

$$t = -15\dots + 130^{\circ}C, \delta\beta = 0,5$$

Ізобарна теплоємність, Дж/(кг·К)

$$c_p = 4218 + 2,8t \lg |0,01t| \quad (2.2)$$

При  $t = -15\dots + 130^{\circ}C, \delta c_p = 0,1\%$

Ентальпія, кДж/кг,

$$h = (0,23867/t - 2,9 \cdot 10^{-6})^{-1} \quad (2.3)$$

При  $t = 10\dots + 135^{\circ}C, \delta h = 0,2\%$

Ентропія, кДж/(кг·К),

$$s = 4,1898 \ln T - 23,505 \quad (2.4)$$

При  $t = 0\dots 150^{\circ}C, ds = 0,5\%$

Об'ємна теплоємність кДж/(м<sup>3</sup>·К),

$$c\rho = 4212 - 1,718t \quad (2.5)$$

При  $t = -15\dots + 130^{\circ}C, \delta c\rho = 0,1\%$

Теплопровідність, Вт/(м·К),

$$\lambda = [0,603 - 28,73/(t + 100)]^{0,5} \quad (2.6)$$

При  $t = 0\dots 130^{\circ}C, \delta\lambda = 0,8\%$

Температуропровідність,  $\text{м}^2/\text{с}$ ,

$$a \cdot 10^8 = 20,283 - 700/(t + 100) \quad (2.7)$$

При  $t = 0 \dots 130^\circ \text{C}$ ,  $\delta a = 0,4\%$

Динамічна в'язкість,  $\text{Па} \cdot \text{с}$

$$\lg(\mu \cdot 10^6) = (0,685 - 103,21/T)^{-1} \quad (2.8)$$

При  $t = -10 \dots 130^\circ \text{C}$ ,  $\delta \mu = 0,1\%$

Кінематична в'язкість,  $\text{м}^2/\text{с}$

$$\lg(\nu \cdot 10^9) = (0,6688 - 98,4/T)^{-1} \quad (2.9)$$

При  $t = 10 \dots 130^\circ \text{C}$ ,  $\delta \nu = 1\%$

Поверхневий натяг на межі вода-пара,  $\text{Н}/\text{м}$ ,

$$\sigma \cdot 10^3 = (11900 - 22,57T)^{0,5} \quad (2.10)$$

При  $t = 0 \dots 135^\circ \text{C}$ ,  $\delta \sigma = 0,1\%$

Число Прандтля

$$\lg(\text{Pr} \times 10^9) = (0,7906 - 128,72/T)^{-1} \quad (2.11)$$

При  $t = 0 \dots 130^\circ \text{C}$ ,  $\delta \text{Pr} = 0,5\%$

Терморадіаційні характеристики води залежить від товщини її шару  $l$  та довжини хвилі  $\lambda$  випромінювача. На рис. 2.1 наведено залежність  $D = f(\lambda)$  для ближньої ( $a$ ) та середньої ( $b$ ) ділянок інфрачервоного випромінювання, які є найбільш актуальними для технологічних процесів АПК. Проникність  $D$  є важливою характеристикою для харчових продуктів та сировини під час інфрачервоної обробки – чим більше  $D$ , тим поверхневий шар слабше прогривається, зберігаються поживні та смакові якості продукту. Спектри води використовуються під час інфрачервоної спектроскопії – кількісного та хімічного аналізу продуктів.

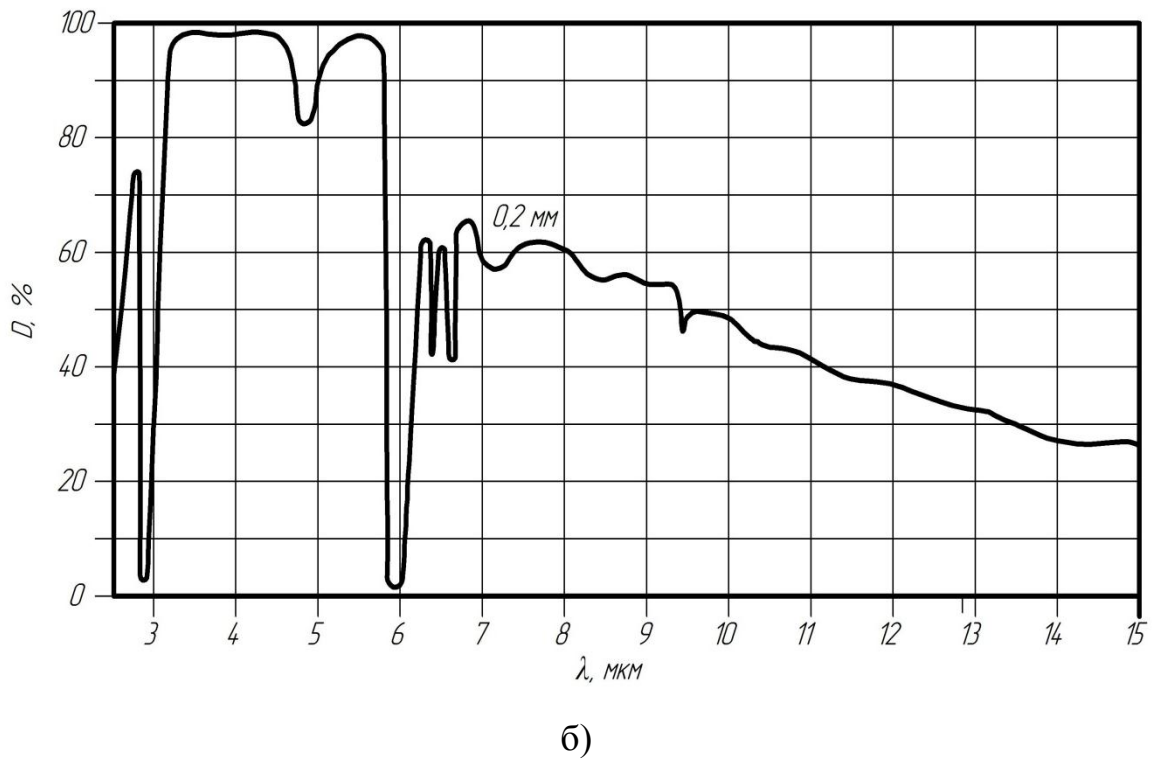
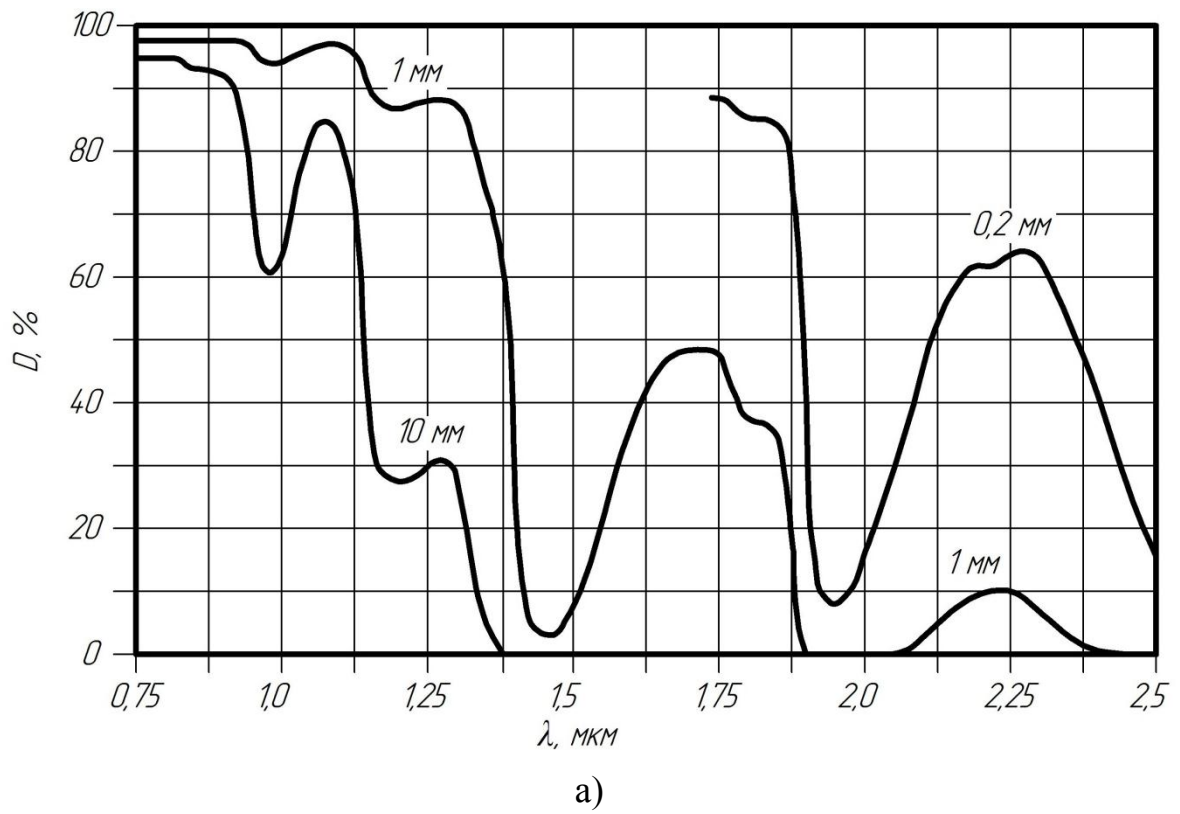


Рис. 2.1. Залежність пропускання води  $D$  від довжини хвилі  $\lambda$  випромінювача для ближньої (а) та середньої (б) ділянок інфрачервоного випромінювання

## 2.1.2 Лід.

Кристали «звичайного» льоду мають тетраедричну структуру із пустотами в кожному тетраедрі, які є більшими за розміри молекул. Під час танення деякі молекули потрапляють до цих пустот, тому густина рідкої води більша, ніж у льоду.

Крім тетраедричної, молекули води під час заморожування за спеціальних умов можуть утворювати кубічну та ще вісім різних структур, а також аморфний лід.

Лід з питної води виготовляють матовим з щільністю 690-900 кг/м<sup>3</sup> та прозорим із  $\rho = 910-917$  кг/м<sup>3</sup>. Матовий лід має білий колір завдяки пухирцям повітря та солям, що частково випали з води. Прозорий лід в товстому шарі має блакитно-зелений відтінок, він мало змерзається і не дає осаду після розморожування.

За розміром та формою частинок льоду, льодогенератори бувають лускоподібного, снігового, трубчастого та блочного льоду. Максимальна товщина льоду  $\delta_{max}$  під час заморожування на охолоджуваній стінці залежить від коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha_l$  від води до поверхні льоду та температури води  $t_e$ :

Таблиця 2.2

**Залежність максимальної товщини льоду від коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha_l$  від води до поверхні льоду та температури води  $t_e$**

| $t_e, ^\circ\text{C}$     | <b>0,05</b> | <b>0,1</b> | <b>0,2</b> | <b>0,5</b> | <b>1</b> | <b>4</b> | <b>10</b> |
|---------------------------|-------------|------------|------------|------------|----------|----------|-----------|
| $\delta_{max}, \text{мм}$ | 0,8         | 0,4        | 0,2        | 0,08       | 0,04     | 0,01     | 0,03      |

| $\alpha_l, \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ | <b>150</b> | <b>300</b> | <b>500</b> | <b>1000</b> | <b>2000</b> | <b>5000</b> |
|---|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| $\delta_{max}, \text{мм}$                       | 1330       | 670        | 400        | 200         | 100         | 40          |

Для розрахунку  $\delta_{max} = f(t_e)$  взято  $\alpha_l = 1163 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ,  $\delta_{max} = f(\alpha_l) - t_e = 0,2^\circ\text{C}$

Товщина шару льоду  $\delta$  що наморожується за добу послідовним наливанням води на горизонтальну площадку, залежить від температури повітря  $t_n$ .

**Залежність товщини шару льоду від температури повітря**

|                          |            |             |             |             |
|--------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| $t_n, ^\circ\text{C}$    | <b>- 5</b> | <b>- 10</b> | <b>- 15</b> | <b>- 20</b> |
| $\delta_{g,} \text{ мм}$ | 15         | 30          | 50          | 70          |

Під час сильного вітру  $\delta_g$  зростає в 2–3 рази.

Теплоємність льоду зменшується із зниженням температури:

Таблиця 2.4

**Залежність теплоємності льоду від температури**

|   |            |             |             |              |
|---|------------|-------------|-------------|--------------|
| $t, ^\circ\text{C}$                       | <b>- 3</b> | <b>- 23</b> | <b>- 73</b> | <b>- 173</b> |
| $c, \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | 2,074      | 1,927       | 1,561       | 0,879        |

В інтервалі температур від  $0^\circ\text{C}$  до  $-40^\circ\text{C}$  з достатньою для практичних розрахунків точністю можна вважати для прозорого льоду:

$$\rho = 916,8 - 0,15 \cdot t, \text{ кг/м}^3 \quad (2.12)$$

$$c = 2,095 + 0,0073 \cdot t, \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}) \quad (2.13)$$

$$\lambda = 2,23 - 0,0035 \cdot t, \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}) \quad (2.14)$$

В формулах (2.12) – (2.14) температуру треба брати зі знаком мінус.

Теплота сублимації, тобто переходу з твердого до парового стану  $r_c$

$$r_c = 2782,92 + 14126,26/T \quad (2.15)$$

Масова теплоємність сухого снігу та льоду однакова. Густина снігу змінюється від 70 до  $700 \text{ кг/м}^3$ , відповідно зростає його теплопровідність та температуропровідність:

Таблиця 2.5

**Залежність теплопровідності та температуропровідності снігу від його густини**

|                      | $\rho, \text{ кг/м}^3$ | $\lambda, \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$ |
|----------------------|------------------------|---|--------------------------------------|
| Сніг, що щойно випав | 180                    | 0,116   | 0,308                                |
| Сніг злежаний        | 200                    | 0,140   | 0,334                                |
|                      | 350                    | 0,349   | 0,476                                |

Терморадіаційні характеристики льоду залежать від його чистоти, товщини та стану поверхні, а також від типу випромінювачів. Відбивна здатність  $R$  є також змінною, а почасти невизначеною величиною. Під час теплових

обрахунків штучних відкритих ковзанок приймають частку енергії сонячної радіації, відбитої від поверхні льоду  $R = 0,5$ .

### 2.1.3 Водяна пара

Під час випаровування води розриваються майже усі міжмолекулярні зв'язки, тому теплота випаровування води на порядок вища за теплоту танення, хоча за водяна пара при переважанні поодиноких молекул, містить до 10% зростків молекул води.

Водяна пара – це реальний газ, але за невеликих тисків та для перегрітої пари можна користуватися рівнянням стану ідеального газу  $pv = RT$  ( $R$  – газова стала, для води  $R = 452$  кДж/(кг·К)). Відхилення поведінки пари від ідеального газу зростає з підвищенням тиску та наближенням до стану насичення, це відхилення оцінюється за допомогою коефіцієнта стислості  $z = pv/(RT)$ .

Для сухої насиченої водяної пари.

Таблиця 2.6

#### Відхилення поведінки пари від ідеального газу в залежності від тиску

| $p$ , кПа | 2     | 55    | 100   | 300   | 600   | 750   | 1000  | 1700  |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $z$       | 0,999 | 0,990 | 0,985 | 0,968 | 0,950 | 0,942 | 0,929 | 0,900 |

Для перегрітої пари можна користуватися формулою

$$Z = (1 - 1,9 \cdot 10^4 p / T^{4,2})^{0,5} \quad (2.16)$$

Тут  $p$ , Па;  $T$ , К. За тиску до  $7,5 \cdot 10^5$  Па та  $T$  до 1000 К гранична відносна похибка  $\delta z = 0,1\%$ .

Оскільки об'єм крапель води у вологій насиченій парі займає дуже мале місце, питомий об'єм суміші можна знаходити як  $v_x = xv''$ , де  $x$  – ступінь сухості пари,  $v''$ , м<sup>3</sup>/кг – питомий об'єм сухої насиченої пари, підрахований за допомогою таблиці 2.6.

Основні ТФХ пари наведено в Міжнародних скелетних таблицях, але для комп'ютерних розрахунків можна рекомендувати рівняння регресії:



Густина пари, кг/м<sup>3</sup>

$$p = \left( 461,522 \sqrt{(T/p)^2 - 1,9 \cdot 10^4 / (pT^{2,2})^{-1}} \right) \quad (2.17)$$

При  $p \leq 7,5 \cdot 10^5$  Па і  $T < 1000$  К,  $\delta\rho = -0,1$  %

Зв'язок між тиском (Па) і температурою (К) сухої і насиченої пари

$$p = \exp(23,114 - 3677/T - 241700/T^2) \quad (2.18)$$

При  $t = -4 \dots 156$  °С,  $\delta\rho = 0,2$  %

Впливом тиску пари (якщо він нижчий 1 МПа) на ТФХ можна знехтувати.

Ізобарна теплоємність, кДж/(кг·К),

$$c_p = (0,5367 - 4,64 \cdot 10^{-6} t^2)^{-1} \quad (2.19)$$

При  $t = 0 \dots 150$  °С,  $\delta\rho = 0,3$  %

Ентальпія, кДж/кг,

$$h = 738,37 T^{0,21738} \quad (2.20)$$

При  $t = 0 \dots 140$  °С,  $\delta h = 0,05$  % .

Теплота пароутворення, кДж/кг,

$$r = \exp(7,94265 - 1,59 \cdot 10^{-6} T^2). \quad (2.21)$$

При  $t = 0 \dots 140$  °С,  $\delta r = 0,1$  % .

Ентропія, кДж/(кг·К)

$$s = 4,0295 (\exp 224,48/T). \quad (2.22)$$

При  $t = 0 \dots 140$  °С,  $\delta s = 0,1$  %

Теплопровідність, Вт/(м·К),

$$\lambda = \exp(5,9 \cdot 10^{-6} T^2 - 4,5094) \quad (2.23)$$

При  $t = 0 \dots 150$  °С,  $\delta\lambda = 0,4$  %

Динамічна в'язкість, Па·с,

$$\mu = \exp(2,85 \cdot 10^{-3} T - 4,5094). \quad (2.24)$$

При  $t = 0 \dots 140$  °С,  $\delta\mu = 0,4$  %

Число Прандтля

$$Pr = 1,0 \text{ для } t = 0 \dots 130 \text{ °С при } \delta Pr = 1 \text{ \%} \quad (2.25)$$

Водяна пара в атмосфері пропускає майже всю енергію сонячного випромінювання, з малою довжиною хвилі, до Землі, але в значній мірі затримує

зворотне довгохвильове випромінювання. Таким чином утворюється парниковий ефект. За даними водяна пара відіграє при цьому значно більшу роль, ніж  $\text{CO}_2$ , тобто перехід автомобілів на водневе паливо не зменшить парникового ефекту.

## 2.2. Повітря.

Повітря – це природна суміш газів, що складають земну атмосферу. Масові частки кисню та азоту складають біля 23 та 76 %, об'ємні – відповідно 21 та 78, решта припадає на  $\text{CO}_2$ , інертні гази,  $\text{H}_2$  тощо. Об'ємні частки – це умовні величини, оскільки  $\text{O}_2$  та  $\text{N}_2$  займають увесь об'єм повітря рівномірно. Там само умовною (ефективною) є молекулярна маса повітря 28,966 кг/кмоль та інші характеристики. За температур і тисків, що зустрічаються в процесах АПК, відстань між молекулами суміші є дуже великою, вони розвивають швидкість до 500 м/с, суміш є далекою від скраплення (при  $-190^\circ\text{C}$ ) та поводить себе як ідеальний газ.

Розчинність кисню у воді вища, ніж азоту, тому частка розчиненого кисню підвищується до 35% – це підвищує корозію водопровідних труб, але допомагає розвитку життя у воді. З підвищенням температури розчинність повітря у воді, як і інших газів, зменшується – при  $0^\circ\text{C}$  в 1 л води розчиняється 28,12 мл, а при  $20^\circ\text{C}$  – 18,68 мл повітря.

Теплоємність повітря для  $t = -50 \dots +150^\circ\text{C}$  можна вважати сталою  $c_p=1,006$  кДж/(кг·К) із  $\delta c_p = 0,5 \%$ , а у практичних розрахунках  $c_p=1$  кДж/(кг·К), що дозволяє замінити поняття «водний еквівалент теплоносія», яке залишилося в теорії теплообмінних апаратів з часів, коли одиницею теплоти була кілокалорія, і теплоємність води дорівнювала 1 ккал/(кг·град), на «повітряний еквівалент теплоносія». Відповідно, якщо брати  $h_0 = 0$ , ентальпію повітря можна рахувати як  $h = 1,006 \cdot t$  або  $h = t$ .

Густина повітря

$$\rho = 3,484 p/T \quad (2.26)$$

$t = -50 \dots +150^\circ\text{C}$ ,  $\delta\rho = 0,1\%$

Теплопровідність, Вт / (м·К),

$$\lambda = (5,96 + 9590 / T)^{-1} \quad (2.27)$$

При  $t = -50 \dots 150 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\delta\lambda = 0,3\%$

Температуропровідність,  $\text{м}^2/\text{с}$ ,

$$a = 6,84 \cdot 10^{-10} \cdot T^{1,824} \quad (2.28)$$

При  $t = -50 \dots 150 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\delta a = 0,8\%$

Динамічна в'язкість,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ ,

$$\mu \cdot 10^6 = (1,133 \cdot 10^{-2} + 12,8 / T)^{-1} \quad (2.29)$$

При  $t = -50 \dots 150 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\delta\mu = 0,2\%$

Кінематична в'язкість,  $\text{м}^2/\text{с}$ ,

$$\nu = 6,46 \cdot 10^{-10} T^{1,773} \quad (2.30)$$

При  $t = -50 \dots 150 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\delta\nu = 0,2\%$

Числа Прандтля

$$Pr = 0,94 T^{-0,05} \quad (2.31)$$

При  $t = -50 \dots 150 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\delta Pr = 0,1\%$

### 2.3. Вологе повітря.

Вологе повітря – суміш сухого повітря і водяної пари – є дуже розповсюдженою в природі, сільському господарстві і техніці речовиною. Найчастіше пара знаходиться у суміші у перегрітому стані, тому суміш вважають ідеальним газом, але нехтування наявністю пари в робочих процесах АПК призвело б до значних помилок. Тому розглядають три температури повітря:

- температура сухого термометра  $t_c$  (власне температура повітря);
- температура мокрого термометра  $t_m$  – її показує термометр, голівка якого змочена за допомогою мокрого волокнистого матеріалу;
- точка роси  $t_p$  настає, коли пара стає насиченою без змінення її кількості у повітрі.

Тисків теж три:

- абсолютний тиск суміші  $p$ , найчастіше – це атмосферний тиск;
- парціальний тиск пари  $p_n$  – це тиск, який чинила б пара на стінки цієї ж ємності, та за цієї ж температури, якби сухе повітря з ємності

видалити;

- парціальний тиск сухого повітря  $p_{c.n}$ ;

За законом Дальтона:  $p = p_{c.n} + p_n$

Мір співвідношення повітря та пари теж три:

- абсолютна вологість – це маса пари в  $1 \text{ м}^3$  суміші, вона дорівнює густині пари  $\rho_n$ ,  $\text{кг/м}^3$ , при парціальному тиску  $p_p$  та  $t_c$ ;
- вологовміст  $d$ ,  $\text{г/кг с.п.}$  – це маса пари в г, що припадає на 1 кг сухого повітря;
- відносна вологості  $\varphi$  – це відношення абсолютної вологості  $p_p$  до абсолютної вологості  $p_{p.n}$ , коли пара стає насиченою при тих самих  $t_c$  і  $p$ .
- Почасту  $\varphi = 100 p_p/p_{p.n} \%$ .

Ентальпія вологого повітря розраховується, як і  $d$ , на 1 кг с.п., тобто

$$H = h_{c.n.} + 10^{-3} d \cdot h_n \quad (2.32)$$

де  $h_{c.n.}$  та  $h_n$  кДж/кг, ентальпія сухого повітря та пари.

Ентальпія  $H$  і вологовміст  $d$  – основні характеристики вологого повітря, потрібні для теплових розрахунків сушіння, кондиціювання, вентиляції, тому користуються Hd-діаграмою вологого повітря, з якої можна визначити решту означених вище характеристик, якщо задані дві з них, а також багато корисної інформації щодо процесів тепломасообміну під час обробки або зберігання сировини та продуктів, включно із усиханням – втратою маси за рахунок випарювання з поверхні матеріалу.

Вологе повітря легше сухого при однакових  $p$  і  $T$ , оскільки з рівняння стану ідеального газу  $\rho = p/(RT)$ , тобто густина обернено пропорційна газовій сталій, яка у пари менша, ніж у азоту та кисню. Суміш стає важчою за сухе повітря, якщо в ній знаходиться дрібні краплі води (туман) або кристали льоду (паморозь).

Зв'язок між температурою вологого повітря  $t_c$  і тиском насичення пари  $p_{n.n.}$

$$\ln p = 23,5326 - 4020/(t + 234,84) \quad (2.33)$$

При  $t = -6 \dots + 104 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\delta\rho = 0,15 \%$ .

В проектних та інших технічних розрахунках приймають  $d = 10$  г/кг с.п.;  $p = 0,1$  МПа. За цих умов можна користуватися рівняннями регресії для визначення ТФХ вологого повітря:

Густина, кг/м<sup>3</sup>

$$p = 348,4 / (t + 1,7 \cdot 10^{-6} t^2 + 273,15) \quad (2.34)$$

Для температур – 50 ... 1200 °С,  $\delta\rho = 0,08$  %.

Ізобарна теплоємність, Дж / (кг·К)

$$c_p = (995000 + 403|t|)^{0,5} \quad (2.35)$$

Для температур – 50 ... 1200 °С,  $\delta c_p = 1$  %.

Теплопровідність Вт (м·К)

$$\lambda \cdot 10^3 = 15,784 (t + 100)^{0,0575 \ln(t+100)} / (t+100)^{0,1715} \quad (2.36)$$

Для температур 0...1200 °С,  $\delta\lambda = 1$  %

Температуропровідність

$$a \cdot 10^6 = 7,06(t + 100)^{0,1228 \ln(t+100)} / (t+100)^{0,352} \quad (2.37)$$

Для температур 0...1200 °С,  $\delta a = 2$  %

Динамічна в'язкість, Па·с

$$\mu \cdot 10^6 = 8,4 (t + 100)^{0,04042 \ln(t+100)} / (t+100)^{0,313} \quad (2.38)$$

Для температур 0...1200 °С,  $\delta\mu = 1$  %.

Кінематична в'язкість, м<sup>2</sup>/с

$$\nu \cdot 10^3 = \exp[0,2068 - 8,64 \cdot 10^{-5} \ln^2(t+100) - 1,435 \cdot 10^{-2} \ln(t+100)]^{-1}. \quad (2.39)$$

Для температур 0...1200 °С,  $\delta\nu = 3$  %.

Число Прандтля

$$\text{Pr} \cdot 10^3 = 700 + 3,17 \cdot 10^{-5} (t + 100)^2 - 0,011 (t + 100) \quad (2.40)$$

Для температур 0 ... 1200 °С,  $\delta\text{Pr} = 1,3$  %

Ненасичене вологе повітря можна вважати цілком прозорим для ІЧ – променів, тобто  $D = 1$ , і лише за умов  $\varphi \rightarrow 1$ , а особливо коли в повітрі зависають краплинки води (такі умови можуть виникнути в камерах гігротермічної обробки хлібопродуктів) треба враховувати ослаблення променистих потоків в об'ємі суміші, але конкретних рекомендацій щодо цього враховування немає.

## РОЗДІЛ 3. ХЛІБОПЕКАРНЕ ТА МАКАРОННЕ ВИРОБНИЦТВО

### 3.1. Тісто

Густина тіста найбільш суттєво зменшується в процесі бродіння (табл. 3.1). Так, якщо до бродіння густина житнього тіста складала 1080–1120 кг/м<sup>3</sup>, то через 60-80 хв після початку цього процесу – 790-770, для житньої закваски відповідно 1113-1006.

Таблиця 3.1

Густина тіста після відповідної стадії технологічного процесу, кг/м<sup>3</sup>

| Виріб                                | Заміс | Бродіння | Ділення | Округлення | Закатка | Розстоювання |
|--------------------------------------|-------|----------|---------|------------|---------|--------------|
| Батони нарізні із борошна I сорту    | 1180  | 900      | 1040    | 1040       | 1080    | 670          |
| Міські булочки із борошна I сорту    | 1100  | 840      | 1040    | 1050       | 1040    | 680          |
| Паляниця із борошна I сорту          | 1140  | 880      | 1030    | 1040       | –       | 690          |
| Здоба звичайна із борошна I сорту    | 1190  | 830      | –       | –          | 1090    | 600          |
| Слойка із борошна вищого сорту       | 1110  | 820      | 1090    | 980        | 1020    | 590          |
| Київський арнаут із борошна II сорту | 1080  | 810      | 1060    | 1040       | –       | 720          |
| Хліб «Український»                   | 1160  | 850      | 1090    | –          | –       | 780          |

В процесі бродіння тіста та закваски на динаміку зменшення густини впливають такі фактори, як тривалість процесу і величина масової частки вологи  $W$  в тісті (табл. 3.2.)

При підвищенні  $W$  густина опари  $\rho$  збільшується, особливо для густих опар (табл. 3.3.).

Таблиця 3.2

Густина (кг/м<sup>3</sup>) житнього тіста в процесі бродіння  
( при  $\tau = 0$  хв,  $\rho = 1150$  кг/м<sup>3</sup>)

| W    | Тривалість бродіння тіста, хв. |     |     | W    | Тривалість бродіння закваски, хв. |     |     |     |     |
|------|--------------------------------|-----|-----|------|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|      | 25                             | 55  | 90  |      | 30                                | 75  | 110 | 175 | 240 |
| 0,48 | 1100                           | 977 | 870 | 0,45 | 1169                              | 924 | 883 | 865 | 862 |
| 0,49 | 1088                           | 965 | 870 | 0,46 | 1140                              | 924 | 870 | 850 | 842 |
| 0,50 | 1073                           | 936 | 860 | 0,47 | 1140                              | 883 | 849 | 840 | 835 |
| 0,51 | 1072                           | 934 | 850 | 0,49 | 1140                              | 879 | 808 | 872 | 782 |
| 0,52 | 1063                           | 925 | 840 | 0,51 | 1140                              | 866 | 800 | 753 | 753 |
| 0,53 | 1056                           | 916 | 830 |      |                                   |     |     |     |     |

Таблиця 3.3.

## Густина опар з пшеничного борошна I сорту в процесі бродіння

| Тривалість бродіння, год. | Рецептура*                 |                            |                            |                            |                            |                            |                            |                            |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                           | <u>0,30</u><br><u>0,70</u> | <u>0,40</u><br><u>0,64</u> | <u>0,50</u><br><u>0,60</u> | <u>0,60</u><br><u>0,55</u> | <u>0,70</u><br><u>0,52</u> | <u>0,80</u><br><u>0,49</u> | <u>0,90</u><br><u>0,47</u> | <u>1,0</u><br><u>0,445</u> |
| 0                         | 1250                       | 1280                       | 1220                       | 1200                       | 1200                       | 1220                       | 1230                       | 1110                       |
| 1                         | 1250                       | 1280                       | 1120                       | 1200                       | 1120                       | 1120                       | 1130                       | 1040                       |
| 2                         | 1170                       | 1200                       | 1170                       | 1100                       | 1000                       | 840                        | 770                        | 710                        |
| 3                         | 1100                       | 1000                       | 860                        | 820                        | 800                        | 640                        | 640                        | 520                        |
| 3,5                       | 1050                       | 970                        | 810                        | 730                        | 700                        | 540                        | 530                        | 460                        |
| 4                         | 1040                       | 940                        | 710                        | 600                        | 570                        | 430                        | 410                        | 370                        |

\* В чисельнику – масова частка сухих речовин (СР) борошна, в знаменнику – масова частка вологи

Густина рідкої маси опари і тіста з підвищенням тиску пресування збільшується (табл. 3.4 і 3.5).

Таблиця 3.4

## Густина рідкої опари з борошна I і II сорту

| W    | ρ, кПа |     |     |      |      |      |
|------|--------|-----|-----|------|------|------|
|      | 50     | 100 | 150 | 200  | 250  | 350  |
| 0,65 | 760    | 840 | 920 | 1000 | 1040 | 1080 |
| 0,68 | 840    | 900 | 950 | 1000 | 1040 | 1090 |
| 0,70 | 880    | 930 | 970 | 1020 | 1060 | 1120 |

Густина тіста залежить не тільки від тиску пресування, але і від виду тіста.

Таблиця 3.5

## Густина тіста

| Тісто        | ρ, кПа |      |      |      |
|--------------|--------|------|------|------|
|              | 40     | 98   | 196  | 294  |
| Пшеничне 72% | 1100   | 1160 | 1200 | 1220 |
| Пшеничне 85% | 1100   | 1140 | 1190 | 1210 |
| Пшеничне 96% | 1080   | 1130 | 1160 | 1180 |
| Житнє 95%    | 1080   | 1120 | 1150 | 1170 |

Густина тіста житнього ( $W = 0,528$ ), пшеничного II сорту ( $W = 0,46$ ) і пшеничного I сорту ( $W = 0,43$ ) при  $T = 301...304$  К в залежності від тиску пресування описується такою формулою

для вибродженого тіста при  $p < 150$  кПа

$$\rho = 1040 + 1,12p - 0,0023p^2 \quad (3.1)$$

для тіста, що не бродило при  $p < 60$  кПа.

$$\rho = 1149 + 0,69p - 0,0017p^2 \quad (3.2)$$

Співставлення формул (3.1) і (3.2) показує, що густина невивродженого тіста менше залежить від тиску пресування, чим густина вивродженого. Це пояснюється тим, що в вивродженому тісті міститься більше газів, які легко стискаються.

Густина ( $\text{кг/м}^3$ ) тіста українських бубликів ( $W = 0,312 \dots 0,324$ ), бубликів ванільних, цукрових і гірчичних ( $W = 0,312 \dots 0,330$ ) залежно від тиску пресування описується єдиною формулою:

при  $p > 782$  кПа і  $T = 301\text{K}$

$$\rho = 1282 + 0,0067 p \quad (3.3)$$

Спільне опрацювання експериментальних даних по теплопровідності в  $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$  тіста із пшеничного борошна I сорту ( $W = 0,41 \dots 0,49$ ) при  $T = 301\text{--}313$  К дозволило рекомендувати формулу:

при  $589 < \rho < 1150$   $\text{кг/м}^3$

$$\lambda = 0,159 + 0,000263 \rho \quad (3.4)$$

Теплоємність в  $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$  тіста може бути визначена за формулою адитивності:

$$c = 1675 + 2510 W \quad (3.5)$$

Теплофізичні характеристики тіста в процесі замісу і бродіння наведені в табл. 3.6. Значення теплопровідності тіста без додавання дріжджів наведені в табл. 3.7, а з дріжджами – в таблиці 3.8.

Таблиця 3.6

**Теплофізичні характеристики пшеничного тіста через  $\tau$ , хв.**

| Технологічний процес | $c\rho$ , $\text{кДж / (м}^3\cdot\text{К)}$ |      |      |      | $\lambda$ , $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ |      |      |      | $a \cdot 10^8$ , $\text{м}^2/\text{с}$ |    |    |     |
|----------------------|---|------|------|------|--|------|------|------|--|----|----|-----|
|                      | 0   | 30   | 60   | 150  | 0  | 30   | 60   | 150  | 0                                      | 30 | 60 | 150 |
| <b>Заміс</b>         | 2550  | 2200 | 1700 | 2200 | 0,65                                     | 0,55 | 0,65 | 0,40 | 25                                     | 23 | 35 | 17  |
| <b>Бродіння</b>      | 2200  | 2500 | 2000 | -    | 0,57                                     | 0,31 | 0,42 | -    | 27                                     | 12 | 19 | -   |



Таблиця 3.7

**Теплопровідність тіста без додавання дріжджів**

| Тісто    | $W$         | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $\lambda$ , Вт/(м·К) |
|----------|-------------|----------------------------|----------------------|
| Пшеничне | 0,48 – 0,49 | 1140 – 1170                | 0,442 – 0,465        |
| Житнє    | 0,44 – 0,46 | 1140 – 1150                | 0,430 – 0,442        |
| – // –   | 0,50 – 0,52 | 1200 – 1220                | 0,570 – 0,593        |

Таблиця 3.8

**Теплофізичні характеристики дріжджового тіста з пшеничного борошна I сорту**

| $T$ , К   | $W$   | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К) |
|-----------|-------|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 293 – 313 | 0,430 | 0,36                 | 19,7                               | 1852                              |
| 323 – 343 | 0,427 | 0,37                 | 19,9                               | 1859                              |
| 343 – 363 | 0,410 | 0,45                 | 20,0                               | 2250                              |

Температуропровідність тіста з пшеничного борошна першого сорту наведено в табл.3.9.

Таблиця 3.9

**Розрахункові значення температуропровідності тіста з пшеничного борошна I сорту ( $W = 0,41 - 0,49$ ) при  $T = 301-303$  К**

| $\rho$ , кг / м <sup>3</sup>       | 600  | 700  | 800  | 900  | 1150 |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 18,8 | 17,5 | 16,4 | 15,7 | 14,3 |

Теплопровідність і температуропровідність дріжджового тіста з пшеничного борошна I сорту визначають за формулами:

при  $480 < \rho < 770$  кг/м<sup>3</sup>,  $303 < T < 353$  К,  $0,41 < W < 0,43$

$$\lambda = 0,37 - 0,00003\rho - 79,5W + 0,00115T \quad (3.6)$$

$$a \cdot 10^8 = 17,64 - 0,00084\rho - 0,489W + 0,00891T \quad (3.7)$$

Систематизовані значення ГФХ тіста наведена в таблиці 3.10.

## Теплофізичні характеристики тіста

| Тісто                         | $T, K$    | $W, \%$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг K)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м K)}$ | $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|-------------------------------|-----------|---------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| Із пшеничного борошна I сорту | 338       | 0,41    | 629                   | 2805                  | 0,328                      | 19,2                                |
| Нерозпушене                   | 301       | 0,430   | 1030                  | 1748                  | 0,438                      | 24,4                                |
| Перед випічкою                | 301       | 0,427   | 623                   | 2983                  | 0,414                      | 22,2                                |
|                               | –         | 0,480   | 1160                  | 3366                  | 0,465                      | 12,2                                |
|                               | –         | 0,41    | 900                   | 2705                  | 0,405                      | 16,6                                |
|                               | –         | 0,42    | 550                   | 2730                  | 0,250                      | 16,4                                |
|                               | –         | 0,448   | 586                   | 2801                  | 0,314                      | 19,1                                |
|                               | –         | 0,451   | 629                   | 2805                  | 0,328                      | 18,6                                |
|                               | 303...313 | –       | 629                   | 2800                  | 0,24...0,37                | 19,5...22                           |
| Житнє                         | –         | 0,515   | 1170                  | 3978                  | 0,593                      | 12,8                                |
|                               | 328       | 0,55    | 718                   | 3023                  | 0,407                      | 18,7                                |
|                               | –         | 0,539   | 701                   | 3027                  | 0,396                      | 18,75                               |

## 3.2. Тісто-хліб

**Радіаційно-конвективна випічка.** В процесі випікання маса і об'єм тіста-хліба зменшуються, але маса зменшується помітніше, тому густина тіста-хліба стає меншою.

Таблиця 3.11

## Густина і теплопровідність тіста-хліба

| $\tau, \text{хв.}$ | Житній |                       |                            | Пшеничний |                       |                            |
|--------------------|--------|-----------------------|----------------------------|-----------|-----------------------|----------------------------|
|                    | $W$    | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $\lambda, \text{Вт/(м K)}$ | $W$       | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $\lambda, \text{Вт/(м K)}$ |
| 5                  | 0,47   | 700                   | 0,32                       | 0,51      | 435                   | 0,15                       |
| 7                  | 0,46   | 648                   | 0,24                       | 0,49      | 388                   | 0,14                       |
| 10                 | 0,45   | 520                   | 0,24                       | 0,42      | 370                   | 0,14                       |
| 15                 | 0,43   | 581                   | 0,23                       | 0,38      | 353                   | 0,14                       |
| 20                 | 0,40   | 520                   | 0,19                       | 0,37      | 320                   | 0,13                       |

Теплоємність сухої речовини тіста-хліба залежить від його виду. Так, теплоємність сухої речовини тіста-хліба з житньої борошна – 1,42 кДж/(кг·К), а опари із борошна I і II сорту і хліба пшеничного з того ж борошна – 1,5 кДж/кг·К.

## Густина і теплопровідність пшеничного тіста-хліба

| $\tau$ , хв. | $T$ , К | Втрати<br>вологи, % | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $\lambda$ , Вт/(м·К) |
|--------------|---------|---------------------|----------------------------|----------------------|
| 8            | 306     | 1,25                | 307,3                      | 0,72                 |
| 16           | 333     | 1,87                | 284,6                      | 0,67                 |
| 24           | 363     | 2,73                | 275,1                      | 0,66                 |
| 32           | 371     | 3,79                | 263,6                      | 0,64                 |

З підвищенням температури сухої речовини тіста-хліба його теплоємність збільшується. Обробка даних по  $c = f(T)$  сухої речовини пшеничного хліба для визначення його теплоємності в Дж/(кг·К) дозволяє рекомендувати таку формулу:

при  $138 < T < 313$  К

$$c_p = 270 + 3,15T \quad (3.8)$$

Формули, які визначають залежність теплоємності тіста-хліба від масової частки вологи: при  $0 < W < 1$

$$c = 1675 + 2512W \quad (3.9)$$

при  $0 < W < 1$

$$c = 1130 + 3056W \quad (3.10)$$

Значення теплоємності тіста-хліба, розраховані за формулами (3.9) і (3.10) відрізняються до 48% (при  $W = 0$ ). Недоліком цих формул є те, що вони не враховують вплив температури на теплоємність тіста-хліба.

Теплоємність основних сортів тіста-хліба без врахування теплоти на випаровування вологи описується єдиною формулою:

$$c = A + 17T \quad (3.11)$$

Значення  $A$  та  $c$  для різних сортів тіста-хліба наведені в таблиці 3.13.

Теплоємність тіста-хліба (з врахуванням теплоти на випаровування вологи) з підвищенням температури зменшується і описується формулою:

при  $293 < T < 353$  К

$$c = B - 1,7T \quad (3.12)$$

**Теплоємність тіста-хліба в Дж/(кг·К) без врахування теплоти на випаровування вологи**

| Тісто-хліб  | <i>A</i> | <i>T, K</i> |            |                                  |
|---|----------|-------------|------------|----------------------------------|
|   |          | <b>303</b>  | <b>373</b> | <b>в інтервалі<br/>303...373</b> |
| З пшеничного борошна I сорту  | -2746    | 2405        | 3560       | 2982                             |
| II сорту  | -2403    | 2748        | 3952       | 3350                             |
| З суміші житнього і пшеничного борошна (60% борошна пшеничного II сорту і 40% житнього обдирного) | -2848    | 2303        | 3374       | 2838                             |

Значення *B* та *c* для тіста-хліба наведені в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14

**Теплоємність в Дж/(кг·К) тіста-хліба з врахуванням тепла на випаровування вологи**

| Тісто-хліб                  | <i>W</i> | <i>B</i> | <i>T, K</i> |            |
|-----------------------------|----------|----------|-------------|------------|
|                             |          |          | <b>303</b>  | <b>373</b> |
| Житній                      | 0,80     | 3588     | 3073        | 2954       |
| »                           | 0,32     | 3388     | 2873        | 2754       |
| Пшеничний з борошна I сорту | 0,30     | 3388     | 2873        | 2754       |

Із зменшенням масової частки вологи в тісті-хлібі теплоємність знижується, причому в інтервалі 0...0,60 незначно, а в інтервалі  $W = 0,6...1$  значно (табл. 3.14).

Теплоємність в Дж/(кг·К) тіста-хліба з пшеничного борошна I сорту залежно від хімічного складу визначається при  $0,10 < C < 0,15$  і  $0,10 < Ж < 0,15$  за формулою:

$$c = 2900 + 2200 C - 1700Ж + 300W \quad (3.13)$$

де: *C* та *Ж* – масові частки сахарози та жиру.

Об'ємна теплоємність тіста-хліба в процесі випікання (особливо на початку) зменшується. Це пов'язано із зменшенням густини і теплоємності (див. табл. 3.15).

Таблиця 3.15

**Формули для визначення теплоємності тіста-хліба**

| Тісто-хліб | $0 < W < 0,60$     | $0,60 < W < 1$     |
|------------|--------------------|--------------------|
| Житнє      | $c = 2800 + 270W$  | $c = 2300 + 1100W$ |
| Пшеничне   |                    |                    |
| I сорту    | $c = 2700 + 250W$  | $c = 2150 + 1200W$ |
| II сорту   | $c = 2200 + 2204W$ | $c = 1190 + 1100W$ |

ТФХ тіста-хліба залежить від густини теплового потоку  $q$  на поверхні зразка.

Значення  $\lambda$  і  $a$  тіста-хліба і формули для їх визначення залежно від густини теплового потоку наведено в табл. 3.16, 3.17.

Таблиця 3.16

**Теплофізичні характеристики тіста-хліба в процесі випічки, через  $\tau$ , хв.**

| Спосіб випічки            | $c$ , Дж/(кг·К) |      |      |     |     | $\lambda$ , Вт/(м·К) |      |      |      |      | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |     |     |     |     |
|---------------------------|-----------------|------|------|-----|-----|----------------------|------|------|------|------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                           | 0               | 5    | 10   | 15  | 20  | 0                    | 5    | 10   | 15   | 20   | 0                                  | 5   | 10  | 15  | 20  |
| Радіаційно - конвективний | 3000            | 800  | 1000 | 500 | -   | 0,40                 | 0,30 | 0,33 | -    | -    | 1,2                                | 3,1 | 3,3 | 5,3 | -   |
| ІЧ                        | 2500            | 1600 | 750  | 700 | 600 | 0,40                 | 0,20 | 0,26 | 0,26 | 0,40 | 1,4                                | 1,0 | 2,8 | 4,2 | 6,0 |

Таблиця 3.17

**Теплофізичні характеристики тіста-хліба із пшеничного борошна I сорту**

| Спосіб нагріву  | ТФХ                             | Тривалість випічки, хв. |      |      |      |      |      |      |      |
|---|---------------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|   |                                 | 0                       | 2    | 6    | 10   | 14   | 16   | 18   | 20   |
| ІЧ випромінювачами<br>( $\rho$ тіста 316 кг/м <sup>3</sup> )        | $c_p$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К) | 1600                    | 1300 | 800  | 700  | -    | -    | -    | -    |
|   | $\lambda$ , Вт/(м·К)            | 0,5                     | 0,2  | 0,25 | 0,3  | 0,5  | -    | -    | -    |
| Радіаційно – конвективний<br>( $\rho$ тіста 304 кг/м <sup>3</sup> ) | $c_p$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К) | 1600                    | 1000 | 700  | 600  | 500  | 500  | 480  | 500  |
|   | $\lambda$ , Вт/(м·К)            | 0,60                    | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,58 | 0,60 | 0,61 |

Формули для визначення  $\lambda$  і  $a$  тіста-хліба залежно від масової частки вологи наведені в табл. 3.19.

Таблиця 3.18

**Середньозважені ТФХ тіста-хліба  
при  $q = 1100\text{--}1396 \text{ Вт/м}^2$**

| Тісто-хліб | $W$           | $T, \text{ К}$ | $\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ |
|------------|---------------|----------------|--|--------------------------------------|
| Пшеничне   | 0,448...0,453 | 338            | 0,33...0,37                            | 19,4...22,2                          |
| Житнє      | 0,52...0,54   | 328            | 0,44...0,49                            | 20,8...22,8                          |

Таблиця 3.19

**Формули для визначення  $\lambda$  і  $a$  тіста-хліба при нагрівання  
без зовнішнього масообміну (при  $q = 581\text{--}1744 \text{ Вт/м}^2$ )**

| Тісто-хліб | $W$           | $\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$   |
|------------|---------------|--|--|
| Пшеничне   | 0,448...0,453 | $\lambda = 0,30 + 0,000034 q$          | $a \cdot 10^8 = 19,2 + 0,0019 \cdot q$ |
| Житнє      | 0,52...0,54   | $\lambda = 0,41 + 0,000029 q$          | $a \cdot 10^8 = 18,8 + 0,0028 \cdot q$ |

Ентальпія в кДж/кг пшеничного тіста-хліба ( $W = 0,36$ ) дорівнює:

при  $273 < T < 303 \text{ К}$

$$h = -484,8 + 2,374 T \quad (3.14)$$

З підвищенням температури теплопровідність тіста-хліба ( $W = \text{const}$ ) збільшується і може бути визначена за формулою:

для тіста-хліба з пшеничного борошна I сорту при  $293 < T < 353 \text{ К}$  і  $W = 0,16 \dots 0,60$

$$\lambda = \lambda_{293} + 0,00025 (T - 293) \quad (3.15)$$

Для тіста-хліба з житнього борошна при  $293 < T < 353 \text{ К}$  і  $0,16 < W < 0,80$

$$\lambda = \lambda_{293} + 0,00030 (T - 253) \quad (3.16)$$

Значення  $\lambda_{293}$  тіста-хліба розраховують за формулами, наведеними в табл. 3.20.

З підвищенням температури теплопровідність тіста-хліба (при тепло- і масообміні реальних технологічних процесів випікання) збільшується і може бути визначена за формулою: при  $293 < T < 343 \text{ К}$

$$\lambda = \lambda_{293} + 0,0061 (T - 293) \quad (3.17)$$

Значення  $\lambda_{293} = f(\rho)$  для тіста-хліба наведені в табл. 3.21.

Таблиця 3.20

**Формули для визначення теплопровідності  $\lambda$ , Вт/(м·К) і температуропровідності  $a$ , м<sup>2</sup>/с в тісті-хлібі при  $T = 293$  К**

| Тісто-хліб          | $0 < W < 0,23$                    | $0,23 < W < 0,90$                  |
|---------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Житнє               | $\lambda = 0,237 + 0,7 W$         | $\lambda = 0,44 - 0,045 W$         |
|                     | $\alpha \cdot 10^8 = 14,4 + 35 W$ | $\alpha \cdot 10^8 = 24,9 - 5,9 W$ |
| із борошна I сорту  | $\lambda = 0,152 + 0,7 W$         | $\lambda = 0,345 - 0,1 W$          |
|                     | $\alpha \cdot 10^8 = 13,4 + 37 W$ | $\alpha \cdot 10^8 = 23,3 - 5,3 W$ |
| із борошна II сорту | $\lambda = 0,135 + 0,68 W$        | $\lambda = 0,305 - 0,030 W$        |
|                     | $\alpha \cdot 10^8 = 12,8 + 40 W$ | $\alpha \cdot 10^8 = 22,2 - 5,7 W$ |

Таблиця 3.21

**Теплопровідність в Вт/(м·К) тіста-хліба при  $T=293...363$  К**

| Тісто-хліб                                | $\rho$ , кг / м <sup>3</sup> | T, К |      |      |
|---|------------------------------|------|------|------|
|   |                              | 293  | 353  | 363  |
| З пшеничного борошна                      |                              |      |      |      |
| I сорту                                   | 470                          | 0,35 | 0,42 | 0,50 |
| II сорту                                  | 420                          | 0,40 | 0,48 | 0,53 |
| З житньо – пшеничного борошна (40% + 60%) | 540                          | 0,48 | 0,58 | 0,72 |

Із даних таблиці 3.21 видно, що теплопровідність визначається видом тіста-хліба, причому, при зниженні сортності борошна теплопровідність збільшується. При  $T > 343$  К теплопровідність помітно збільшується. Це пов'язано з інтенсифікацією масообміну, викликаного випаровуванням етилового спирту ( $T_{\text{кип}}=351$  К) і інших матеріалів, що утворюються при бродінні тіста.

Для тіста-хліба з внесеними добавками (жир – Ж і цукор – С) характер кривих  $\lambda = f(W)$  і  $a = f(W)$  такий же, як і для тіста-хліба без добавок.

З формул, наведених в табл. 3.20 і 3.22 видно, що у тіста-хліба, який містить цукор,  $\lambda$  і  $a$  більше, ніж у тіста-хліба без цієї домішки, а у тіста-хліба, що містить жир – менше.

При збільшенні вмісту цукру в тісті-хлібі, максимуми  $\lambda$  і  $a$  зміщуються в сторону більшої масової частки вологи, а жиру – в сторону меншої масової частки вологи.

**Формули для визначення теплопровідності (в Вт/(м · К) і коефіцієнта температуропровідності (в м<sup>2</sup>/с) тіста-хліба з пшеничного борошна I сорту залежно від домішок при T = 293 К**

| Домішки    | $0 < W < W_{\text{макс}}$         | $W_{\text{макс}\lambda, \alpha} < W < 1$ |
|------------|-----------------------------------|--|
| Цукор 0,10 | $\lambda = 0,166 + 0,7 W$         | $\lambda = 0,364 - 0,1 W$                |
|            | $\alpha \cdot 10^8 = 13,3 + 34 W$ | $\alpha \cdot 10^8 = 22,0 - 4 W$         |
| 0,15       | $\lambda = 0,145 + 0,7 W$         | $\lambda = 0,368 - 0,1 W$                |
|            | $\alpha \cdot 10^8 = 12,4 + 38 W$ | $\alpha \cdot 10^8 = 22,8 - 5 W$         |
| 0,20       | $\lambda = 0,12 + 0,9 W$          | $\lambda = 0,392 - 0,1 W$                |
|            | $\alpha \cdot 10^8 = 12,3 + 36 W$ | $\alpha \cdot 10^8 = 23,7 - 6 W$         |
| Жир 0,10   | $\lambda = 0,17 + 0,6 W$          | $\lambda = 0,339 - 0,1 W$                |
|            | $\alpha \cdot 10^8 = 12,6 + 39 W$ | $\alpha \cdot 10^8 = 22,0 - 5 W$         |
| 0,15       | $\lambda = 0,155 + 0,7 W$         | $\lambda = 0,325 - 0,1 W$                |
|            | $\alpha \cdot 10^8 = 13,3 + 34 W$ | $\alpha \cdot 10^8 = 21,6 - 5 W$         |
| 0,20       | $\lambda = 0,16 + 0,6 W$          | $\lambda = 0,317 - 0,1 W$                |
|            | $\alpha \cdot 10^8 = 12,8 + 38 W$ | $\alpha \cdot 10^8 = 21,5 - 6 W$         |

Для визначення значення масової частки вологи тіста-хліба, при якому значення  $\lambda$  і  $\alpha$  будуть максимальними, запропоновано рівняння:

при  $T = 293 \text{ К}$

$$W_{\text{макс}\lambda, \alpha} = 0,23 + 15 C - 5 \mathcal{J} \quad (3.18)$$

Формули для визначення  $\lambda$  і  $\alpha$  тіста-хліба при одночасному внесенні в нього цукру і жиру наведені в таблиці 3.23.

Таблиця 3.23

**Формули теплопровідності в Вт/(м·К) і температуропровідності в м<sup>2</sup>/с тіста-хліба з пшеничного борошна I сорту при T=293 К**

| W  | Формули  |
|--|--|
| $0 < W < W_{\text{макс}\lambda, \alpha}$     | $\lambda = 0,15 + 0,2(0,5\mathcal{J} + 0,60C + 0,74W)$                                       |
|  | $\alpha \cdot 10^8 = 2,8 + 0,5 C - 2 \mathcal{J} + 34 W$                                     |
| $W_{\text{макс}\lambda, \alpha} < W < 0,9-1$ | $\lambda = \lambda_{\text{макс}\lambda, \alpha} - 0,1 (W - W_{\text{макс}\lambda, \alpha})$  |
|  | $\alpha \cdot 10^8 = a_{\text{макс}\lambda, \alpha} - 5(C - W_{\text{макс}\lambda, \alpha})$ |

Густина в кг/м<sup>3</sup>, теплоємність в Дж/(кг·К) і теплопровідність в Вт/(м · К) тіста-булочки з тіста для хліба (борошна – 350 г, лярда – 5,2 г, води – 238 г) в процесі випічки (10 хв) при  $T = 483 \text{ К}$  дорівнюють:



при  $W = 41,53 \cdot 10^{-0,0189\tau}$  і  $1 < \tau < 10$  хв.

$$\rho = 225 \cdot 10^{-0,0095\tau} \quad (3.19)$$

$$c = 1130 + 3056 W \quad (3.20)$$

$$\lambda = 0,6792 - 5,51W + 2,020 \rho + 9W^2 \quad (3.21)$$

**СВЧ-випічка.** В процесі СВЧ-випічки ТФХ тіста-хліба зменшуються, особливо густина і об'ємна теплоємність( табл. 3.24 і 3.25).

Таблиця 3.24

**ТФХ тіста-хліба з житнього оббивного борошна ( $W = 0,10$ ) в процесі СВЧ-випічки**

| $\tau$ , хв. | $T$ , К | $W$   | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К) |
|--------------|---------|-------|----------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 0            | 300,0   | 0,510 | 841                        | 2890            | 2430                              |
| 3            | 302,1   | 0,504 | 827                        | 2841            | 2349                              |
| 6            | 318,4   | 0,487 | 805                        | 2816            | 2266                              |
| 9            | 327,2   | 0,479 | 696                        | 2781            | 1936                              |
| 12           | 350,8   | 0,475 | 623                        | 2764            | 1722                              |
| 15           | 362,6   | 0,472 | 569                        | 2737            | 1557                              |
| 18           | 368,3   | 0,470 | 559                        | 2729            | 1525                              |
| 20           | 369,5   | 0,468 | 527                        | 2726            | 1437                              |

Таблиця 3.25

**ТФХ тіста-хліба з безопарного пшеничного борошна I сорту ( $W = 0,13$ ) в процесі СВЧ-випічки**

| $\tau$ , хв. | $T$ , К | $W$    | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К) |
|--------------|---------|--------|----------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 0            | 304,0   | 0,445  | 882                        | 2837,3          | 2502                              |
| 3            | 306,5   | 0,443  | 703                        | 2833,0          | 1992                              |
| 6            | 320,0   | 0,440  | 592                        | 2810,1          | 1664                              |
| 9            | 350,5   | 0,4367 | 571                        | 2758,2          | 1575                              |
| 12           | 367,5   | 0,4351 | 515                        | 2729,3          | 1406                              |
| 15           | 369,5   | 0,4300 | 485                        | 2726,0          | 1322                              |

### 3.3. М'якушка, скоринка, хліб

**М'якуш хліба.** ТФХ м'якуша хліба з дріжджового пшеничного тіста дорівнюють:  $c\rho=1100$  кДж/(м<sup>3</sup>·К) (при  $T = 342$  К);  $\lambda = 0,43$  Вт/(м·К) (при  $T = 363$  К).

Теплопровідність м'якуша ( $W = 0,45$ ) з дріжджового житнього тіста через 30 хв після початку випічки дорівнює  $\lambda = 0,207$  Вт/(м·К) (при  $\rho = 550$  кг/м<sup>3</sup>), а з пшеничного тіста ( $W = 0,52 - 0,53$ )  $\lambda = 0,291$  Вт/(м·К) (при  $\rho = 550$  кг/м<sup>3</sup>)

ТФХ м'якуша хліба наведені в таблиці 3.26.

Таблиця 3.26

#### Теплофізичні характеристики м'якушки хліба

| М'якушка                           | $T, K$ | $W$   | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $\alpha\cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ | $E_{ц}^*, \text{кДж/г}$ |
|------------------------------------|--------|-------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------|
| Батона пшеничного I сорту          | 291    | 0,418 | 402                   | 3190                             | 0,298                                 | 22,3                                    | 9,87                    |
| Хліба пшеничного I сорту           | 291    | 0,427 | 340                   | 2975                             | 0,244                                 | 24,2                                    | 9,46                    |
| Хліба формового пшеничного I сорту | 291    | 0,450 | 346                   | 2811                             | 0,237                                 | 24,4                                    | 9,46                    |
| Булки міської I сорту              | 291    | 0,420 | 358                   | 2580                             | 0,224                                 | 24,3                                    | 1,063                   |
| Здоби вищого сорту                 | 289    | 0,410 | 254                   | 3428                             | 0,211                                 | 22,6                                    | 12,01                   |
| Хліба українського                 | -      | 0,490 | 537                   | 3012                             | 0,368                                 | 22,2                                    | 8,91                    |
| Хліба пшеничного                   | -      | 0,425 | 545                   | 2742                             | 0,249                                 | 16,7                                    | 9,20                    |
| »                                  | -      | 0,450 | 500                   | 2805                             | 0,23                                  | 16,6                                    | 8,80                    |
| »                                  | -      | 0,463 | 555                   | 2839                             | 0,30                                  | 19,1                                    | 8,39                    |
| Хліба житнього                     | -      | 0,556 | 694                   | 3073                             | 0,399                                 | 18,7                                    | 6,91                    |
| »                                  | -      | 0,559 | 687                   | 3077                             | 0,395                                 | 18,7                                    | 6,90                    |

\*  $E_{ц}$  – енергетична цінність істівної частини продукту

Таблиця 3.27

#### Густина в кг/м<sup>3</sup> скоринки хліба подового з пшеничного борошна II сорту

| Скоринка | Товщина гарячої скоринки, мм |     |     |     |     | Товщина холодної скоринки, мм |     |     |     |     |
|----------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|          | 0,5                          | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 0,5                           | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 |
| Верхня   | 950                          | 700 | 580 | 580 | 580 | -                             | 800 | 580 | 550 | 545 |
| Нижня    | 820                          | 670 | 550 | 520 | -   | 820                           | 780 | 580 | 570 | 570 |

**Скоринка.** Значення густини скоринки хліба наведені в таблиці 3.27. ТФХ

скоринок хліба наведені в таблиці 3.28.

**Хліб.** Густина готового хліба залежить від його виду (таблиця 3.29) і масової частки вологи (таблиця 3.30).

Середнє значення теплоємності білого хліба ( $W = 0,44 \dots 0,45$ ) і житнього ( $W = 0,485$ ) в інтервалі температур 273–373 К відповідно дорівнює 2721–2847 Дж/(кг·К) і 2847 Дж/(кг·К).

Таблиця 3.28

### Теплофізичні характеристики скоринки хліба

| Скоринка  | $T$ ,<br>К | $\delta \cdot 10^3$ ,<br>м | $W$ ,<br>% | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $c$ ,<br>Дж/(кг·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $\alpha \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|---|------------|----------------------------|------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------|--|
| Хліба пшеничного<br>I сорту                           | -          | -                          | -          | 420                           | 1675               | 0,056                   | 8,0  |
| Хліба українського<br>верхня                          | 377        | 2,8                        | 0,040      | 476                           | 1970               | 0,195                   | 20,8                                       |
| »   | 385        | 2,8                        | 0,049      | 478                           | 1770               | 0,204                   | 24,1                                       |
| нижня   | 383        | 2,5                        | 0,050      | 485                           | 1720               | 0,145                   | 17,4                                       |
| Паляниці з<br>пшеничного борошна I<br>сорту<br>верхня | 363        | 3,0                        | 0,050      | 467                           | 2050               | 0,134                   | 14,1                                       |
| »   | 391        | 3,3                        | 0,043      | 480                           | 1920               | 0,151                   | 16,4                                       |
| »   | 394        | 2,6                        | 0,032      | 492                           | 1940               | 0,173                   | 18,1                                       |
| »   | 396        | 3,0                        | 0,033      | 488                           | 1970               | 0,165                   | 26,8                                       |
| нижня   | 387        | 4,0                        | 0,041      | 417                           | 1710               | 0,175                   | 24,7                                       |
| Хліба подового II<br>сорту<br>верхня                  | 373        | 3,0                        | 0,113      | 507                           | 1650               | 0,183                   | 18,1                                       |
| »   | 384        | 2,7                        | 0,080      | 516                           | 1580               | 0,188                   | 23,0                                       |
| »   | 394        | 2,7                        | 0,032      | 510                           | 1640               | 0,195                   | 23,3                                       |

Таблиця 3.29

### Густина хлібобулочних виробів

| Хлібобулочні вироби                           | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> |
|---|----------------------------|
| Батони нарізні з борошна I сорту 0,4 кг       | 400                        |
| Міські булочки з борошна I сорту масою 0,2 кг | 410                        |
| Паляниця з борошна I сорту масою 1 кг         | 440                        |
| Здоба звичайна з борошна I сорту масою 0,1 кг | 370                        |

Таблиця 3.30

Густина в кг/м<sup>3</sup> хліба

| Види хліба         | Вміст вологи, $W$ |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                    | 0                 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 |
| Житній             | 570               | 595  | 615  | 630  | 645  | 655  | 660  | 655  | 645  |
| з борошна I сорту  | 440               | 465  | 485  | 500  | 510  | 510  | 505  | 495  | 480  |
| з борошна II сорту | 540               | 540  | 560  | 575  | 590  | 600  | 605  | 600  | 690  |

На основі значень ентальпії шести видів хлібних виробів для визначення теплоємності в Дж/(кг·К) можна рекомендувати наступні формули:

при  $T = 283 \text{ K}$  і  $0,373 < W < 0,465$

$$c = 1621 + 2500W \quad (3.22)$$

при  $T = 303 \text{ K}$  і  $0,384 < W < 0,465$

$$c = 1647 + 2580W \quad (3.23)$$

Експериментальне значення теплоємності хліба з білого борошна ( $W = 0,37$ ) при  $T = 288 \text{ K}$ , рівне 2515 Дж/(кг·К) і відрізняється від обрахованого по формулі (3.22) на 1,3%.

Експериментальні значення теплоємності білого хліба наведені в таблиці 3.31.

Таблиця 3.31

## Теплоємність в Дж/(кг·К) білого хліба

| $T, \text{ K}$ | $W$  |      |
|----------------|------|------|
|                | 0,20 | 0,60 |
| 233            | 1424 | 1759 |
| 273            | 1968 | 3140 |
| 313            | 2303 | 3266 |

ТФХ хліба показані в таблиці 3.32.

Таблиця 3.32

## Теплофізичні характеристики хліба

| Хліб      | $W, \%$ | $\rho, \text{ кг/м}^3$ | $c, \text{ Дж/(кг·К)}$ | $\lambda, \text{ Вт/(м·К)}$ | $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ |
|-----------|---------|------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| Пшеничний | 0,440   | 420                    | 3391                   | 0,140                       | 9,72                                 |
| Житній    | 0,534   | 530                    | 4606                   | 0,248                       | 10,55                                |
| »         | 0,525   | 565                    | 5443                   | 0,326                       | 10,55                                |

Ентальпія білого мороженого хліба наведена в таблиці 3.33.

Таблиця 3.33

**Ентальпія білого хліба ( $W = 0,36$ ;  $T < 273$  К)**

|                               |              |            |            |            |            |            |
|-------------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b><math>T</math>, К</b>      | <b>227,5</b> | <b>233</b> | <b>243</b> | <b>253</b> | <b>263</b> | <b>268</b> |
| <b><math>h</math>, кДж/кг</b> | 0            | 10,47      | 29,31      | 54,43      | 104,67     | 150,73     |

Значення теплоємності мороженого хліба наведені в таблиці 3.34.

Таблиця 3.34

**Теплоємність  $c$ , Дж/(кг·К)**

| <b><math>W</math></b> | <b>Температура, К</b> |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                       | <b>238</b>            | <b>240</b> | <b>245</b> | <b>248</b> | <b>250</b> | <b>255</b> | <b>258</b> | <b>260</b> | <b>265</b> | <b>268</b> |
| 0,36                  | 1884                  | –          | –          | 2512       | –          | –          | 5024       | –          | –          | 6080       |
| 0,65-0,75             | –                     | 1860       | 1920       | –          | 1990       | 2080       | –          | 2670       | 5100       | –          |

Таблиця 3.35

**Теплофізичні характеристики хліба з пшеничного борошна II сорту**

| <b><math>T</math>, К</b> | <b><math>c</math>,<br/>Дж/(кг·К)</b> | <b><math>\lambda</math>, Вт/(м·К)</b> |                 |                | <b><math>\alpha \cdot 10^8</math>, м<sup>2</sup>/с</b> |  |
|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|----------------|--|--|
|                          |                                      | <b>м'якуша</b>                        | <b>скоринки</b> | <b>м'якуша</b> | <b>скоринки</b>  |  |
| 273                      | –                                    | 0,233                                 | 0,041           | 2,22           | –  |  |
| 270,5                    | –                                    | 2,468                                 | 2,276           | 14,7           | 0,247  |  |
| 265,5                    | 20530                                | 2,524                                 | 2,332           | 11,9           | 2,55   |  |
| 260,5                    | 5010                                 | 2,579                                 | 2,387           | 13,6           | 5,8  |  |
| 255,5                    | 2570                                 | 2,634                                 | 2,442           | 14,4           | 9,2  |  |
| 250,5                    | 1970                                 | 2,689                                 | 2,497           | 15,3           | 11,9   |  |
| 245,5                    | 1840                                 | 2,745                                 | 2,553           | 15,5           | 12,8   |  |
| 240,5                    | 1810                                 | 2,800                                 | 2,608           | 16,1           | 13,3   |  |
| 235,5                    | 1750                                 | 2,855                                 | 2,663           | 16,7           | 13,9   |  |

Теплоємність білого хліба ( $W = 0,37 - 0,46$ ) в інтервалах температур 253 – 258, 258 – 263, 263 – 268 К відповідно дорівнює 2261, 4103, 10000 Дж/(кг·К).

ТФХ хліба, м'якушу і скоринки наведені в таблиці 3.35.

### 3.4. Національні сорти хліба

**Узбецькі коржі.** ТФХ зони, що відстає на 1 см від верхньої скоринки узбецьких коржів (склад – борошно пшеничне I сорту – 200 г, дріжджі пресовані – 3г, сіль – 3г) представлені в таблиці 3.36.

Таблиця 3.36

#### Теплофізичні характеристики узбецьких коржів

| ТФХ  | Тривалість випічки, с |      |      |      |      |      |      |       |
|--|-----------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
|  | 10                    | 20   | 40   | 60   | 80   | 100  | 120  | 140   |
| $T, K$                                       | 308                   | 310  | 320  | 338  | 353  | 368  | 378  | 383   |
| $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | 0,80                  | 0,71 | 0,62 | 0,64 | 0,73 | 0,79 | 0,80 | 0,80  |
| $c, \text{кДж}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$    | 1800                  | 1400 | 3850 | 1210 | 1380 | 1150 | 1000 | 1000  |
| $a\cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$           | 44,4                  | 50,7 | 16,1 | 52,9 | 52,9 | 68,7 | 80,0 | 80,0  |
| $E_u, \text{кДж}/\text{г}$                   | –                     | –    | –    | –    | –    | –    | –    | 11,13 |

Із даних, наведених в таблиці 3.36 видно, що зміна ТФХ в процесі випікання має складний характер і суттєво залежить від фізико-хімічних і інших процесів, що відбуваються в виробі, і визначається режимними параметрами енергопідведення.

**Лаваш.** В процесі підвищення температур тіста для лаваша від 288 до 315 К його об'ємна теплоємність збільшується, а теплопровідність і температуропровідність зменшуються (таблиця 3.37).

Таблиця 3.37

#### Теплофізичні характеристики тіста для лаваша

| $T$ тіста, К | $c_p, \text{кДж}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|--------------|---|--|------------------------------------|
| 288          | 2339  | 1,065  | 36,2                               |
| 296          | 2833  | 0,802  | 28,2                               |
| 303          | 2908  | 0,705  | 26,0                               |
| 315          | 3038  | 0,795  | 22,6                               |

Енергетична цінність лаваша арм'янського складає 7,5 кДж/г.

**Лагман.** Теплоємність напівфабрикатів для лагмана ( $W = 0,953$ ) при температурі 353–354 К дорівнює  $c = 1715 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .

Залежність теплоємності (в Дж/(кг·К)) тіста для лагмана від питомої ваги

описується при  $0,22 < W < 0,095$  формулою:

$$c = 1650 + 1549 W \quad (3.24)$$

де 1650 Дж/(кг·К) теплоємність сухої речовини тіста для лагмана.

### 3.5. Сухарі

В процесі сушіння хліба і здобних сухарів густина виробів спочатку збільшується, а потім зменшується (таблиця 3.38). Така закономірність пояснюється тим, що на початковому періоді сушіння об'єм виробу зменшується більше, ніж його маса, а потім навпаки.

Теплоємність сухої речовини сухарів складає: житніх – 1507, пшеничних – 1549, здобних ( $T = 303$  К) – 1600–1900 Дж/(кг·К).

Теплоємність сухої речовини сухарів із пшеничного борошна залежно від температури визначають за формулою 3.38.

Таблиця 3.38

#### Зміна густини в кг/м<sup>3</sup> хлібних виробів в процесі сушіння

| Виріб                             | Питомий вміст вологи, $W$ |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                   | 0                         | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 |
| Житній хліб                       | 555                       | 590  | 603  | 605  | 650  | 652  | 653  | 652  | 650  |
| Пшеничний хліб з борошна I сорту  | 448                       | 452  | 455  | 500  | 503  | 503  | 500  | 458  | 455  |
| Пшеничний хліб з борошна II сорту | 525                       | 548  | 553  | 555  | 558  | 600  | 600  | 600  | 593  |
| Заготовки для здобних сухарів:    |                           |      |      |      |      |      |      |      |      |
| «Московські»                      | 380                       | 420  | 440  | 450  | 456  | 453  | 450  | 448  | –    |
| «Вершкові»                        | 420                       | 440  | 458  | 475  | 480  | 480  | 470  | 460  | –    |

За даними, наведеними в таблиці 3.39 видно, що теплоємність сухарів від пористості практично не залежить. Це визначається низьким значенням теплоємності повітря. Наведені в таблиці 3.39 формули свідчать, що теплоємність сухарів залежить від сорту борошна, з якої вони виготовлені, а також від масової частки цукру і жиру. Причому, чим більша масова частка

цукру, тим більша теплоємність сухарів, а чим більша масова частка жиру, тим вона менша.

Таблиця 3.39

**Формули для визначення теплоємності в Дж/(кг·К) здобних сухарів  
( $W=0$ , при  $T=298 \dots 413$  К)**

| Сухарі       | Сорт борошна | Масова частка |       | с сухарів, Дж/(кг·К) |                           |
|--------------|--------------|---------------|-------|----------------------|---------------------------|
|              |              | С             | Ж     | неспресованих        | спресованих ( $p=10$ МПа) |
| «Шкільні»    | Вищий        | 0,185         | -     | $c = -1592+11,4 T$   | $c = 1007+3,33 T$         |
| «Українські» | »            | 0,170         | 0,070 | $c = 385+5,0 T$      | -                         |
| «Київські»   | »            | 0,162         | 0,035 | $c = -954+9,1 T$     | -                         |
| «Кавові»     | »            | 0,125         | 0,040 | $c = 53+5,9 T$       | $c = 355+3,32 T$          |
| «Московські» | I            | 0,125         | 0,040 | $c = -484+8,2 T$     | $c = 965+3,32 T$          |
| «Туристичні» | »            | 0,045         | 0,110 | $c = 85+5,0 T$       | $c = 839+3,333 T$         |

Таблиця 3.40

**Ефективна теплоємність в Дж/(кг·К) повітряно-сухих  
( $W = 0,12 - 0,13$ ) здобних сухарів**

| Сухарі       | Температура, К |      |      |      |
|--------------|----------------|------|------|------|
|              | 303            | 333  | 373  | 413  |
| «Шкільні»    | 2340           | 3060 | 4990 | 2200 |
| «Московські» | 2200           | 2920 | 5000 | 3500 |
| «Київські»   | 2200           | 2780 | 4500 | 4500 |
| «Українські» | 1920           | 2410 | 5140 | 3500 |
| «Кавові»     | 2060           | 2500 | 4780 | 3780 |
| «Туристичні» | 1990           | 2500 | 6140 | 2500 |

Збільшення масової частки вологи в сухарях привносить до помітного зростання їх ефективної теплоємності, причому максимальне значення теплоємності приходить на температуру 373 К.

Теплоємність сухарів житніх ( $W=0,08\dots0,12$ ) і пшеничних ( $W=0,05\dots0,08$ ) при температурі вище криоскопічної відповідно дорівнює 1717–1842, 1675–1758 Дж/(кг/К), а при температурі нижче криоскопічної – 1507–1591 і 1591– 1633 Дж/(кг/К).

Теплопровідність і температуропровідність заготовок сухарів можна визначити за формулами, наведеними в таблиці 3.41.

ТФХ сухарів «Московські» при  $W=0$  і  $T=293\dots303$  К дорівнюють:  $c = 2000$



Дж/(кг·К);  $\lambda = 0,157$  Вт/(м·К);  $\alpha = 13,1 \cdot 10^8$  м<sup>2</sup>/с, коли їх густина = 599 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 3.41

**Формули для визначення теплопровідності і температуропровідності заготовок сухарів**

| Заготовки для сухарів | Масова частка |      | W         | $\lambda$ , Вт/(м·К)<br>$\alpha \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|-----------------------|---------------|------|-----------|---|
|                       | C             | Ж    |           |   |
| «Московські»          | 0,125         | 0,04 | 0-0,25    | $\lambda = 0,157 - 0,7 W$                                       |
|                       |               |      |           | $\alpha \cdot 10^8 = 13,1 - 33 W$                               |
|                       |               |      | 0,25-1,00 | $\lambda = 0,348 - 0,08 W$                                      |
|                       |               |      |           | $\alpha \cdot 10^8 = 29,2 - 0,5 W$                              |
| «Вершкові»            | 0,165         | 0,10 | 0-0,48    | $\lambda = 0,158 - 0,7 W$                                       |
|                       |               |      |           | $\alpha \cdot 10^8 = 12,6 - 34 W$                               |
|                       |               |      | 0,48-1,00 | $\lambda = 0,342 - 0,07 W$                                      |
|                       |               |      |           | $\alpha \cdot 10^8 = 22,3 - 0,47 W$                             |

ТФХ сухарів залежно від температури наведені в таблиці 3.42.

Таблиця 3.42

**Теплофізичні характеристики сухарів «Піонерські»**

| T, К | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | c, Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $\alpha \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | E <sub>c</sub> , кДж/г |
|------|----------------------------|--------------|----------------------|---|------------------------|
| 277  | 1045                       | 2430         | 0,853                | 33,61                                   | –                      |
| 313  | 1030                       | 2700         | 0,679                | 24,44                                   | 16,61                  |
| 343  | 1013                       | 2900         | 0,583                | 19,72                                   | –                      |
| 353  | 1015                       | 2960         | 0,783                | 26,11                                   | –                      |

Енергетична цінність сухарів при збільшенні жирів від 1,4 до 10,8 % зростає від 7,34 до 9,5 кДж/г.

**Терморадіаційні характеристики**

Таблиця 3.43

**Інтегральна проникливість тіста та хліба D для теплового випромінювання в % залежно від товщини шару**

| Матеріал  | Товщина шару, мм |      |      |      |      |      |      |
|---|------------------|------|------|------|------|------|------|
|   | 1                | 1,5  | 2,2  | 2,75 | 3,75 | 4    | 4,25 |
| Генератор випромінювання – дзеркальна лампа       |                  |      |      |      |      |      |      |
| Пшеничне тісто (W = 44%)                          | 5,7              | 3,75 | –    | 1,76 | –    | 0,82 | –    |
| Пшеничний хліб (скоринка і прилеглі шари м'якушу) | –                | –    | 7,24 | –    | 5,35 | –    | 4,56 |

| Матеріал  | Товщина шару, мм |      |      |       |      |        |      |
|---|------------------|------|------|-------|------|--------|------|
|   | 1                | 1,5  | 2,2  | 2,75  | 3,75 | 4      | 4,25 |
| Матеріал  | Товщина шару, мм |      |      |       |      |        |      |
|   | 5,0              | 5,5  | 6,0  | 6,5   | 8,5  | 9      | 11   |
| Пшеничне тісто ( $W = 44\%$ )                     | 0,39             | –    | –    | 0,143 | –    | 0,0268 | –    |
| Пшеничний хліб (скоринка і прилеглі шари м'якушу) | 3,75             | 3,25 | 2,86 | –     | 1,85 | –      | 0,79 |
| Генератор випромінювання – керамічна панель       |                  |      |      |       |      |        |      |
| Матеріал і температура випромінювання             | Товщина шару, мм |      |      |       |      |        |      |
|   | 2,0              | 2,5  | 3,5  | 5,0   |      |        |      |
| Пшеничний хліб, температура випромінювача в °С    |                  |      |      |       |      |        |      |
| 300   | 0,43             | –    | 0    | –     |      |        |      |
| 400   | 1,04             | 0,97 | 0,46 | 0     |      |        |      |
| 500   | 2,83             | 1,6  | 0,64 | 0     |      |        |      |

### 3.6. Макарони

Густина макаронів із борошна м'яких ( $W=0,100\dots0,137$ ) і твердих ( $W = 0,270\dots0,315$ ) пшениць відповідно дорівнює  $1300\dots1320$  і  $1250\dots1320$  кг/м<sup>3</sup>.

Фізичні показники напівфабрикатів і готових макаронних виробів наведені в табл.3.44.

Таблиця 3.44

#### Фізичні показники напівфабрикатів і готових макаронних виробів з борошна твердих пшениць

| Макарони        | Напівфабрикати |                                 |            |                                 | Готові вироби |                                 |            |                                 |
|-----------------|----------------|---------------------------------|------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|------------|---------------------------------|
|                 | W              | $\rho_{п2}$ , кг/м <sup>3</sup> |            | $\rho_{ф2}$ , кг/м <sup>3</sup> | W             | $\rho_{п2}$ , кг/м <sup>3</sup> |            | $\rho_{ф2}$ , кг/м <sup>3</sup> |
|                 |                | без утряски                     | з утряскою |                                 |               | без утряски                     | з утряскою |                                 |
| «Особливі»      | 0,270 – 0,305  | 673                             | 727        | 1320                            | 0,128 – 0,136 | 411                             | 452        | 1330                            |
| «Соломка»       | 0,288 – 0,295  | 612                             | 771        | 1280                            | 0,120 – 0,137 | 305                             | 368        | 1320                            |
| Вермішель       | 0,289–0,292    | 509                             | 616        | 1280                            | 0,104 – 0,133 | 346                             | 408        | 1300                            |
| Лапша пресована | 0,292          | 544                             | 673        | 1280                            | 0,128 – 0,137 | 325                             | 4332       | 1300                            |
| Ріжки гладенькі | 0,294          | 581                             | 671        | 1250                            | 0,109 – 0,135 | 525                             | 582        | 1250                            |

Об'ємна маса в кг/м<sup>3</sup> макаронного тіста з борошна вищого сорту від температури в інтервалі 313...323 К практично не залежить, а від масової частки вологи і тиску виражається при  $0,28 < W < 0,33$  і  $2943 < p < 13734$  кПа формулою:

$$\rho = 1373 + (0,013 - 0,0018W^{-1})p \quad (3.25)$$

Теплоємність сухої речовини макаронного тіста складає від 1650 до 1662 Дж/(кг·К).

Теплоємність в Дж/(кг·К) макаронного тіста визначається при  $0,248 < W < 0,432$  і  $293 < T < 353$  К за формулою:

$$c = -559.5 + 1549W + 7,54T \quad (3.26)$$

Обчислене за формулою (3.26) значення теплоємності макаронного тіста ( $W=0,123..0,135$ ) і експериментальне значення в інтервалі температур 273...373 К ( $c = 1840...1880$  Дж/кг·К) відрізняються приблизно на 0,6%.

Теплопровідність і температуропровідність макаронного тіста визначається масовою часткою вологи, температурою, а також тим, чи піддавалось воно попередній гідротермічній обробці чи ні.

Теплопровідність в Вт/(м·К) і температуропровідність в м/с<sup>2</sup> макаронного тіста визначається за наступними рівняннями:

$$\lambda = \lambda_0 + B \cdot W \quad \text{і} \quad a \cdot 10^8 = a_0 + B_1 \cdot W \quad (3.27)$$

Значення сталих  $\lambda_0$ ,  $a_0$ ,  $B$  і  $B_1$  наведені в таблиці 3.45.

Таблиця 3.45

Сталі  $\lambda_0$ ,  $a_0$ ,  $B$ ,  $B_1$ , в рівняннях (3.27)

| Макаронне тісто  | $T$ , К | $\lambda_0$ , Вт/(м·К) | $a_0 \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | $B$   | $B_1$ |
|--|---------|------------------------|--------------------------------------|-------|-------|
| Нативне  | 303     | 0,19                   | 10,0                                 | 0,005 | 0,050 |
| »  | 313     | 0,21                   | 10,3                                 | 0,005 | 0,050 |
| »  | 323     | 0,24                   | 10,8                                 | 0,005 | 0,050 |
| Попередньо гідротермо-<br>оброблене парою ( $p = 0,2$ МПа<br>$T = 410$ К протягом 2 хв.) | 303     | 0,24                   | 11,1                                 | 0,004 | 0,033 |
|  | 313     | 0,27                   | 11,2                                 | 0,004 | 0,033 |
|  | 323     | 0,29                   | 11,5                                 | 0,004 | 0,033 |

ТФХ готових макаронів дорівнюють :  $\rho = 750$  кг/м<sup>3</sup>;  $c = 3900$  Дж/(кг·К);  
 $\lambda = 0,355$  Вт/(м·К),  $a = 12,3 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Теплоємність макаронів при  $W = 0,13$  складає 1842...1884 Дж/(кг·К)

Енергетична цінність макаронних виробів із зростанням жирності  $J$  від 0,9 до 2,7% збільшується від 13,8 до 14,2 кДж/г.

## РОЗДІЛ 4. КОНДИТЕРСЬКЕ ВИРОБНИЦТВО

### 4.1. Сировина

#### 4.1.1. Кава

Таблиця 4.1

#### Об'ємна маса в кг/м<sup>3</sup> зерен кави

| Сорт                  | Сира | Обсмажена |
|-----------------------|------|-----------|
| Бразильська           | 570  | 340       |
| Ефіопська             | 680  | 330       |
| Берег Слонової Кістки | 570  | 350       |

Таблиця 4.2

#### Зміна фізичних показників зерен кави під час обсмажування

| Показник           | Тривалість обсмажування, хв. |       |       |       |       |       |       |
|--------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                    | 0                            | 2     | 4     | 7     | 10    | 12    | 16    |
| $T_{газ.}, K$      | 358                          | 384   | 406   | 460   | 487   | 509   | 351   |
| $W$                | 0,109                        | 0,090 | 0,072 | 0,046 | 0,025 | 0,017 | 0,038 |
| $d_{ек}, мм$       | 5,9                          | 6,1   | 6,3   | 6,4   | 7,2   | 7,3   | 7,8   |
| $\rho_{ф}, кг/м^3$ | 1450                         | 1290  | 1114  | 1060  | 730   | 720   | 590   |

Таблиця 4.3

#### Фізична щільність зерен кави сорту "Арабіка" після 21 міс зберігання при $T = 294 K$

| Тара     | $\rho_{ф} кг/м^3$ |
|----------|-------------------|
| Бляшана  | 1124              |
| Паперова | 1118              |
| Тканинна | 905               |
| Джутова  | 901               |

Якщо фактичні значення  $\lambda$  і  $a$  сирих зерен кави при термічній обробці змінюються незначно, то на еквівалентні ТФХ суттєвий вплив чинять теплота фазових переходів (табл. 4.4.).

Теплопровідність в Вт/(м·К) шару ядер кави дорівнює:

при  $\rho_n = 693,8 \text{ кг/м}^3$ ,  $W = 0,128$  і  $311 < T < 355 \text{ K}$

$$\lambda = -0,00217 + 0,000436T \quad (4.1)$$

при  $\rho_n = 692,2 \text{ кг/м}^3$ ,  $W = 0,169$  і  $311 < T < 355 \text{ К}$

$$\lambda = -0,9243 + 0,000432T \quad (4.2)$$

Таблиця 4.4

**Теплофізичні характеристики сирих зерен кави сорту "Арабіка"**  
( $W = 0,12$ ;  $\rho_\phi = 1450 \text{ кг/м}^3$ )

| T,<br>К | c, Дж/(кг·К) |          | $\lambda$ , Вт/(м·К) |          | $\alpha \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |          |
|---------|--------------|----------|----------------------|----------|---|----------|
|         | ефективна    | фактична | ефективна            | фактична | ефективна                               | фактична |
| 293     | 1390         | 1390     | 0,383                | 0,383    | 19,0                                    | 19,0     |
| 313     | 1520         | 1520     | 0,416                | 0,416    | 18,9                                    | 18,9     |
| 333     | 2250         | 1633     | 0,452                | 0,452    | 17,8                                    | 18,8     |
| 353     | 1934         | 1767     | 0,520                | 0,476    | 16,5                                    | 18,4     |
| 373     | 2512         | 1842     | 0,610                | 0,490    | 14,0                                    | 18,2     |
| 393     | 3571         | 1863     | 0,710                | 0,491    | 15,0                                    | 18,0     |
| 413     | 3902         | 1884     | 0,840                | 0,492    |   |          |

**Кава мелена**

Теплоємність в Дж/(кг·К) меленої кави залежно від температури:

при  $283 < T < 313 \text{ К}$  і  $W = 0,025$

$$c = 402 + 3T \quad (4.3)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) сухої речовини меленої кави залежно від температури:

при  $283 < T < 313 \text{ К}$

$$c_{cp} = 276 + 3T \quad (4.4)$$

Формули для визначення теплопровідності в Вт/(м·К) меленої кави від одного з визначаючих факторів мають вигляд:

при  $0,016 < W < 0,070$ ;  $T = 283 \text{ К}$  і  $\rho_n = 235 \text{ кг/м}^3$

$$\lambda = 0,00438 + 0,0715W \quad (4.5)$$

при  $200 < \rho_n < 310 \text{ кг/м}^3$ ,  $T = 283 \text{ К}$  і  $W = 0,022$

$$\lambda = 0,0214 + 0,000108\rho_n \quad (4.6)$$

при  $298 < T < 313 \text{ К}$ ,  $\rho_n = 240 \text{ кг/м}^3$  і  $W = 0,025$

$$\lambda = 0,0102 + 0,000124T \quad (4.7)$$

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с меленої кави залежно від температури:  
при 273 < T < 333 К

$$a \times 10^8 = A + 0,00619(T - 273) \quad (4.8)$$

де  $A$  – стала, яка визначається об'ємною масою меленої кави. При  $\rho_n=215$ ; 240; 260; 280 кг/м<sup>3</sup> значення  $A \cdot 10^8$  відповідно рівні: 16,6; 16,2; 15,4 і 14,9 м<sup>2</sup>/с.

Об'ємна маса меленої кави дорівнює 300 – 500 кг/м<sup>3</sup>.

Фізичні показники розчинної кави:  $\rho_\phi=701$ ,  $\rho_n=313$  кг/м<sup>3</sup>.

Теплофізичні характеристики сухої кави з цикорієм ( $T = 323$  К) дорівнюють:  $c = 1005$  Дж/(кг·К),  $\rho_n = 797$  кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda = 0,0116$  Вт/(м·К) і  $a \cdot 10^8 = 14,9$  м<sup>2</sup>/с.

### Водний екстракт кави.

Таблиця 4.5

**Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) екстракту кави при 293–303 К**

| $n$     | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| $c\rho$ | 4190 | 4058 | 3974 | 3822 | 2708 | 3562 |

Ентальпія в кДж/кг екстракту кави:

при 293 < T < 363 К і 0 < n < 0,6

$$h = 4,186 \cdot (T - 273) - 2,729n(T - 273) + 0,00468n(T - 273)^2 \quad (4.9)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) екстракту кави:

при 293 < T < 363 К і 0,1 < n < 0,6

$$c = 4187 - [27,29 - 9,37(T - 273)]n \quad (4.10)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) екстракту кави :

при 293 < T < 333 К і 0,1 < n < 0,50

$$\lambda \cdot 10^3 = [73,7 + 1,8T - 0,0058(T - 273)^2] \cdot (1 - 0,54n) \quad (4.11)$$

при 293 < T < 333 К і 0,1 < n < 0,5

$$\lambda \cdot 10^3 = 569 - 42,1n + 1,83(T - 273) - 0,0073(T - 273)^2 \quad (4.12)$$

або

$$\lambda = \lambda_w - 0,421n \quad (4.13)$$

де  $\lambda_w$  – теплопровідність води при температурі екстракту кави.

Температуропровідність екстракту кави:

при  $293 < T < 333$  К і  $0,1 < n < 0,6$

$$a \cdot 10^8 = a_w - n[6540 + 14,6(T - 273) + 0,17(T - 273)^2] \cdot 10^{-3} \quad (4.14)$$

де  $a_w$  – коефіцієнт температуропровідності води.

Енергетична цінність кави смаженої в зернах складає  $E_{\text{ц}} = 9,33$  кДж/г, а розчинної кави  $E_{\text{ц}} = 4,98$  кДж/г.

#### 4.1.2. Какао

**Какао-боби.** Об'ємна маса какао-бобів залежно від їх геометричної форми, розмірів і способу укладки варіює від 500 до 70 кг/м<sup>3</sup>.

Фізичні показники какао-бобів складають  $\rho_{\text{ф}} = 1010$  і  $\rho_{\text{н}} = 558 - 628$  кг/м<sup>3</sup>

Теплоємність в Дж/(кг·К) какао-бобів

при  $293 < T < 393$  К

$$c = (262 + 4,43 T) n + 4187 W \quad (4.15)$$

Таблиця 4.6

Теплофізичні характеристики какао-бобів

| Какао-боби | $\rho_{\text{н}}$ , кг/м <sup>3</sup> | ТФХ                                | Температура, К |       |       |       |
|------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|
|            |                                       |                                    | 293            | 323   | 343   | 383   |
| Цілі       | 560                                   | $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,105          | 0,100 | 0,093 | 0,093 |
|            |                                       | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 8,09           | 7,78  | 7,64  | 7,50  |
| Подріблені | 623                                   | $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,160          | –     | –     | –     |
|            |                                       | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 11,2           | –     | –     | –     |

Енергетична цінність какао-бобів  $E_{\text{ц}} = 12,7$  кДж/г

**Какао-масло.** Густина масла, що затверділо, при  $T = 288$  дорівнює 945 – 976 кг/м<sup>3</sup>, при  $T = 298$  К – 977 кг/м<sup>3</sup>. В розплавленому стані густина масла складає при 308 К – 906, при 373 К – 857 – 858 кг/м<sup>3</sup>. Для визначення густини в кг/м<sup>3</sup> масла використовують такі формули:

при  $288 < T < 383$  К

$$\rho = 1080 - 0,60 T \quad (4.16)$$

при  $298 < T < 323 \text{ K}$

$$\rho = 1081 - 0,60 T \quad (4.17)$$

при  $283 < T < 343$

$$\rho = 1173 - 0,75 T \quad (4.18)$$

Значення ентальпії масла і його суміші з вершковим жиром наведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7

**Ентальпія в кДж/кг какао-масла і його суміші з вершковим маслом**

| Масова частка |                | Температура, К |      |      |       |       |       |       |
|---------------|----------------|----------------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| какао-масло   | вершкове масло | 273            | 283  | 293  | 303   | 313   | 323   | 333   |
| 1             | 0              | 0              | 20,9 | 44,4 | 92,1  | 203,5 | 224,4 | 242,0 |
| 0,90          | 0,10           | 0              | 23   | 25,1 | 127,1 | 200,1 | 221,1 | 240,7 |
| 0,88          | 0,12           | 0              | 23,4 | 27,8 | 133,1 | 197,6 | 218,6 | 238,6 |
| 0,86          | 0,14           | 0              | 24,3 | 58,6 | 135,2 | 196,4 | 217,3 | 237,4 |
| 0,84          | 0,16           | 0              | 24,7 | 59,9 | 137,8 | 195,5 | 216,0 | 236,1 |
| 0,82          | 0,18           | 0              | 25,1 | 61,1 | 140,3 | 194,3 | 214,8 | 234,9 |
| 0,80          | 0,20           | 0              | 25,9 | 62,0 | 141,5 | 193,4 | 213,5 | 233,6 |
| 0,78          | 0,22           | 0              | 26,4 | 63,2 | 144,0 | 192,2 | 212,3 | 232,4 |
| 0,76          | 0,24           | 0              | 26,8 | 64,5 | 146,1 | 190,9 | 211,0 | 231,1 |

Істинна теплоємність в Дж/(кг·К) твердого масла

при  $208 < T < 243 \text{ K}$

$$c = -139 + 6,35 T \quad (4.19)$$

$$c = -1901 + 13,6 T \quad (4.20)$$

Істинна теплоємність рідкого какао-масла:

при  $313 < T < 373 \text{ K}$

$$c = 442 - 4,97 T \quad (4.21)$$

Таблиця 4.8

**Теплоємність в Дж/(кг·К) твердого какао-масла**

| Температура, К |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 203            | 213  | 223  | 233  | 243  | 253  | 263  | 273  |
| 1150           | 1208 | 1267 | 1325 | 1384 | –    | –    | –    |
| –              | –    | –    | 1298 | 1424 | 1549 | 1717 | 2093 |
| –              | –    | 1298 | 1340 | 1404 | 1486 | 1635 | 2198 |
| –              | –    | –    | –    | –    | 1516 | –    | 2093 |



При нагріванні какао-масло і досягненні 301 К ефективна теплоємність збільшується до 7080 Дж/(кг·К), а при подальшому нагріванні ( в інтервалі 333–373 К) вона збільшується монотонно і незначно.

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К)

при 313 < T < 373К

$$c_p = 477,36 + 5,10 T - 0,0030 T^2 \quad (4.22)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) і температуропровідність (в м<sup>2</sup>/с) какао-масла:

при 283 < T < 343 К

$$\lambda = -0,306 + 0,0021T \quad (4.23)$$

$$\alpha \cdot 10^8 = -20,8 + 0,117T \quad (4.24)$$

**Какао терте.** При нагріванні какао тертого від 293 К до 301 К ефективна теплоємність його різко і помітно збільшується від 1760 до 5500 кДж/(кг·К), що викликано поліморфними перетвореннями. При подальшому нагріванні какао тертого ефективна теплоємність зменшується до 1760 Дж/(кг·К).

Істинна теплоємність в Дж/(кг·К) какао тертого ( W = 0,019)

при 293 < T < 373 К

$$c = 680 + 3,69 T \quad (4.25)$$

Густина в кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність в Вт/(м·К) і температуропровідність в м<sup>2</sup>/с какао тертого (W = 0,02)

$$\rho = 1251,5 - 0,5 T \quad (4.26)$$

$$\lambda = 0,535 - 0,00058 T \quad (4.27)$$

$$\alpha \cdot 10^8 = 17,5 - 0,017 T \quad (4.28)$$

Енергетична цінність 25,36 кДж / г

**Какао-порошок.** Наведені в таблиці 4.9 дані свідчать, що зі збільшенням масової частки жиру густина какао-порошку зменшується, а об'ємна маса обробленого лугом порошку більша, ніж необробленого.

Залежність  $\rho_f$ , кг/м<sup>3</sup> порошку від масової частки жиру можна представити:

Таблиця 4.9

**Фізичні показники какао-порошку**

| <i>Ж</i> | $\rho_f^*$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho_n^*$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho_n^{**}$ , кг/м <sup>3</sup> |
|----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 0        | 1450                           | –                              | –                                 |
| 0,10     | 1400                           | 350                            | 400                               |
| 0,22     | 1350                           | 450                            | 500                               |

\* – не оброблений лугом

\*\* – оброблений лугом

Теплоємність малознежиреного порошку ( $W = 0,054$ ) при  $213 < T < 293$  К

$$c = -1269 + 10,3 T \quad (4.29)$$

при  $313 < T < 343$  К

$$c = 842 + 2,5 T \quad (4.30)$$

При  $T = 303$  К ефективна теплоємність порошку ( $W=0,054$ ) складає 5800, а при  $T < T_k - 2638$  Дж/(кг·К)

Таблиця 4.10

**Теплофізичні характеристики какао-порошку при  $T = 298$  К**

| Характеристика                          | Питома вага вологи |       |       |       |       |       |       |       |
|---|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | 0,006              | 0,51  | 0,114 | 0,186 | 0,224 | 0,310 | 0,354 | 0,382 |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)                    | 0,046              | 0,058 | 0,058 | 0,058 | 0,076 | 0,081 | 0,093 | 0,098 |
| $\alpha \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 19,4               | 19,8  | 20,3  | 20,8  | 21,2  | 21,4  | 21,7  | 21,2  |
| $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)       | 237,1              | 505,0 | 285,7 | 278,8 | 360,2 | 378,5 | 428,6 | 464,4 |

Енергетична цінність какао-порошку  $E_u = 15,61$  кДж/г**4.1.3. Яйця і яєчні продукти**

**Білок.** Густина білка при  $W=0,85 - 0,87$  коливається від 1042 до 1080 кг/м<sup>3</sup>. З підвищенням температури, особливо при  $T > 323$  К, густина білка зменшується до 1015 кг/м<sup>3</sup>.

Густина (в кг/м<sup>3</sup>) білку в процесі зберігання (вологість повітря 30–60%) залежить від тривалості зберігання  $\tau_3$  і температури повітря  $T_n$

при  $T_n = 293$  К і  $0 < \tau_3 < 45$  дн.

$$\rho^* = 1030 - 0,25\tau_3 \quad (4.31)$$

при  $T_6 = 275 - 277 \text{ К}$  і  $0 < \tau_3 < 45$  діб

$$\rho^* = 1030 - 0,125\tau_3 \quad (4.32)$$

$$\rho^{**} = 1039 - 0,075\tau_3 \quad (4.33)$$

\* – зовнішній густий і рідкий білок

\*\* – внутрішній рідкий білок

Таблиця 4.11

**Густина піни білка**

| Продукт                    | Тривалість зберігання, дн. | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Продукт                          | Тривалість зберігання, дн. | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Рідкий нативний білок      | –                          | 185                        | Порошок із концентрованого білка | –                          | 180                        |
| Порошок із нативного білка | –                          | 190                        |                                  | 14                         | 180                        |
|                            | 14                         | 210                        |                                  | 30                         | 210                        |
|                            | 30                         | 250                        |                                  | 60                         | 250                        |
|                            | 60                         | 310                        |                                  |                            |                            |

Таблиця 4.12

**Ентальпія в кДж/кг білка при  $T \geq 273 \text{ К}$**

| W     | Температура, К |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | 273            | 278   | 283   | 288   | 293   | 298   | 303   | 308   | 313   |
| 0,800 | 321,1          | 339,6 | 357,6 | 375,6 | 393,6 | 411,6 | 429,6 | 448,0 | 466,8 |
| 0,865 | 351,3          | 370,5 | 389,4 | 408,2 | 427,1 | 445,9 | 464,8 | 483,6 | 502,4 |
| 0,900 | 367,6          | 386,9 | 406,1 | 425,4 | 445,1 | 464,3 | 483,6 | 503,3 | 523,4 |

Теплоємність в Дж/(кг·К) білка ( $W \geq 0,286$ )

при  $T = 273 \text{ К}$

$$c = 1298 + 2890 W \quad (4.34)$$

при  $T = 283 \text{ К}$

$$c = 1605 + 2510 W \quad (4.35)$$

при  $T = 293 \text{ К}$

$$c = 1717 + 2480 W \quad (4.36)$$

при  $T = 303 \text{ К}$

$$c = 1794 + 2390 W \quad (4.37)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) білка, як і інших продуктів, які включають

воду, з підвищенням температури збільшується:

при  $278 < T < 323 \text{ К}$

$$\lambda = 0,117 + 0,00142 T \quad (4.38)$$

Температуропровідність в  $\text{м}^2/\text{с}$  білка

при  $233 < T < 272 \text{ К}$

$$a \cdot 10^8 = 354,6 - 1,18 T \quad (4.37)$$

при  $279 < T < 323 \text{ К}$

$$a \cdot 10^8 = -2,45 + 0,050 T \quad (4.38)$$

Енергетична цінність сухої частини білка складає  $14,06 \text{ кДж/г}$ .

**Жовток.** Густина жовтка в  $\text{кг/м}^3$  в процесі зберігання (вологість повітря 30–60%) залежить від тривалості зберігання  $\tau_3$  і температури повітря  $T_n$ .

при  $T_n = 293 \text{ К}$  і  $0 < \tau_3 < 45 \text{ діб}$

$$\rho_p = 1030 - 0,05 \cdot \tau_x \quad (4.39)$$

$T_n = 275 - 277 \text{ К}$  і  $0 < \tau_3 < 45 \text{ діб}$

$$\rho_p = 1030 = \text{const} \quad (4.40)$$

Таблиця 4.13

#### Ентальпія в $\text{кДж/кг}$ жовтка

| W    | Температура, К |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      | 273            | 278   | 283   | 288   | 293   | 298   | 303   | 308   | 313   |
| 0,40 | 198,8          | 208,5 | 230,0 | 249,5 | 263,8 | 277,6 | 291,8 | 306,1 | 320,3 |
| 0,50 | 228,5          | 246,2 | 268,0 | 288,1 | 303,6 | 319,0 | 334,5 | 350,0 | 365,5 |

Теплоємність в  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  жовтка

при  $0,115 < W < 1$  і  $T = 273 - 313 \text{ К}$

$$c = 2655 + 11,80 W \quad (4.41)$$

Теплопровідність в  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  жовтка

при  $279 < T < 323 \text{ К}$

$$\lambda = 0,3455 + 0,00020 T \quad (4.42)$$

Температуропровідність в  $\text{м}^2/\text{с}$  жовтка

при  $273 < T < 323 \text{ К}$

$$a \cdot 10^8 = 6,6 + 0,011 T \quad (4.43)$$

Енергетична цінність сухої частини жовтка 26,07 кДж/г.

### Яйця

Таблиця 4.14.

#### Густина яєць при зберіганні

| Зберігання,<br>міс.        | ІХ     | Х      | ХІ     | ХІІ    | І      |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | 1083,0 | 1082,9 | 1081,0 | 1082,3 | 1080,9 |

Продовження

| Зберігання,<br>міс.        | ІІ     | ІІІ    | ІV     | V      | VI     | VII    |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | 1081,6 | 1076,1 | 1079,3 | 1077,6 | 1074,9 | 1075,6 |

Теплоємність сухої речовини яйця ( $T = 233\text{--}313\text{ K}$ ) дорівнює 1884 Дж/(кг·К).

Теплофізичні характеристики яйця (білка 65,2% і жовтка 34,8 %) при  $W = 0,74$  дорівнюють:  $\rho - 1083\text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3232\text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda - 0,432\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  і  $a - 12,3 \cdot 10^{-8}\text{ м}^2/\text{с}$ .

Таблиця 4.15

#### Ентальпія в кДж/кг яєць (при $T = 233\text{ K}$ і $i = 0$ )

| W     | Температура, К |      |      |      |      |       |       |       |       |       |
|-------|----------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | 243            | 253  | 258  | 263  | 268  | 273   | 278   | 283   | 293   | 303   |
| 0,664 | 17,6           | 36,4 | 47,3 | 60,7 | 80,8 | 280,5 | 298,1 | 316,5 | 350,4 | 383,1 |
| 0,740 | 18,4           | 38,9 | 52,3 | 66,2 | 85,8 | 308,1 | 328,2 | 349,2 | 386,9 | 441,3 |

Таблиця 4.16

#### Теплоємність в кДж/(кг·К) яйця

| W     | Температура, К |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|-------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|       | 243–<br>253    | 253–<br>258 | 258–<br>263 | 263–<br>238 | 268–<br>273 | 273–<br>278 | 278–<br>283 | 283–<br>293 | 293–<br>303 | 303–<br>313 |
| 0,664 | 1800           | 2180        | 2680        | 4020        | 39940       | 3520        | 3680        | 3390        | 3270        | 3350        |
| 0,740 | 2050           | 2680        | 2780        | 3960        | 44460       | 4020        | 4200        | 3770        | 5440        | –           |

Енергетична цінність яйця курячого 6,57, а перепелиного – 7,03 кДж/г

**Меланж.** Залежність густини в кг/м<sup>3</sup> меланжу від температури і місяця відбирання яєць описується формулами:

при  $283 < T < 323$  К, весняний відбір яєць

$$\rho = 1050,5 - 0,0475 T \quad (4.44)$$

при  $293 < T < 328$  К, зимовий відбір яєць

$$\rho = 1039,9 - 0,0238 T \quad (4.45)$$

Теплоємність меланжу в Дж/(кг·К) в інтервалі температур 300 – 339 К

при  $0 < W < 0,056$

$$c = 1675 + 4600 W \quad (4.46)$$

при  $0,056 < W < 0,145$

$$c = 1800 + 3100 W \quad (4.47)$$

Таблиця 4.17

#### Ентальпія меланжу

| $T, \text{ К}$      | 253 | 258  | 263  | 268  | 273   | 278   | 283   | 288   | 293   | 298   |
|---------------------|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $h, \text{ кДж/кг}$ | 0   | 11,3 | 24,3 | 44,8 | 264,2 | 281,4 | 298,5 | 315,7 | 332,9 | 350,0 |

Теплопровідність в Вт/м·К) меланжу залежно від температури

при  $273 < T < 323$  К

$$\lambda = 0,110 + 0,00125 T \quad (4.48)$$

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с меланжу при  $279 < T < 323$  К

$$a \cdot 10^8 = 0,043 T - 1,14 \quad (4.49)$$

Енергетична цінність меланжу 6,57 кДж/г.

## 4.2. Шоколад

Густина шоколадної маси при  $T = 273 \text{ K}$  складає  $1235 \text{ кг/м}^3$ , а шоколаду – залежить від його виду. Густина плиткового шоколаду  $1310 \text{ кг/м}^3$ .

Таблиця 4.18

### Теплоємність в Дж/(кг·К) шоколаду

| Шоколад  | Температура, К |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|          | 233            | 238  | 243  | 248  | 253  | 258  | 263  | 268  | 273  | 278  | 283  | 313  | 318  | 323  | 328  | 333  |
| Гіркий   | 1005           | 1051 | 1059 | 1093 | 1118 | 1160 | 1239 | 1273 | 1315 | 1327 | 1377 | 1415 | 1457 | 1482 | 1495 | 1520 |
| Молочний | 1097           | 1151 | 1172 | 1223 | 1269 | 1310 | 1352 | 1461 | 1566 | 1661 | 1687 | 1570 | 1608 | 1633 | 1650 | 1675 |

Таблиця 4.19

### Ентальпія в кДж/кг продуктів шоколадного виробництва

| Продукт                                     | Температура, К |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |
|---|----------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | 253            | 263  | 273  | 283  | 293   | 303   | 313   | 323   | 333   | 343   | 353   |
| Гіркий шоколад (0,6 какао і 0,005 води)     | 36,5           | 50,0 | 63,9 | 78,3 | 98,3  | 128,8 | 157,8 | 173,8 | 190,3 | 207,2 | 224,5 |
| Шоколад з молоком (0,30 какао і 0,011 води) | 37,3           | 52,0 | 66,2 | 81,7 | 108,5 | 137,4 | 156,0 | 172,0 | 188,2 | 204,9 | 222,2 |
| Шоколадна глазур (0,38 какао-масла)         | 36,0           | 49,6 | 64,2 | 79,9 | 104,1 | 149,1 | 167,6 | 183,9 | 200,6 | 217,7 | 235,4 |

За даними англійської кондитерської фірми «Кедбері» шоколад може бути п'яти кристалічних форм – від 1 до 5, найбільш смачною є форма 5, найменш – 2 та 3. якщо розплав кристалізується при  $t = 22,3 - 23,5^\circ\text{C}$ , виходять несмачні форми, а для одержання форми 5 потрібна температура кристалізації  $23,86^\circ\text{C}$ .

Таблиця 4.20

### Енергетична цінність шоколаду

| Вид шоколаду        | Ец, кДж/г |
|---------------------|-----------|
| Без добавок         | 22,59     |
| Молочний            | 22,89     |
| Молочно – горіховий | 22,69     |
| Поруватий шоколад   | 22,80     |
| В порошок           | 20,21     |

## Теплофізичні властивості шоколаду

| Матеріал               | $T, K$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $\alpha \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|------------------------|--------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|
| Шоколадна маса         | 273    | 1235                  | 1482                             | 0,214                                 | 11,7                                     |
|                        | 283    | 1234                  | 1854                             | 0,223                                 | 9,75                                     |
|                        | 293    | 1238                  | 2123                             | 0,233                                 | 8,9                                      |
|                        | 308    | 1238                  | 1603                             | 0,246                                 | 12,4                                     |
| Шоколад «Золотий якір» | 283    | 1270                  | 1675                             | 0,24                                  | 11,4                                     |
|                        | 303    | 1260                  | 1675                             | 0,26                                  | 12,2                                     |
|                        | 323    | 1250                  | 1675                             | 0,27                                  | 12,8                                     |
|                        | 343    | 1240                  | 1591                             | 0,27                                  | 13,6                                     |
| Шоколад «Соєвий»       | 291    | 1150                  | 2345                             | 0,20                                  | 9,8                                      |
|                        | 308    | 1153                  | 1993                             | 0,21                                  | 9,1                                      |
| Шоколад №3             | 283    | 1320                  | 1591                             | 0,24                                  | 11,7                                     |
|                        | 303    | 1310                  | 1591                             | 0,26                                  | 12,5                                     |
|                        | 323    | 1300                  | 1549                             | 0,27                                  | 13,3                                     |
|                        | 343    | 1290                  | 1549                             | 0,29                                  | 14,4                                     |

## 4.3.Карамель

**Карамельний сироп.** Розрахункове значення ТФХ сухої речовини карамельних сиропів (співвідношення цукру–піску і патоки 1: 0,5) при  $T = 293 K$  дорівнює:  $c - 1645 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda - 0,244 \text{ Вт/( м}\cdot\text{К)}$ ,  $\rho - 555 \text{ кг/м}^3$ ,  $a - 9,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Густина карамельних сиропів зі зниженням температури і збільшенням масової частки сухої речовини зростає.

Густина карамельних сиропів більше, ніж водних розчинів патоки, оскільки при однаковій температурі і масовій частці сухої речовини густина сухої речовини цукру–піску більше густини патоки в 1,09 рази.

## Густина карамельних сиропів (співвідношення цукру–піску і патоки 1 : 0,5)

| $n$         | Температура, К |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 293            | 308  | 313  | 323  | 333  | 343  | 353  | 363  | 383  |
| 0,709       | –              | 1348 | –    | 1335 | –    | 1327 | –    | 1321 | –    |
| 0,800       | 1420           | –    | 1395 | –    | 1370 | –    | 1340 | –    | –    |
| 0,846–0,854 | 1450           | 1433 | 1425 | –    | 1400 | 1418 | 1370 | 1415 | 1339 |
| 0,861       | –              | –    | –    | 1441 | –    | –    | –    | –    | 1409 |
| 0,878–0,880 | 1480           | 1459 | 1455 | –    | 1430 | 1446 | 1440 | –    | 1420 |
| 0,92        | 1520           | –    | 1490 | –    | 1460 | –    | 1430 | –    | –    |



Теплоємність (в Дж/(кг·К)) карамельних сиропів:

при  $293 < T < 353$  К і  $0,10 < n < 0,98$

$$c = 3575 - 2705n + 2,09T \quad (4.50)$$

Теплопровідність (в Вт/(м·К)) карамельних сиропів:

при  $293 < T < 353$  К і  $n > 0,80$

$$\lambda = 0,5895 - 0,17n - 0,00058T \quad (4.51)$$

**Карамельна маса.** Густина карамельних мас наведена в таблиці 4.23.

Таблиця 4.23.

**Густина в кг/м<sup>3</sup> карамельних мас  
(співвідношення цукру-піску і патоки 1: 0,5)**

| <i>n</i> | Температура, К |            |            |            |
|----------|----------------|------------|------------|------------|
|          | <b>293</b>     | <b>313</b> | <b>333</b> | <b>353</b> |
| 0,950    | 1550           | 1520       | 1490       | 1460       |
| 0,980    | 1600           | 1570       | 1540       | 1500       |

ТФХ карамельної маси визначаються за вищенаведеними формулами:  $c$  – (4.50),  $\lambda$  – (4.51).

**Карамельні вироби.** Густина карамелі при  $T = 293$  К складає від 1116,62 до 1526,45 кг/м<sup>3</sup>.

Густина карамелі дорівнює: льодяникова 1500 – 1550, тягнута (без начинки) – 1220 – 1225, Бон–Бон (35% шоколадно–горіхова начинка) – 1350 – 1355, з фруктово–ягідною начинкою – 1430 – 1435 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 4.24.

**Густина карамельної маси різної тривалості витягування**

| <b><math>\tau</math>, хв</b>               | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| <b><math>\rho</math>, кг/м<sup>3</sup></b> | 1350     | 1186     | 1070     | 1000     | 961      | 938      | 931      | 942      | 969      | 1054      |

Енергетична цінність карамельних виробів 15,15 кДж/г.

#### 4.4. Мармелад

Густина фруктового мармеладу складає 1358,8 кг/м<sup>3</sup>.

Систематизовані значення ТФХ мармеладу залежно від температури наведені в табл. 4.25, а залежно від масової частки вологи в табл. 4.26.

Таблиця 4.25

##### Теплофізичні характеристики мармеладу

| Мармелад                     | $T, K$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$ | $\alpha \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|------------------------------|--------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|
| Желейний<br><br>( $W=0,35$ ) | 298    | 1411                  | 2952                             | 0,384                                 | 9,2                                      |
|                              | 323    | 1396                  | 2834                             | 0,372                                 | 9,4                                      |
|                              | 358    | 1361                  | 2784                             | 0,360                                 | 9,5                                      |
|                              | 308    | –                     | 3000                             | 0,25                                  | 6,8                                      |
|                              | 318    | –                     | 3500                             | 0,33                                  | 8,1                                      |
|                              | 328    | –                     | 3000                             | 0,39                                  | 8,1                                      |
|                              | 338    | –                     | 3500                             | 0,28                                  | 7,5                                      |

Таблиця 4.26

##### Теплофізичні характеристики мармеладу

| Мармелад    | ТФХ                                      | Масова частка вологи |       |       |       |      |
|-------------|--|----------------------|-------|-------|-------|------|
|             |  | 0,16                 | 0,20  | 0,24  | 0,28  | 0,30 |
| Яблучний    | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$         | 697                  | 977   | 1256  | 1537  | 1675 |
|             | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$    | 0,116                | 0,174 | 0,233 | –     | –    |
|             | $\alpha \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ | 8,3                  | 10,8  | 11,1  | 10,5  | 8,3  |
| Трехшаровий | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$         | 837                  | 1116  | 1395  | 1675  | –    |
|             | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$    | 0,174                | 0,244 | 0,255 | 0,257 | –    |
|             | $\alpha \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ | 11,1                 | 13,9  | 12,5  | 13,9  | –    |

Енергетична цінність желейного мармеладу складає 12,38, а фруктового і ягідного – 12,09 кДж /г.

#### 4.5. Борошняні кондитерські вироби

##### 4.5.1. Бісквіт

Густина бісквітного тіста при  $T = 293 K$  складає 880 кг/м<sup>3</sup>.

Теплопровідність бісквіту змінюється по його товщині і на відстані 2 і 5 мм від нижньої шкірки відповідно складає 0,045 і 0,100 Вт/(м·К). Теплопровідність тіста більша, ніж готового виробу, тому що воно більш вологе, менш пористе і

більш густе.

Таблиця 4.27

### Теплопровідність тіста і бісквітів

| Зразок          | $W$           | $\lambda$ , Вт/(м·К) |
|-----------------|---------------|----------------------|
| Тісто           | 0,37 – 0,38   | 0,2                  |
| М'якуш          | –             | 0,12 – 0,13          |
| Верхня скоринка | 0,025 – 0,030 | 0,6                  |
| Нижня скоринка  | 0,09 – 0,02   | 0,11 – 0,12          |

Таблиця 4.28

### Теплофізичні характеристики напівфабрикатів для бісквітів ( $W = 0,66$ і $\rho_{\phi} = 480$ кг/м<sup>3</sup>) при $T$ середовища 438 К

| Зразок          | ТФХ                                     | Температура, К |       |       |       |       |
|-----------------|---|----------------|-------|-------|-------|-------|
|                 |   | 293            | 313   | 333   | 353   | 373   |
| М'якуш          | $\lambda$ , Вт/(м·К)                    | 0,206          | 0,154 | 0,124 | 0,106 | 0,100 |
|                 | $\alpha \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 10,0           | 14,8  | 13,6  | 10,0  | 4,2   |
|                 | $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)       | 2,0            | 1,12  | 0,54  | 0,72  | 1,54  |
| Верхня скоринка | $\lambda$ , Вт/(м·К)                    | 0,060          | 0,063 | 0,066 | 0,069 | 0,072 |
|                 | $\alpha \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 3,6            | 5,4   | 4,8   | 4,2   | 3,5   |
|                 | $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)       | 1,42           | 1,18  | 1,12  | 1,36  | 1,90  |
| Нижня скоринка  | $\lambda$ , Вт/(м·К)                    | 0,103          | 0,106 | 0,112 | 0,112 | 0,118 |
|                 | $\alpha \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 6,0            | 7,8   | 6,6   | 6,6   | 4,2   |
|                 | $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)       | 1,54           | 1,36  | 1,60  | 1,60  | 2,06  |

Енергетична цінність бісквітних тістечок складає 14,9 кДж/г.

### 4.5.2. Вафельні листи

Таблиця 4.29

#### Теплофізичні характеристики вафельного тіста

| ТФХ                                     | Температура, К |      |      |      |      |
|---|----------------|------|------|------|------|
|   | 288            | 295  | 313  | 333  | 358  |
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup>       | 1077           | 1101 | 1040 | –    | –    |
| $c$ , Дж/(кг·К)                         | 3559           | 3559 | 3559 | –    | –    |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)                    | 0,46           | 0,49 | 0,47 | 0,47 | 0,49 |
| $\alpha \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 12             | 12,5 | 12,7 | 12,4 | 22,5 |
| $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)       | 3883           | 3920 | 3701 | 3797 | 2178 |

Таблиця 4.30

**Густина вафельного листа при  $T = 293 \text{ K}$** 

| $W$                               | <b>0,60</b> | <b>0,62</b> | <b>0,64</b> | <b>0,65</b> |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | 1136 – 1140 | 1154        | 1142 – 1144 | 1133 – 1137 |

Для готового вафельного листа теплоємність в Дж/(кг·К), теплопровідність в Вт/(м·К) і температуропровідність в м<sup>2</sup>/с:

при  $288 < T < 308 \text{ K}$ ,  $\rho = 164 \text{ кг/м}^3$ ,  $W = 0,03$

$$c = 1088 + 1,38 T \quad (4.52)$$

$$\lambda = -0,0054 + 0,0017 T \quad (4.53)$$

$$\alpha \cdot 10^8 = 42,6 - 0,078 T \quad (4.54)$$

Енергетична цінність вафель з фруктовими начинками складає 14,31, а жировмісних – 22,18 кДж/г

**4.5.3. Галети**

Таблиця 4.31

**Теплофізичні характеристики тіста та галет**

| Продукт                         | $W$    | $T$ , К | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $\alpha \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|---------------------------------|--------|---------|-----------------------------------|-----------------|----------------------|---|
| Тісто для галет «Воєнний похід» | 0,3314 | 293     | 1003,6                            | 2353            | 0,303                | 12,8                                    |
| Галети «Воєнний похід»          | 0,1068 | 293     | 478                               | 2156            | 0,104                | 10,1                                    |
| Тісто для галет «Похід»         | –      | 295     | 1165                              | 2709            | 0,338                | 10,8                                    |
| Галети «Похід»                  | 0,10   | 298     | 488                               | 2311            | 0,122                | 9,7                                     |

Енергетична цінність галет із борошна вищого сорту 16,64, а із борошна першого сорту – 14,06 кДж/г.

**4.5.4. Печиво**

Таблиця 4.32

**Теплофізичні характеристики тіста для печива**

| Тісто   | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) |
|---------|----------------------------|-----------------|----------------------|
| Цукрове | 1290                       | 2353 – 2219     | 0,33                 |
| Затяжне | 1280                       | 2496 – 2533     | 0,34                 |

Таблиця 4.33

## Теплофізичні характеристики печива

| Продукт      | $T, K$  | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$ | $\alpha \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|--------------|---------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|
| Цукрове      | –       | 520                   | 1725                             | 0,10                                  | 8,7                                      |
| «Лактон»     | 298–358 | 640                   | 2181–1624                        | 0,12                                  | 8,3                                      |
| «Вершкове»   | 298–318 | 700                   | 2177–1968                        | 0,13                                  | 8,3–9,2                                  |
| «Наша марка» | 298–358 | –                     | 2177–1624                        | 0,12                                  | 8,3–12,2                                 |
| «Спорт»      |         | 550                   | 1885                             | 0,139                                 | 13,1                                     |

Таблиця 4.34

## Енергетична цінність печива

| Вид печива                      | $E_c, \text{кДж/г}$ |
|---------------------------------|---------------------|
| Цукрове з борошна вищого сорту  | 17,45               |
| Цукрове з борошна першого сорту | 16,99               |
| Затяжне з борошна вищого сорту  | 16,61               |
| Затяжне з борошна першого сорту | 16,44               |
| Здобне                          | 15,73               |
| Здобне                          | 19,79               |

## 4.5.5. Пряники

Таблиця 4.35

## Теплофізичні характеристики тіста для пряників

| Тісто   | $T, K$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$ | $\alpha \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|---------|--------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|
| Заварне | 293    | 1325                  | 2910                             | 0,401                                 | 10,4                                     |
|         | 299    | 1325                  | 2956                             | 0,409                                 | 10,4                                     |
| Сирцеве | 288    | 1340                  | 2659                             | 0,358                                 | 10,8                                     |
|         | 297    | 1342                  | 2889                             | 0,407                                 | 10,5                                     |
|         | 303    | 1338                  | 3182                             | 0,430                                 | 10,1                                     |

Таблиця 4.36

## Теплофізичні характеристики пряників

| Продукт      | $W$   | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$ | $\alpha \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|--------------|-------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|
| «Саксонські» | 0,133 | 557                   | 1928                             | 0,088                                 | 8,19                                     |
| «М'ятні»     | 0,083 | 538                   | 1985                             | 0,099                                 | 9,26                                     |

Енергетична цінність пряників заварних – 14,06, а сирцевих – 13,89 кДж/г.

#### 4.5.6. Інші види виробів

**Торти.** Теплофізичні характеристики кавового торта при  $T > T_k$  і  $T < T_k$  відповідно дорівнюють:  $\lambda - 0,221$  і  $0,523$  Вт/(м·К),  $a - 46,44 \cdot 10^{-8}$  і  $227,0 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с,  $cp - 475,9$  і  $235,7$  кДж/(м<sup>3</sup>·К).

Таблиця 4.37

#### Теплопровідність тіста і торта ( $T = 301$ К)

| Тісто          | W    | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $\lambda$ , Вт/(м·К) |
|----------------|------|----------------------------|----------------------|
| Вихідне        | 0,41 | 720                        | 0,223                |
| 1/4 готовності | 0,40 | 800                        | 0,228                |
| 1/2 готовності | 0,39 | 350                        | 0,135                |
| Готове         | 0,36 | 280                        | 0,121                |

**Кекси.**

Таблиця 4.38

#### Теплофізичні характеристики тіста для кексу «Слов'янський»

| T, К | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | c, Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $\alpha \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|------|----------------------------|--------------|----------------------|---|
| 277  | 1240                       | 2540         | 0,629                | 20,0                                    |
| 313  | 1240                       | 2830         | 0,610                | 17,7                                    |
| 343  | 1189                       | 2890         | 0,582                | 16,9                                    |
| 358  | 1184                       | 3000         | 0,690                | 19,4                                    |

**Крекер.** Теплоємність крекери при  $W = 0,028$  і  $T = 298 - 351$  К і  $W = 0,026$  і  $T = 297 - 334$  К відповідно дорівнює 1595 і 1570 Дж/(кг·К).

Таблиця 4.39

#### Енергетична цінність виробів

| Назва виробу                                    | Ец, кДж/г |
|---|-----------|
| Торт бісквітний з фруктовую начинкою            | 16,15     |
| Торт бісквітний з горіхово – вершковою начинкою | 14,60     |
| Торт бісквітний з шоколадним кремом             | 13,81     |
| Торт мигдальний                                 | 21,92     |
| Кекс «Ванільний»                                | 15,06     |
| Кекс «Ювілейний»                                | 15,15     |
| Крекери з борошна вищого гатунку                | 17,45     |

**Мед.** Масова частка вологи  $W$  в медові приведена в таблиці 4.40

Таблиця 4.40

**Динамічна в'язкість меду  $\mu$ , Па·с**

| <b>W</b> | <b>t, °C</b> |           |           |           |           |           |           |           |
|----------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|          | <b>10</b>    | <b>20</b> | <b>30</b> | <b>40</b> | <b>50</b> | <b>60</b> | <b>70</b> | <b>80</b> |
| 14       | –            | 59,2      | 14,4      | 4,6       | 1,5       | 1,0       | 0,70      | 0,25      |
| 16       | –            | 22,8      | 5,9       | 2,1       | 0,9       | 0,6       | 0,30      | 0,15      |
| 19       | 28,0         | 6,5       | 2,7       | 1,0       | 0,5       | 0,3       | 0,20      | 0,10      |
| 20       | 4,52         | 1,3       | 0,5       | 0,4       | 0,2       | 0,1       | 0,05      | 0,03      |

В межах  $t = 5\text{--}35^\circ\text{C}$  густину  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність  $\lambda$ , Вт/(м·К), теплоємність  $c$ , кДж/(кг·К), температуропровідність  $a$ , м<sup>2</sup>/с визначають за формулами:

$$\rho = 1442 - 0,4 t \quad (4.47)$$

$$\lambda = 1,163 (0,29 + 0,00075t) \quad (4.48)$$

$$c = 4,186 (0,54 + 0,0035t) \quad (4.49)$$

$$a = 2 \cdot 10^{-8} (4,3 - 0,033t) \quad (4.50)$$

Енергетична цінність меду 12,89 кДж/г.

## РОЗДІЛ 5. М'ЯСНА ПРОМИСЛОВІСТЬ

### 5.1. Яловичина

Кріоскопічна температура  $T_k$  яловичини дорівнює: сирій ( $W = 0,749$ ) – 272 К, вареної ( $W = 0,546$ ) – 271 К.

#### Яловичина за температури $T > T_k$ .

Густина яловичини в  $\text{кг/м}^3$  залежить від температури  $T$  і масових часток вологи  $W$  та жиру  $Ж$ :

$$\text{за } T = 293 \text{ К; } 0,12 < W < 0,74 \quad \rho = 917 + 271 \cdot W \quad (5.1)$$

$$\text{за } 0,05 < Ж < 0,42; T = 273 \text{ К} \quad \rho = 1070 - 119 \cdot Ж \quad (5.2)$$

$$\text{за } 0,10 < Ж < 0,50; T = 278 \text{ К} \quad \rho = 1130 - 130 \cdot Ж \quad (5.3)$$

$$\text{за } 0,10 < Ж < 0,50; T = 298 \text{ К} \quad \rho = 1120 - 145 \cdot Ж \quad (5.4)$$

за  $271 < T < 373 \text{ К}$ , сирій, коли  $W = 0,749$  і  $Ж = 0,025$

$$\rho = 1176 - 0,39 \cdot T \quad (5.5)$$

за  $271 < T < 373 \text{ К}$ , вареної, коли  $W = 0,546$  і  $Ж = 0,012$

$$\rho = 1220 - 0,38 \cdot T \quad (5.6)$$

Таблиця 5.1.

#### Ентальпія ( $h = 0$ за $T = 77 \text{ К}$ ) і теплоємність м'яса яловичини

| W     | Ж     | ТФХ                                | Температура, К |       |       |       |       |       |
|-------|-------|------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |       |                                    | 273            | 280   | 290   | 300   | 310   | 320   |
| 0,705 | 0,105 | $h, \text{кДж/кг}$                 | 501,1          | 526,0 | 562,6 | 598,6 | 633,9 | 669,1 |
|       |       | $c, \text{Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ | 3700           | 3920  | 4007  | 3720  | 3590  | 3570  |
| 0,741 | 0,038 | $h, \text{кДж/кг}$                 | 513,8          | 538,8 | 574,6 | 610,3 | 645,7 | 681,3 |
|       |       | $c, \text{Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ | 3610           | 3680  | 3730  | 3610  | 3570  | 3580  |

Запропоновано декілька формул для визначення теплоємності яловичини залежно від визначальних факторів в  $\text{Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ :

$$\text{за } 0,39 < W < 1, c = 837 + 3350 \cdot W \quad (5.7)$$

$$\text{за } 0,26 < W < 1, c = 1675 + 2510 \cdot W \quad (5.8)$$

$$\text{за } 0,18 < W < 1, c = 1576 + 2580 \cdot W \quad (5.9)$$

$$\text{за } 273 < T < 320 \text{ К}, c = 200 + (997 + 1,74 \cdot T) \cdot (1 - W) + 4187 \cdot W \quad (5.10)$$



$$\text{за } 0 < t < 70 \text{ }^{\circ}\text{C}, c\rho = 3,15 + 0,061 \cdot t \text{ в Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}) \quad (5.11)$$

Теплопровідність яловичини в Вт/(м·К):

$$\text{за } 272 < T < 303 \text{ К} \quad \lambda = 0,36 + 0,0004 \cdot T \quad (5.12)$$

$$\text{за } 0 < t < 70 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \lambda = 0,47 + 0,00156 \cdot t \quad (5.13)$$

Теплопровідність яловичини в Вт/(м·К) різної категорії відгодівлі залежно від температури визначається за формулами:

$$\text{I сорт, } W = 0,727 \text{ і } \mathcal{J} = 0,045 \quad \lambda = -0,284 + 0,00227 \cdot T \quad (5.14)$$

$$\text{II сорт, } W = 0,764 \text{ і } \mathcal{J} = 0,032 \quad \lambda = -0,134 + 0,00182 \cdot T \quad (5.15)$$

$$\text{III сорт, } W = 0,766 \text{ і } \mathcal{J} = 0,090 \quad \lambda = 0,031 + 0,00135 \cdot T \quad (5.16)$$

Під час первинного охолодження яловичини її теплопровідність менша, ніж під час первинного нагрівання, а під час повторних нагрівань і охолоджень вона однакова (табл. 5.2.)

Таблиця 5.2

**Теплопровідність яловичини  
в Вт/(м·К) під час нагрівання і охолодження**

| Процес               | Температура, К |         |         |      |
|----------------------|----------------|---------|---------|------|
|                      | 303            | 339-342 | 354-360 | 393  |
| Первинне нагрівання  | 0,41           | 0,44    | 0,38    | 0,43 |
| Первинне охолодження | 0,38           | –       | –       | –    |
| Повторне нагрівання  | 0,37           | –       | –       | 0,42 |
| Повторне охолодження | 0,37           | –       | –       | 0,42 |

В процесі нагрівання яловичини масова частка вологи в ній зменшується і, внаслідок цього, зменшуються густина і теплопровідність.

Температуропровідність яловичини в м<sup>2</sup>/с.

за  $980 < \rho < 1070 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $0,635 < W < 0,744$ ;  $303 < T < 353 \text{ К}$

$$a \cdot 10^8 = -24,0 + 0,0957 \cdot T \quad (5.17)$$

$$a \cdot 10^8 = 35,6 - 40,88 \cdot W \quad (5.18)$$

$$a \cdot 10^8 = -13,0 - 10,07 \cdot W + 0,0832 \cdot T \quad (5.19)$$

$$a \cdot 10^8 = 56,9 - 0,0539 \rho = -9,58 \cdot W + 0,0377 \cdot T \quad (5.20)$$

$$0 < t < 70 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad a \cdot 10^8 = 0,256 - 55 (516 + t)^{-1} \quad (5.21)$$

$$272 < T < 303 \text{ К} \quad a \cdot 10^8 = 4,1 + 0,028 \cdot T \quad (5.22)$$

### Яловичина за температури $T < T_k$ .

Густина яловичини I категорії за  $T = 273 - 243$  К і  $W = 0,745$  дорівнює 1015, а II категорії за  $W = 785 - 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність яловичини в Дж/(кг·К):

$$c = 670 - 39316 / (T_v - 273) \quad (5.23)$$

Таблиця 5.3

**Ентальпія яловичини,  
коли  $W = 0,74$  і  $h = 0$  за  $T = 233$  в кДж/кг**

| Температура, К |      |      |      |      |      |       |       |
|----------------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 243            | 253  | 255  | 261  | 263  | 266  | 269   | 271   |
| 22,0           | 42,0 | –    | –    | 74,5 | –    | –     | –     |
| 19,2           | 41,5 | –    | –    | 72,4 | –    | –     | –     |
| 18,8           | 40,6 | 45,6 | 64,9 | 73,3 | 88,3 | 116,5 | 176,7 |

Теплоємність вареної яловичини в Дж/(кг·К):

за  $125 < T < 225$  К;  $W = 0,6174$  і  $Ж = 0,0813$

$$c = 806 - 0,83 \cdot T \quad (5.24)$$

Теплопровідність яловичини в Вт/(м·К):

$$\text{за } -20 \text{ }^\circ\text{C} < t < -2,5 \text{ }^\circ\text{C}; \quad \lambda = 0,969 - 0,01 \cdot t \quad (5.25)$$

$$\lambda = 1,5 + 1,08 / (T_v - 273) \quad (5.26)$$

за температур 263, 253 і 243 К температуропровідність яловичини відповідно дорівнює:  $32,4 \cdot 10^{-8}$ ;  $61,2 \cdot 10^{-8}$  і  $79,6 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с, а в інтервалах температур 251 – 265; 246 – 256 і 238 – 250 К –  $44,3 \cdot 10^{-8}$ ;  $60,7 \cdot 10^{-8}$  і  $103,5 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

### Яловичина, висушена конвективним способом.

Об'ємна маса висушеної яловичини, коли  $W = 0,056$ , становить 430 кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність в Дж/(кг·К) висушеної яловичини:

$$\text{за } 233 < T < 283 \text{ К і } W = 0,086 \quad c = -1036 + 9,58 \cdot T \quad (5.27)$$

$$\text{за } 233 < T < 283 \text{ К і } W = 0,174 \quad c = -275 + 8,37 \cdot T \quad (5.28)$$

Теплоємність знежиреної яловичини на інтервалі температури 263 – 293 К і масовій частці вологи 0,0202; 0,0380 і 0,0562 відповідно становить: 1344; 1394 і

1461, а на інтервалі 243–293 К – 1260; 1310 і 1348 Дж/(кг·К).

Теплопровідність порошку яловичини в Вт/(м·К):

за  $110 < \rho_n < 600$  кг/м<sup>3</sup>,  $W = 0,022$  і  $T = 284$  К

$$\lambda \cdot 10^4 = 234 + 0,860 \cdot \rho_n + 0,000286 \cdot \rho_n^2 \quad (5.29)$$

за  $0,016 < W < 0,070$ ,  $T = 283$  К і  $\rho_n = 385$  кг/м<sup>3</sup>

$$\lambda \cdot 10^4 = 568 + 1200 \cdot W \quad (5.30)$$

ТФХ висушеної яловичини наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4.

**ТФХ висушеної яловичини, коли  $W = 0,019 - 0,028$  і  $T = 283$  К**

| $S, \%$ | $\rho_n, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ | $cp, \text{кДж/(м}^3 \cdot \text{К)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$ | $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|---------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|
| 67      | 442                     | 1472                               | 651                                   | 0,068                                   | 10,4                                |
| 0       | 1340                    | 1472                               | 1972                                  | 0,165                                   | 8,4                                 |

S – пористість шару

Таблиця 5.5.

**Енергетична цінність яловичини та м'ясних відрубів**

| Назва сировини         | Ец, кДж/кг |
|------------------------|------------|
| Яловичина I категорії  | 78,2       |
| Яловичина II категорії | 60,2       |
| Відруб кульшовий       | 57,7       |
| спинний                | 65,7       |
| лопатковий             | 57,3       |
| поперековий            | 69,5       |
| грудинний              | 94,1       |
| шийний                 | 56,5       |
| пахвина                | 94,1       |

### 5.1.1. Випарна здатність м'яса

Для визначення випарної здатності яловичини під час охолодження запропоновано дві формули:

$$\varepsilon_g = (2,5 - 2,85 \cdot 10^{-4} \Delta t_n)^{-1} \quad (5.31)$$

$$\varepsilon_g = [1 + (\Delta t_n - \Delta t_k)^{0,4}]^{-1} \quad (5.32)$$

де  $\Delta t_n$  та  $\Delta t_k$  – початковий та кінцевий перепад температур між поверхнею

м'яса та повітрям.

## 5.2. Свинина

Густина свинини в  $\text{кг/м}^3$  збільшується зі збільшенням в ній масової частки вологи  $W$ , зменшенням масової частки жиру  $Ж$  і зниженням температури (табл.5.5).

Таблиця 5.6

### Формули для розрахунку густини свинини

| $T, K$    | $W$           | $\rho, \text{кг/м}^3$        |
|-----------|---------------|------------------------------|
| –         | 0,39 – 0,57   | $\rho = 89 + 110 \cdot W$    |
| –         | 0,015 – 0,358 | $\rho = 1094 - 216 \cdot Ж$  |
| –         | 0,143 – 0,175 | $\rho = 1102 - 198 \cdot Ж$  |
| –         | 0,249 – 0,617 | $\rho = 1110 - 200 \cdot Ж$  |
| 272 – 373 | 0,713*        | $\rho = 1226 - 0,56 \cdot T$ |
| 271 – 373 | 0,572**       | $\rho = 1273 - 0,60 \cdot T$ |

\* $Ж = 0,071$

\*\*Варена свинина  $Ж = 0,043$

Густина соленої свинини більше, ніж несоленої (через більшу густину розсолу –  $1121 \text{ кг/м}^3$ ). Густина вареної свинини більша, ніж сирової, тому що в процесі варки втрачається жир.

Густина вареної свинини, коли  $W = 0,572, Ж = 0,043$ ) і  $271 < T < 373 K$

$$\rho = 1273 - 0,6 \cdot T \quad (5.32)$$

Густина м'яса свинини в процесі розморожування збільшується:

$$\text{за } 271 < T < 273 K \quad \rho = 310 + 32,5 \cdot T \quad (5.33)$$

Таблиця 5.7

### Ентальпія в $\text{кДж/кг}$ свинини

| $W$   | $Ж$   | Температура, $K$ |             |             |             |             |             |             |             |             |
|-------|-------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|       |       | 200              | 223-<br>220 | 233-<br>230 | 243-<br>240 | 253-<br>250 | 263-<br>260 | 273-<br>270 | 293-<br>290 | 313-<br>310 |
| 0,402 | 0,478 | -                | 0           | 16,8        | 34,7        | 55,5        | 84,7        | 229,1       | 306,0       | 378,1       |
| 0,475 | 0,373 | 0                | 30,0        | 46,7        | 64,9        | 85,2        | 110,1       | 164,0       | 344,0       | 419,3       |
| 0,56  | 0,249 | -                | 0           | 17,2        | 35,3        | 56,1        | 85,8        | 267,5       | 341,4       | 415,3       |
| 0,609 | 0,215 | 0                | 31,4        | 48,8        | 67,3        | 88,9        | 115,0       | 175,7       | 386,6       | 460,2       |
| 0,70  | 0,08  | -                | -           | 0           | 19,2        | 40,6        | 70,8        | 281,4       | 351,3       | -           |
| 0,72  | -     | -                | -           | 0           | 15,7        | 38,5        | 67,4        | 283,9       | -           | -           |
| 0,725 | 0,025 | -                | 0           | 18,0        | 37,0        | 59,3        | 92,7        | 312,0       | 382,2       | 452,3       |
| -     | -     | -                | -           | -           | -           | 0           | 28,9        | 211,9       | 272,6       | -           |

Теплоємність в Дж/(кг·К) свинини:

$$\text{за } 0,35 < W < 0,61 \text{ і } T = 283 - 323 \text{ К} \quad c = 536 + 4211 \cdot W \quad (5.34)$$

$$\text{за } 0,61 < W < 0,77 \text{ і } T = 283 - 323 \text{ К} \quad c = 417 + 4406 \cdot W \quad (5.35)$$

Теплоємність сухої знежиреної свинини в Дж/(кг·К) становить:

$$\text{за } 77 < T < 320 \text{ К} \quad c = 814 + 1,22 \cdot T \quad (5.36)$$

Теплоємність свинини за  $T < T_k$  в Дж/(кг·К) описується формулами:

$$\text{за } 0,35 < W < 0,57 \quad c = 847 + 1444 \cdot W \quad (5.37)$$

$$\text{за } W = 0,520 \quad c = 544 - 29183 / (T_v - 273) \quad (5.38)$$

$$\text{за } W = 0,768 \quad c = 2805 - 11514 / (T_v - 273) \quad (5.39)$$

$$-20 < t < +2,5 \text{ }^\circ\text{C} \quad c_p = (0,04 \cdot t - 0,074)^{-1} \quad (5.40)$$

Теплоємність копченої свинини ( $W = 0,57$ ) за  $T > T_k$  і  $T < T_k$  відповідно становить 2512 і 1340 Дж/(кг·К).

Теплоємність консервованих свинячих тюфтельок ( $W = 0,622$  і  $Ж = 0,1521$ ) під час нагрівання від 258 до 389 К становить 4095 Дж/(кг·К), а копченої свинячої грудинки ( $W = 0,50$ ) – 2010 Дж/(кг·К).

Теплоємність соленої свинини ( $W = 0,20 - 0,70$  і  $T = 291 \text{ К}$ )

$$\text{за } 0,100 < Ж < 0,635 \quad c = 2034 - 538 \cdot Ж \quad (5.41)$$

Теплопровідність свинини в Вт/(м·К):

за  $272 < T < 373 \text{ К}$ ,  $W = 0,713$  і  $Ж = 0,071$ , сирі

$$\lambda = 0,3096 + 0,0007 \cdot T \quad (5.42)$$

за  $271 < T < 373 \text{ К}$ ,  $W = 0,572$  і  $Ж = 0,043$ , вареної

$$\lambda = 0,3489 + 0,0007 \cdot T \quad (5.43)$$

Теплопровідність свинини в Вт/(м·К), коли  $T < T_k$ :

$$\text{за } 248 < T < 268 \text{ К} \quad \lambda = 4,92 - 0,014 \cdot T \quad (5.44)$$

$$\text{за } -20 < t < -2,5 \text{ }^\circ\text{C} \quad \lambda = 0,856 - 0,004 \cdot t \quad (5.45)$$

Теплопровідність консервованої свинячої тюфтельки ( $W = 0,622$  і  $Ж = 0,152$ ) під час нагрівання від 258 до 389 К становить 0,403 Вт/(м·К).

Теплопровідність подрібненої свинини в Вт/(м·К) під час соління ( $W = 0,20 - 0,75$  і  $T = 291 \text{ К}$ ) в залежності від масової частки жиру  $Ж$

$$\text{за } 0,1 < Ж < 0,635 \quad \lambda = 0,45 - 0,5 \cdot Ж \quad (5.46)$$

Температуропровідність свинини, коли  $T > T_k$ , зменшується із збільшенням масової частки вологи і за  $W = 0,39; 0,45$  і  $0,57$  відповідно становить  $19,4 \cdot 10^{-8}$ ,  $18,5 \cdot 10^{-8}$  і  $17,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

З підвищенням температури ( $T > T_k$ ) і з її пониженням ( $T < T_k$ ) температуропровідність свинини збільшується ( $W = 0,75 - 0,79$ ).

Для жирної свинини за  $T = 273, 308$  і  $343 \text{ К}$  температуропровідність відповідно становить  $14,9 \cdot 10^{-8}$ ,  $15,6 \cdot 10^{-8}$  і  $16,2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ , а за  $T = 270$  і  $253 \text{ К}$  відповідно –  $15 \cdot 10^{-8}$  і  $70 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Температуропровідність свинини подрібненої на м'ясорубці (діаметр отворів 19 мм) під час посолу (масова частка солі =  $0,020 - 0,050$ ) становить в  $\text{м}^2/\text{с}$ :

$$\text{за } 0,10 < Ж < 0,635 \quad a \cdot 10^8 = 19,9 - 18 \cdot Ж \quad (5.47)$$

Таблиця 5.8

**Енергетична цінність свинини кДж/кг**

| Назва сировини     | Ец, кДж/кг |
|--------------------|------------|
| Свинина беконна    | 132,2      |
| Свинина жирна      | 204,6      |
| Свинина м'ясна     | 148,5      |
| Відруби            |            |
| окіст*             | 139,3      |
| корейка*           | 180,3      |
| шийно-лопатковий*  | 153,1      |
| Грудинка необрізна | 248,1      |

\* – залишено шпик 2 см

**5.3. Баранина**

Формули для розрахунку густини в ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) баранини:

$$0,143 < Ж < 0,475 \quad \rho = 1102 - 192 \cdot Ж \quad (5.48)$$

$$0,249 < Ж < 0,617 \quad \rho = 1100 - 200 \cdot Ж \quad (5.49)$$

Таблиця 5.9

**Ентальпія баранини середньої вгодованості, кДж/кг**

| T, К | 253 | 258   | 263   | 268   | 272   | 274   | 278   | 283   | 288   | 293   | 303   |
|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| h    | 0   | 12,56 | 29,73 | 55,69 | 179,6 | 227,4 | 239,9 | 255,4 | 271,3 | 286,8 | 318,7 |

Теплоємність баранини під час нагрівання від 273 до 373 К:

$$0,60 < W < 1 \quad c = 813 + 3374 \cdot W \quad (5.50)$$

Теплопровідність баранини за  $W = 0,72 - 0,74$  в Вт/(м·К):

$$283 < T < 373 \text{ К} \quad \lambda = 0,430 + 0,00016 \cdot T \quad (5.51)$$

Таблиця 5.10

#### Енергетична цінність баранини

| Назва сировини         | Ец, кДж/кг |
|------------------------|------------|
| Баранина I категорії   | 84,9       |
| Баранина II категорії  | 68,6       |
| Відруб:                |            |
| кульшово – поперековий | 83,3       |
| спинний                | 106,3      |
| лопатковий             | 69,0       |
| грудний                | 95,0       |
| пахвина                | 85,8       |
| шийний                 | 87,0       |

#### 5.4. Телятина і ягнятина

**Телятина.** Густина телятини становить від 980 до 1080 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 5.11

#### Ентальпія телятини в кДж/кг

| Вміст                   | Температура, К |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                         | 77             | 97    | 137   | 177   | 217   | 257   | 273   | 283   | 293   | 320   |
| W = 0,728;<br>Ж = 0,075 | 0              | 15,52 | 55,13 | 106,4 | 170,3 | 256,2 | 509,4 | 545,4 | 582,0 | 680,7 |
| W = 0,782;<br>Ж = 0,005 | 0              | 15,81 | 56,01 | 107,8 | 172,4 | 259,3 | 528,5 | 564,7 | 600,8 | 698,8 |

Теплоємність телятини в Дж/(кг·К):

$$\text{за } T = 273 \text{ К і } 0,26 < W < 1 \quad c = 1675 + 2510 \cdot W \quad (5.52)$$

Залежність теплоємності телятини від масової частки жиру за  $T > 273 \text{ К}$  в Дж/(кг·К):

$$\text{за } 0,03 < Ж < 0,30 \quad c = 3658 - 2510 \cdot Ж \quad (5.53)$$

Теплоємність телятини на інтервалі 273 – 373 К і  $W = 0,63$  становить 3220, відбивної котлети ( $W = 0,72$ ) – 3430 і жирної ( $W = 0,58$ ) – 3100 Дж/(кг·К).

Значення теплоємності телятини за  $T < T_k$  наведені в таблиці 5.12.

Таблиця 5.12

**Теплоємність телятини за  $T < T_k$  в Дж/(кг·К)**

|          |             |             |             |             |             |             |             |                  |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| <b>W</b> | <b>0,63</b> | <b>0,63</b> | <b>0,63</b> | <b>0,63</b> | <b>0,70</b> | <b>0,75</b> | <b>0,80</b> | <b>0,70-0,80</b> |
| <i>c</i> | 1600        | 1630        | 1675        | 1633        | 1758        | 1675        | 2135        | 1930             |

Теплопровідність телятини за  $T < T_k$  в Вт/(м·К):

$$\text{за } W = 0,75 \quad \lambda = 1,46 + 0,927 \cdot (T_V - 273) \quad (5.54)$$

Таблиця 5.13

**Теплофізичні характеристики телятини**

| Телятина | T, К | W     | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | <i>c</i> , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|----------|------|-------|----------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|
| Свіжа    | 299  | 0,808 | 1080                       | 3688                 | 0,545                | 13,8                               |
| Варена   | 291  | 0,504 | 948                        | 2461                 | 0,35                 | 15,0                               |
| Варена   | 273  | 0,504 | 1060                       | 3048                 | 0,42                 | 13,0                               |

**Ягнятина.** Зі збільшенням масової частки вологи в ягнятині її теплоємність і ентальпія зростають (таблиця 5.14).

Таблиця 5.14

**Теплоємність і ентальпія ягнятини за  $T = 313$  К**

| Характеристика       | Масова частка вологи |             |             |             |             |
|----------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                      | <b>0,40</b>          | <b>0,50</b> | <b>0,55</b> | <b>0,60</b> | <b>0,65</b> |
| <i>c</i> , Дж/(кг·К) | 1005                 | 1048        | 1130        | 1130        | 1130        |
| <i>i</i> , кДж/кг    | 181,5                | 198,4       | 217,4       | 237,5       | 256,4       |

Таблиця 5.15

**Теплопровідність ягнятини в Вт/(м·К)**

| Продукт | W     | Ж     | Температура, К |                |                |                |            |                |
|---------|-------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|----------------|
|         |       |       | <b>258</b>     | <b>261-262</b> | <b>265-266</b> | <b>268-269</b> | <b>278</b> | <b>334-335</b> |
| окіст   | 0,718 | 0,087 | 1,12           | 1,08           | 1,05           | 1,02           | 0,45       | 0,48           |
| ніжка   | 0,710 | 0,096 | 1,27           | 1,26           | 1,19           | 1,17           | 0,41       | 0,42           |



Таблиця 5.16

**Енергетична цінність телятини та ягнятини**

| Назва сировини       | Ец,<br>кДж/кг |
|----------------------|---------------|
| Телятина I категорії | 37,7          |
| Ягнятина             | 80,3          |
| Відруб телятини:     |               |
| кульшовий            | 36,8          |
| поперековий          | 37,7          |
| спинний              | 37,7          |
| лопатковий           | 36,8          |
| грудний, пахвина     | 37,2          |

**5.5. Ковбасні вироби**

**Безструктурні ковбаси.** Густина фаршу докторської ковбаси в залежності від визначальних факторів в кг/м<sup>3</sup>:

за  $10 < p < 1600$  кПа,  $1,857 < W < 2,074$  і  $0,15 < Ж < 0,22$

$$\rho = 1037 - 290 \cdot Ж + 10,5 \cdot W + 221gp \quad (5.55)$$

Таблиця 5.17

**Теплоємність в Дж/(кг·К) і теплопровідність в Вт/(м·К) фаршу безструктурних ковбас в процесі нагрівання**

| Сирий фарш ковбаси | W/Ж    | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | ТФХ       | Температура, К |       |       |       |       |       |
|--------------------|--------|----------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                    |        |                            |           | 293            | 298   | 303   | 308   | 313   | 318   |
| Столова            | 0,6728 | 1025                       | $c$       | 3433           | 3768  | 5150  | 4438  | 4103  | 3433  |
|                    | 0,1587 |                            | $\lambda$ | 0,409          | 0,451 | 0,615 | 0,599 | 0,490 | 0,409 |
| Докторська         | -      | 1020                       | $c$       | 3685           | 4731  | 5443  | 4564  | 4354  | 3643  |
|                    | -      |                            | $\lambda$ | 0,465          | 0,593 | 0,681 | 0,572 | 0,547 | 0,456 |
| Діабетична         | 0,6584 | 1019                       | $c$       | 3643           | 4187  | 4647  | 4103  | 3978  | 3978  |
|                    | 0,1805 |                            | $\lambda$ | 0,449          | 0,515 | 0,571 | 0,505 | 0,488 | 0,488 |

Таблиця 5.18

**ТФХ безструктурних ковбас в процесі охолодження**

| Ковбаса    | T, К | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|------------|------|----------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| Столова    | 313  | 997                        | 3224            | 0,369                | 11,5                               |
|            | 343  | 991                        | 3391            | 0,392                | 11,7                               |
| Докторська | 313  | 998                        | 3433            | 0,380                | 11,3                               |
|            | 343  | 994                        | 3601            | 0,398                | 11,2                               |

**Структурні ковбаси.** Теплофізичні характеристики сирого фаршу структурних ковбас наведені в таблиці 5.19.

Таблиця 5.19

**Теплоємність в Дж/(кг·К) і теплопровідність в Вт/(м·К) фаршу структурних ковбас в процесі нагрівання**

| Ковбаса             | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | ТФХ       | Температура, К |       |       |       |       |       |
|---------------------|----------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                     |                            |           | 293            | 298   | 303   | 308   | 313   | 318   |
| Любительська варена | 1012                       | $c$       | 3200           | 4490  | 3850  | 3850  | 3850  | 3850  |
|                     |                            | $\lambda$ | 0,386          | 0,539 | 0,463 | 0,463 | 0,463 | 0,463 |
| Окрема              | 1013                       | $c$       | 3200           | 4190  | 4480  | 3820  | 3820  | 3820  |
|                     |                            | $\lambda$ | 0,386          | 0,504 | 0,540 | 0,458 | 0,458 | 0,424 |
| Чайна               | 1017                       | $c$       | 2980           | 3900  | 4570  | 3900  | 3770  | 3560  |
|                     |                            | $\lambda$ | 0,360          | 0,472 | 0,553 | 0,472 | 0,456 | 0,431 |
| Московська          | 1010                       | $c$       | 3220           | 4850  | 4230  | 3990  | 3990  | 3990  |
|                     |                            | $\lambda$ | 0,378          | 0,570 | 0,496 | 0,458 | 0,458 | 0,458 |

**Ліверна ковбаса.**

Таблиця 5.20

**Теплоємність в Дж/(кг·К) фаршу ліверної ковбаси в процесі нагрівання**

| Сорт ковбаси   | Температура, К |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                | 283            | 293  | 303  | 313  | 323  | 333  | 343  | 368  |
| Вищий          | –              | 3454 | 3726 | 3664 | 3077 | 3061 | –    | –    |
| I (Ж = 0,33)   | 3097           | –    | 4229 | 3768 | –    | 3224 | 3421 | 2826 |
| III (Ж = 0,10) | 3140           | –    | 3643 | 3140 | –    | 3483 | 3057 | 2680 |

**Сирокопчені ковбаси.** Експериментально досліджені ТФХ трьох видів сирокопчених ковбас з  $W = 0,285$ : «Майкопська» ( $Ж = 0,485$ ), «Московська» ( $Ж = 0,404$ ), «Зерниста» ( $Ж = 0,517$ ).

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К), теплопровідність в Вт/(м·К) і температуропровідність в м<sup>2</sup>/с зазначених видів ковбас з  $0,28 < W < 0,51$  і  $T = 278 - 303$  К становлять:

$$c_p = 1750 + 135 \cdot (T - 273) - 23000 \cdot (T - 273)^2 - 29 \cdot W - W \cdot (T - 273) \quad (5.56)$$

$$\lambda = 0,22 + 0,38 \cdot W \quad (5.57)$$

$$a \cdot 10^8 = 10,89 - 0,321 \cdot (T - 273) + 0,0056 (T - 273)^2 +$$

$$+ 2,8 \cdot W + 0,232 \cdot W \cdot (T - 273) \quad (5.58)$$

**Сардельки.** ТФХ сирого фаршу сардельок І сорту наведені в таблиці 5.21.

Таблиця 5.21

**ТФХ фаршу сардельок І сорту в процесі нагрівання**  
з  $W = 0,678 \%$ ,  $Ж = 0,189 \%$  і  $\rho = 1030 \text{ кг/м}^3$

| ТФХ                                      | Температура, К |      |      |      |      |      |         |         |
|--|----------------|------|------|------|------|------|---------|---------|
|  | 293            | 298  | 303  | 308  | 313  | 318  | 298-323 | 323-343 |
| $c, \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$      | 3391           | 4061 | 4731 | 4396 | 3852 | 3726 | –       | 3726    |
| $\lambda, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ | 0,46           | 0,55 | 0,64 | 0,60 | 0,51 | 0,51 | –       | 0,55    |
| $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$     | –              | –    | –    | –    | –    | –    | 13,2    | 14,2    |

Температуропровідність фаршу яловичих сардельок наведені в таблиці 5.22.

Таблиця 5.22

**Температуропровідність ( $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ )**  
**сирого фаршу яловичих сардельок**

| Т, К в центрі | W     |       |       |       |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
|               | 2,50  | 3,20  | 4,08  | 4,78  |
| 298 – 313     | 10,00 | 10,15 | 10,65 | 11,80 |
| 313 – 323     | 12,70 | 12,85 | 13,45 | 14,50 |
| 323 – 343     | 14,45 | 14,65 | 15,60 | 16,00 |

**Сосиски.** *Сосиски вершкові.* Температуропровідність вершкових сосисок до і після плавлення жиру відповідно становить:

$$8,9 \cdot 10^{-8} - 9,2 \cdot 10^{-8} \text{ і } 15,55 \cdot 10^{-8} - 16,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$$

*Сосиски яловичі.* В процесі нагрівання яловичих сосисок у воді з підвищенням температури води температуропровідність сосисок в  $\text{м}^2/\text{с}$  становить:

$$\text{за } 298 < T < 333 \text{ К} \quad a \cdot 10^8 = -72,8 + 0,27 \cdot T \quad (5.59)$$

*Сосиски молочні.* ТФХ фаршу молочних сосисок наведені в таблиці 5.23.

Таблиця 5.23

**ТФХ фаршу молочних сосисок в процесі нагрівання**

| W      | Ж      | $\rho, \text{ кг/м}^3$ | ТФХ                                      | Температура, К |       |       |       |       |       |
|--------|--------|------------------------|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        |        |                        |  | 293            | 298   | 303   | 308   | 313   | 318   |
| 0,7055 | 0,1542 | 1030                   | $c, \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$      | 3640           | 3820  | 4060  | 4400  | 3880  | 3820  |
|        |        |                        | $\lambda, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ | 0,430          | 0,445 | 0,475 | 0,513 | 0,452 | 0,445 |

На інтервалі температури 323 – 343 К і  $\rho = 1030 \text{ кг/м}^3$  теплоємність і теплопровідність фаршу молочних сосисок під час нагрівання становлять:  $c = 3820 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda = 0,484 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

ТФХ молочних сосисок під час охолодження наведені в таблиці 5.24

Таблиця 5.24

**ТФХ фаршу молочних сосисок в процесі охолодження**

| Т, К | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|------|----------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| 313  | 1012                       | 3643            | 1,012                | 13,3                               |
| 343  | 941                        | 3810            | 1,058                | 14,6                               |

*Сосиски без оболонки.* ТФХ фаршу сосисок, що складаються з 0,50 зрілого яловичого м'яса І сорту, 0,20 свинини нежирної, 0,30 свинячого шпику і 0,35 води (до маси сировини) в процесі первинного і повторного нагрівання наведені в таблиці 5.25.

Таблиця 5.25

**Теплофізичні характеристики сирого фаршу сосисок без оболонки в процесі нагрівання**

| ТФХ                                | Температура, К |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | 293            | 303   | 313   | 323   | 333   | 343   | 353   |
| Первинне нагрівання                |                |       |       |       |       |       |       |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>         | 1023           | 1017  | 1010  | 1003  | 996,2 | 989,4 | 982,6 |
| $c$ , Дж/(кг·К)                    | 3041           | 3080  | 3041  | 2924  | 272,9 | 2456  | 2105  |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,330          | 0,345 | 0,355 | 0,365 | 0,375 | 0,385 | 0,394 |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 10,8           | 11,0  | 11,6  | 12,4  | 13,8  | 15,8  | 19,0  |
| Повторне нагрівання                |                |       |       |       |       |       |       |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>         | 1021           | 1042  | 1041  | 1023  | 996   | 970   | 955   |
| $c$ , Дж/(кг·К)                    | 2997           | 3000  | 2957  | 2967  | 2731  | 2548  | 2319  |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,320          | 0,325 | 0,330 | 0,335 | 0,340 | 0,345 | 0,350 |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 10,46          | 10,40 | 10,72 | 11,42 | 12,50 | 13,96 | 15,80 |

ТФХ сосисок без оболонки (склад сосисок: 0,50 яловичини І сорту і 0,50 м'яса свинини жирної) в процесі охолодження представлені в таблиці 5.26.

Таблиця 5.26

**Теплофізичні характеристики сирого фаршу сосисок без оболонки  
в процесі охолодження**

| ТФХ                                | Температура, К |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | 343            | 333   | 323   | 313   | 303   | 293   | 283   | 273   |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>         | 1000           | 1021  | 1033  | 1041  | 1049  | 1057  | 1067  | 1074  |
| $c$ , Дж/(кг·К)                    | 2478           | 2371  | 2391  | 2459  | 2442  | 2670  | 2563  | 2460  |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,313          | 0,298 | 0,283 | 0,267 | 0,240 | 0,228 | 0,207 | 0,190 |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 12,63          | 12,63 | 11,46 | 10,43 | 9,37  | 8,08  | 7,57  | 7,19  |

Таблиця 5.27

**Енергетична цінність ковбасних виробів**

| Продукт                 | Ец, кДж/кг | Продукт                     | Ец, кДж/кг |
|-------------------------|------------|-----------------------------|------------|
| <u>Варені ковбаси</u>   |            | <u>Варено-копчені</u>       |            |
| Діабетична              | 106,3      | Любительська                | 175,7      |
| Дієтична                | 71,1       | Сервелат                    | 150,6      |
| Докторська              | 108,8      | <u>Напівкопчені ковбаси</u> |            |
| Любительська            | 125,9      | Армавірська                 | 177,0      |
| Любительська із свинини | 130,5      | Краківська                  | 195,0      |
| Молочна                 | 105,4      | Мінська                     | 108,4      |
| Окрема                  | 95,4       | Мисливські ковбаски         | 193,7      |
| Із свинини I сорту      | 114,6      | Полтавська                  | 174,5      |
| Столова                 | 97,5       | Таллінська                  | 155,6      |
| Теляча                  | 132,2      | Українська                  | 157,3      |
| Чайна                   | 90,4       | <u>Сирокопчені ковбаси</u>  |            |
| Сардельки I сорту       | 82,8       | Брауншвейтська              | 205,9      |
| Сардельки із свинини    | 138,9      | Любительська                | 215,1      |
| Сосиски молочні         | 115,9      | Столична                    | 203,8      |
| Сосиски із свинини      | 135,6      |                             |            |

## 5.6. Кістки

Значення щільності і об'ємної маси кісток наведені в таблицях 5.28 і 5.29.

Таблиця 5.28

### Фізична щільність кісток

| Кістки       | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | Кістки                      | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Щільна маса  |                                   | Свіжа із сполучною тканиною | 1400-1750                         |
| неочищена    | 1300-1590                         | Знежирена суха              | 1700-1900                         |
| очищена      | 1900-2000                         | Хребти свиней               | 1215                              |
| Ребра свиней | 1378                              | Хребти ВРХ                  | 1156                              |
| Ребра ВРХ    | 1314                              |                             |                                   |

Таблиця 5.29

### Об'ємна маса кістки

| Кістки             | $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | Кістки           | $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> |
|--------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|
| Ковбасна свіжа     |                              | Столова виварена |                              |
| подрібнена         | 650-750                      | подрібнена       | 600-700                      |
| не подрібнена      | 500-600                      | не подрібнена    | 450-500                      |
| Трубчаста виварена |                              | Рядова           |                              |
| подрібнена         | 900-950                      | подрібнена       | 600-700                      |
| не подрібнена      | 800-825                      | не подрібнена    | 163-175                      |

Для визначення щільності кісток і їх елементів наведено формули в таблиці 5.30.

Таблиця 5.30

| Назва сировини          | W    | Ж     | T, К      | $\rho = f(T)$ , кг/м <sup>3</sup>    | П*, %    |
|-------------------------|------|-------|-----------|--------------------------------------|----------|
| Моноліт попелу кістки   | 0    | 0     | 293 – 393 | $\rho_n = 2741 - 0,073 \cdot T$      | 0        |
| Моноліт яловичої кістки | 0,18 | 0,223 | 283 – 363 | $\rho_n = 1775 - 1,226 \cdot T$      | 0        |
| Натуральна кістка       | 0,18 | 0,223 | 293 – 348 | $\rho_{\phi} = 1942 - 1,851 \cdot T$ | -13,65 + |
| Натуральна кістка       | 0    | 0     | –         | $\rho_{\phi} = 1815 - 1,6 \cdot T$   | 0,05 · T |
| Шрот                    | 0    | 0     | –         | $\rho_{\phi} = 1780 - 18 \cdot T$    | 5 – 75   |
|                         |      |       |           |                                      | 5 – 75   |

### Формули для визначення щільності кістки і її елементів

\*П – пористість кістки

Теплоємність щільної тканини – 1256, губчастої тканини – 2973, рядової середньої – 2889, сухої знежиреної – 1298 Дж/(кг·К).

Теплоємність сухої речовини яловичої кістки:

за  $T = 293 \text{ K}$  для не знежиреної кістки

$$c_{cp} = 1286 + 2900 \cdot W \quad (5.60)$$

за  $T = 293 \text{ K}$  для знежиреної кістки

$$c_{cp} = 1040 + 3150 \cdot W \quad (5.61)$$

Теплопровідність моноліту яловичої кістки, коли  $\rho_n = 1837 \text{ кг/м}^3$ , визначається формулою в  $\text{Вт/(м К)}$ :

$$\text{за } 253 < T < 333 \text{ K} \quad \lambda = 0,83 - 0,00062 \cdot T \quad (5.62)$$

Таблиця 5.31

**Теплофізичні характеристики яловичої кістки, коли  $\rho = 1581 \text{ кг/м}^3$**

| $T, \text{ K}$ | $c, \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ | $\lambda, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ | $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ | $T, \text{ K}$ | $c, \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ | $\lambda, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ | $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ |
|----------------|-------------------------------------|--|--------------------------------------|----------------|-------------------------------------|--|--------------------------------------|
| 293            | 1864                                | 0,148                                    | 5,02                                 | 323            | 1996                                | 0,164                                    | 5,22                                 |
| 298            | 1876                                | 0,150                                    | 5,05                                 | 328            | 2012                                | 0,167                                    | 5,25                                 |
| 303            | 1894                                | 0,153                                    | 5,11                                 | 333            | 2034                                | 0,169                                    | 5,28                                 |
| 308            | 1911                                | 0,155                                    | 5,13                                 | 338            | 2060                                | 0,172                                    | 5,28                                 |
| 313            | 1946                                | 0,158                                    | 5,16                                 | 343            | 2090                                | 0,175                                    | 5,30                                 |
| 318            | 1962                                | 0,161                                    | 5,19                                 |                |                                     |  |                                      |

Таблиця 5.32

**Формули для обчислення теплопровідності яловичої кістки в  $\text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$**

| W     | Ж     | T, K    | $\rho, \text{ кг/м}^3$         | П, % | Формула                               |
|-------|-------|---------|--------------------------------|------|---------------------------------------|
| 0,061 | 0,185 | 253–333 | 1038                           | 24,0 | $\lambda = 0,183 - 0,000099 \cdot T$  |
| 0,097 | 0,031 | –       | 1038                           | –    | $\lambda = -0,30 + 0,0022 \cdot T$    |
| –     | –     | 298–343 | за $T = 273 \text{ K}$<br>1581 | –    | $\lambda = -0,012 + 0,000545 \cdot T$ |

## 5.7. Кров

Значення густини крові різних видів тварин розрізняються, але незначно. Так, у свиней, великої і малої рогатої худоби вона становить відповідно 1049–1055; 1050–1060 і 1055–1060  $\text{кг/м}^3$ . Густина сировотки крові ВРХ становить 1028–1030, а фібрину 700–800  $\text{кг/м}^3$ .

Узагальнююча формула для визначення густини в  $\text{кг/м}^3$

за  $283 < T < 313 \text{ K}$  і  $0 < n < 0,21$

$$\rho = (992 + 300n) / [1 + 22,15 \cdot 10^{-5} \cdot (T - 313)] \quad (5.63)$$

де:  $22,15 \cdot 10^{-5}$  – середнє значення коефіцієнта об'ємного теплового розширення крові і плазми в інтервалі температур 283-313 К в 1/К.

Таблиця 5.33

**Формули для визначення густини плазми і крові в  $\text{кг}/\text{м}^3$**

| Матеріали | $n$       | $T, \text{ K}$ | Формули                       |
|-----------|-----------|----------------|-------------------------------|
| Плазма    | 0,074     | 283–313        | $\rho = 1079 - 0,20 \cdot T$  |
| Те саме   | 0,116     | 283–313        | $\rho = 1108 - 0,25 \cdot T$  |
| –         | 0,162     | 283–313        | $\rho = 1114 - 0,255 \cdot T$ |
| –         | 0,194     | 283–313        | $\rho = 1132 - 0,25 \cdot T$  |
| Кров      | 0,15–0,21 | 293            | $\rho = 1000 + 283 \cdot T$   |
| Те саме   |           | 313            | $\rho = 992 + 300 \cdot T$    |

Коливання густини сировотки крові великої рогатої худоби залежно від відгодівлі становить: тварин вище середньої відгодівлі 1030,3; середньої – 1028,8 і нижче середньої – 1028,3  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Теплоємність дефібринованої крові становить 3890 Дж/(кг·К), а теплоємність фібрину віджатою і не віджатою відповідно 3500 і 3684 Дж/(кг·К).

Таблиця 5.34

**Теплоємність плазми і крові в Дж/(кг·К)**

| Матеріал | $n$  | Температура, К |      |      |      | Формули                    |
|----------|------|----------------|------|------|------|----------------------------|
|          |      | 283            | 293  | 303  | 313  |                            |
| Плазма   | 0,11 | 3955           | 3947 | 3937 | 3926 | $c = 4228 - 0,967 \cdot T$ |
| Кров     | 0,20 | 3712           | 3706 | 3699 | 3693 | $c = 3891 - 0,633 \cdot T$ |

Теплоємність фібрину, отриманого під час дефібринування, становить 3684 Дж/(кг·К).

Теплоємність плазми і крові, так само як і води, з підвищенням температури незначно зменшується.

Об'ємна теплоємність в  $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{K})$  крові і плазми, так само як і води, з підвищенням температури зменшується:

плазми за  $n = 0,10 - 0,11$  і  $273 < T < 353 \text{ K}$



$$c\rho = 4120 - 1,9 \cdot (T - 273) \quad (5.64)$$

крові за  $n = 0,19 - 0,21$  і  $273 < T < 353$  К

$$c\rho = 3960 - 1,78 \cdot (T - 273) \quad (5.65)$$

Експериментальні дані свідчать, що **теплопровідність** в Вт/(м·К) крові і плазми з підвищенням температури збільшується:

кров яловичини за  $283 < T < 343$  К і  $n = 0,19 - 0,21$

$$\lambda = 0,00052 + 0,00176 \cdot T \quad (5.66)$$

плазма за  $283 < T < 343$  К і  $n = 0,10 - 0,11$

$$\lambda = 0,0457 + 0,00173 \cdot T \quad (5.67)$$

Температуропровідності крові, коли  $n = 0,20$ , і плазми, коли  $n = 0,11$ , відповідно становлять в м<sup>2</sup>/с:

$$\text{за } 283 < T < 343 \text{ К} \quad a \cdot 10^8 = 1,56 + 0,0386 \cdot T \quad (5.67)$$

$$\text{за } 283 < T < 343 \text{ К} \quad a \cdot 10^8 = 3,24 + 0,0343 \cdot T \quad (5.68)$$

Таблиця 5.35

### Теплофізичні характеристики деяких колоїдних матеріалів

| Матеріал                        | W     | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | c,<br>Дж/(кг·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|---------------------------------|-------|-------------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Кров                            | 0,808 | 1212                          | 3015            | 0,57                    | 15,6                                  |
| Кров'яний альбумін<br>в порошок | 0,031 | 434                           | 1382            | 0,50                    | 83,3                                  |
| теж саме                        | 0,131 | 476                           | 1591            | 0,52                    | 68,6                                  |
| теж саме                        | 0,299 | 510                           | 1758            | 0,56                    | 62,5                                  |
| ущільнений                      | 0,115 | 551                           | 2512            | 0,465                   | 33,6                                  |
| Сухий панкреатил                | 0,073 | 210                           | 2721            | 0,51                    | 33,6                                  |
| Дефібрильована кров             | -     | 1014                          | 3800            | 0,478                   | 12,4                                  |

Енергетична цінність сухої крові становить 140,2 кДж/кг.

### 5.8. Бульйони м'ясні, м'ясо-кісткові і кісткові

Густина в кг/м<sup>3</sup> м'ясного бульйону становить:

за  $313 < T < 363$  К і  $0 < n < 0,20$

$$\rho = 992 + 300 \cdot n / (0,8247 + 0,00056 \cdot T) \quad (5.69)$$

Густина в кг/м<sup>3</sup> концентрованого м'ясо-кісткового бульйону становить:

за  $277 < T < 353$  К і  $0,0185 < n < 0,0215$

$$\rho = (1000 + 1046 \cdot n) / (0,8695 + 0,0004712 \cdot T) \quad (5.70)$$

Таблиця 5.36

Густина бульйонів за  $T = 313 \text{ K}$  в  $\text{кг/м}^3$ 

| Бульйони        | Масова частка сухої речовини, $n \cdot 10^2$ |       |        |        |        |        |        |
|-----------------|--|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | 0,20   | 0,30  | 0,35   | 0,50   | 0,65   | 3,80   | 7,10   |
| М'ясний         | 992,6  | 992,9 | 993,0  | 993,5  | 993,9  | 1001,9 | 1013,3 |
| М'ясо-кістковий | 985,4  | 986,4 | 986,9  | 988,4  | 990,0  | –      | –      |
| Кістковий       | 995,8  | 998,4 | 1001,8 | 1006,1 | 1009,0 | 1013,8 | 1018,3 |

Середнє значення теплоємності м'ясного бульйону в інтервалі температур 273-373 К становить 3098 Дж/(кг·К).

З підвищенням температури і зменшенням вмісту сухої речовини в бульйоні його теплоємність збільшується (таблиця 5.37).

Таблиця 5.37

## Теплоємність кісткового бульйону в Дж/(кг·К)

| T, К | Масова частка сухої речовини, $n \cdot 10^2$ |      |      |      |      |      |      |
|------|--|------|------|------|------|------|------|
|      | 0,20   | 0,30 | 0,35 | 0,50 | 0,65 | 3,30 | 7,10 |
| 295  | 4063   | 4031 | 3970 | 3921 | 3873 | –    | –    |
| 310  | 4109   | 4046 | 3978 | 3929 | 3901 | 3862 | –    |
| 324  | 4128   | 4090 | 4013 | 3963 | 3954 | 3893 | 3890 |
| 338  | 4138   | 4097 | 4065 | 4005 | 3980 | 3940 | 3907 |
| 353  | 4162   | 4119 | 4087 | 4032 | 3991 | 3972 | 3960 |
| 368  | 4187   | 4147 | 4102 | 4046 | 4030 | 3981 | 3992 |

В процесі варки бульйону, його теплопровідність збільшується (табл. 5.38)

Таблиця 5.38

## Зміна теплопровідності кісткового бульйону в процесі варіння

| $\tau$ , год         | 0    | 1    | 2     | 3    | 4    | 5    |
|----------------------|------|------|-------|------|------|------|
| $\lambda$ , Вт/(м·К) | 0,57 | 0,60 | 0,625 | 0,64 | 0,66 | 0,67 |

Із збільшенням масової частки сухої речовини в бульйоні його  $c$ ,  $\lambda$ , і  $a$  зменшується (таблиця 5.39).

Таблиця 5.39

Теплофізичні характеристики м'ясо-кісткового бульйону за  $T = 303 \text{ K}$ 

| $n$   | $\rho$ , $\text{кг/м}^3$ | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , $\text{м}^2/\text{с}$ |
|-------|--------------------------|-----------------|----------------------|--|
| 0,019 | 1007                     | 4000            | 0,556                | 13,3                                   |
| 0,214 | 1010                     | 3760            | 0,509                | 13,4                                   |

## РОЗДІЛ 6. РИБА ТА ПРОДУКТИ З РИБИ

### 6.1. Тріска

Таблиця 6.1

**Густина м'язової тканини тріски**

|  |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b><i>T</i>, К</b>                         | <b>253</b> | <b>258</b> | <b>260</b> | <b>263</b> | <b>266</b> | <b>268</b> | <b>269</b> | <b>270</b> | <b>271</b> | <b>272</b> | <b>273</b> | <b>278</b> |
| <b><math>\rho</math>, кг/м<sup>3</sup></b> | 980        | 981        | 981        | 982        | 983        | 988        | 991        | 998        | 1016       | 1046       | 1043       | 1027       |

Дійсна густина в кг/м<sup>3</sup> м'язової тканини тріски:

при  $0 < W < 1$  та  $T = 293$  К

$$\rho = 1305 - 307 \cdot W. \quad (6.1)$$

Таблиця 6.2

**Густина в кг/м<sup>3</sup> блоків тріски (800 – 250 мм)  
під тиском 4,9 кПа**

| <b>Блок тріски</b> | <b><i>W</i></b> | <b><math>\rho</math></b> |
|--------------------|-----------------|--------------------------|
| Дрібна розібрана   | 0,780 – 0,810   | 962 – 967                |
| Велика розібрана   | 0,787 – 0,810   | 860 – 900                |
| Фарш               | 0,780 – 0,810   | 945 – 955                |

Значення густини тріски в блоці приведені в таблиці 6.2. При підвищенні температури від 293 до 313 К густина фаршу тріски незначно зменшується, а при великій температурі – значно (табл. 6.3).

Коефіцієнт об'ємного теплового розширення м'язової тканини тріски в інтервалах температур 283 – 323 та 323 – 348 К відповідно дорівнює  $0,30 \cdot 10^{-3}$  та  $4,70 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ , а фаршу в тих же температурних інтервалах –  $0,20 \cdot 10^{-3}$  та  $2,80 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ .

Таблиця 6.3

**Густина фаршу тріски**

|  |            |            |            |            |            |            |            |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b><i>T</i>, К</b>                         | <b>293</b> | <b>303</b> | <b>313</b> | <b>323</b> | <b>333</b> | <b>343</b> | <b>353</b> |
| <b><math>\rho</math>, кг/м<sup>3</sup></b> | 1104       | 1105       | 1103       | 1100       | 1094       | 1082       | 1060       |

Значення теплоємності в Дж/(кг·К) сухих речовин тріски можна визначити за формулами:

$$\text{при } 268 < T < 278 \text{ К} \quad c_{cp} = -716 + 6,70 \cdot T; \quad (6.2)$$

$$\text{при } 283 < T < 303 \text{ К} \quad c_{cp} = -569 + 6,30 \cdot T; \quad (6.3)$$

$$\text{при } 233 < T < 283 \text{ К} \quad c_{cp} = 221 + 3,52 \cdot T. \quad (6.4)$$

Для практичного використання в інтервалі температур 233–303 К рекомендується формула (6.3).

Таблиця 6.4

**Теплоємність м'язової тканини тріски ( $W = 0,803$ )**

| <b><math>T, \text{ К}</math></b>                             | <b>273</b> | <b>277</b> | <b>281</b> | <b>285</b> | <b>289</b> | <b>293</b> |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b><math>c, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})</math></b> | 4145       | 3643       | 3643       | 3685       | 3685       | 3685       |

Таблиця 6.5

**Теплоємність в Дж/(кг·К) тріски при різній частці вологи**

| <b><math>T, \text{ К}</math></b> | <b><math>W</math></b> |               |               |               |
|----------------------------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                  | <b>0,0214</b>         | <b>0,0451</b> | <b>0,0702</b> | <b>0,0928</b> |
| 263 – 293                        | 1189                  | 1260          | 1386          | 1516          |
| 243 – 293                        | 1135                  | 1181          | 1269          | 1373          |

Таблиця 6.6

**Теплоємність в Дж/(кг·К) тріски при різній температурі ( $W = 0,803$ )**

| <b><math>T, \text{ К}</math></b> | <b>270</b> | <b>268</b> | <b>265</b> | <b>263</b> | <b>260</b> | <b>258</b> | <b>255</b> | <b>253</b> | <b>251</b> | <b>248</b> | <b>243</b> |
|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b><math>c</math></b>            | 2512       | 2345       | 2261       | 2219       | 2219       | 2177       | 2177       | 2177       | 2135       | 2135       | 2135       |

при  $0,61 < W < 0,81$  та  $T > T_k$

$$c = 1671 + 2550 \cdot W. \quad (6.5)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) тріски при  $T < T_k$  можна визначити за формулою:

$$c = 750 - 37220 / (T_v - 273). \quad (6.6)$$

Теплопровідність в Дж/(кг·К) м'язової тканини тріски в залежності від масової частки вологи визначається формулами:

при  $0,63 < W < 0,81$  та  $T = 293 \text{ К}$

$$\lambda = -0,050 + 0,77 \cdot W \quad (6.7)$$

при  $0,61 < W < 0,81$  та  $T = 273 - 363 \text{ К}$

$$\lambda = 0,298 + 0,29 \cdot W \quad (6.8)$$

при  $0,63 < W < 0,85$  та  $T = 293 \text{ К}$

$$\lambda = 0,086 + 0,58 \cdot W. \quad (6.9)$$

Значення теплопровідності м'язової тканини тріски, що вираховуються за формулами (6.7 – 6.9), при  $W = 0,61 – 0,81$  відрізняються до 12 %.

З підвищенням температури ( $T > T_k$ ) м'язової тканини тріски її теплопровідність в Вт/(м·К) збільшується:

при  $278 < T < 303$  К,  $W = 0,803$  та  $\rho = 930$  кг/м<sup>3</sup>

$$\lambda = -0,479 + 0,003 \cdot T. \quad (6.10)$$

Теплопровідність м'язової тканини та філе тріски при  $T > T_k$  збільшується при зниженні температура (табл. 6.7).

Таблиця 6.7

**Теплопровідність в Вт/(м·К) тріски**

| Зразок                          | T, К  |       |      |      |      |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|
|                                 | 243   | 248   | 253  | 258  | 263  | 268   | 273   |
| М'язова тканина ( $W = 0,83$ )  | –     | 1,695 | 1,51 | 1,44 | 1,38 | 1,38  | 0,54  |
| Те ж саме                       | 1,838 | –     | 1,83 | –    | 1,65 | 1,436 | 0,553 |
| Блок                            |       |       |      |      |      |       |       |
| - з фаршу ( $W = 0,79$ )        | –     | –     | 0,93 | 0,85 | 0,78 | 0,74  | 0,32  |
| - з дрібної риби ( $W = 0,79$ ) | –     | –     | 0,63 | 0,64 | 0,63 | 0,58  | 0,45  |

ТФХ фаршу з тріски в залежності від швидкості руху повітря  $v_n$  та температури наведені в табл.6.8.

Для визначення температуропровідності в м<sup>2</sup>/с тріски можна використати наступну формулу:

при  $275 < T < 338$  К та  $W = 0,80$

$$a \cdot 10^8 = 1,05 + 0,039 \cdot T. \quad (6.11)$$

Значення температуропровідності блоків тріски приведені в табл.6.9.

Упорядковані значення ТФХ тріски приведені в табл. 6.10.

Таблиця 6.8

**ТФХ фаршу з тріски,  
коли  $W = 0,809$ ,  $Z = 0,0079$  та  $\rho = 995$  кг/м<sup>3</sup>**

| ТФХ                                | T, К ( $v_n = 3,36$ м <sup>2</sup> /с) |      |      | $v_n$ , м <sup>2</sup> /с ( $T = 387$ К) |      |      |
|------------------------------------|--|------|------|--|------|------|
|                                    | 353                                    | 387  | 401  | 1,33                                     | 2,80 | 4,23 |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,43                                   | 0,49 | 0,52 | 0,45                                     | 0,49 | 0,58 |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 12,0                                   | 13,3 | 14,2 | 12,8                                     | 13,3 | 15,8 |
| $c_p$ , Дж/(м <sup>3</sup> ·К)     | 3583                                   | 3684 | 3662 | 3516                                     | 3684 | 3670 |

Таблиця 6.9

Температуропровідність ( $a \cdot 10^8$ , м<sup>2</sup>/с) блоків тріски ( $W = 0,78 - 0,81$ )  
під тиском 4,9 кПа

| Зразок        | T, К      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|               | 288 – 273 | 267   | 265   | 263   | 261   | 259   | 257   | 255   | 253   | 251   |
| Фарш          | 9,11      | 10,08 | 15,08 | 19,45 | 23,60 | 27,50 | 31,10 | 34,60 | 38,00 | 41,05 |
| Дрібна тріска | 12,78     | 12,83 | 12,08 | 15,40 | 18,06 | 20,25 | 22,10 | 23,63 | 25,00 | 26,15 |

Таблиця 6.10

## ТФХ тріски

| Зразок          | W           | T, К      | $\rho_f$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | c,<br>Дж/(кг·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|-----------------|-------------|-----------|---------------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|
| М'язова тканини | –           | 273 – 305 | 993                             | 3684            | 0,54                    | 14,4                                  |
| Те ж саме       | 0,80        | 293       | 1020                            | 3684            | 0,46                    | 12,1                                  |
| Філе            | 0,83        | –         | 989                             | 3685            | 0,536                   | 14,7                                  |
| Те ж саме       | 0,77 – 0,78 | 298       | 1043                            | 3714            | 0,456                   | 11,75                                 |
| »               | 0,80        | 290       | 930                             | 3450            | 0,39                    | 12,2                                  |

Таблиця 6.11

## Енергетична цінність тріски

| Продукт                               | Ец, кДж/кг |
|---------------------------------------|------------|
| Тріска свіжа                          | 31,4       |
| Тріска без голови і тельбухів солена  | 41,0       |
| Тріска без голови і тельбухів копчена | 48,1       |
| Тріска копчена в маслі (консерви)     | 121,3      |

## 6.2. Судак

Таблиця 6.12

## Густина судака різної маси

| Продукт                      | Цілий судак при T = 288 К |                              |       | М'ясо судака при W = 0,775 % |       |       |
|------------------------------|---------------------------|------------------------------|-------|------------------------------|-------|-------|
|                              | m, кг                     | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> |       |                              |       |       |
| m, кг                        | 0,600                     | 2,500                        | 4,600 | 0,970                        | 1,630 | 1,827 |
| $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> | 856                       | 920                          | 975   | 1062                         | 1064  | 1067  |

Густина різних частин тіла судака при  $T \approx 288 \text{ K}$ 

| Частина тіла судака               | $\rho_f, \text{кг/м}^3$ | Частина тіла судака | $\rho_f, \text{кг/м}^3$ |
|-----------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| М'ясо з головної частини спинки   | 1065                    | Шкіра з лускою      | 1216                    |
| М'ясо з головної частини черевця  | 1061                    | Спинка біля голови  | 1064                    |
| М'ясо з хвостової частини черевця | 1049                    | Середня частина     | 1065                    |
| Шкіра без луски                   | 1119                    | Задня частина       | 1059                    |

Таблиця 6.14

Густина судака при різних способах обробки

| Спосіб обробки риби | $\rho_f, \text{кг/м}^3$ | Спосіб обробки риби | $\rho_f, \text{кг/м}^3$ |
|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| Нерозібрана свіжа   | 967                     | Філе охолоджене     | 1080                    |
| Розібрана свіжа     | 1080                    | Філе заморожене     | 1026                    |
| Заморожена          | 985                     |                     |                         |

Теплоємність сухої речовини судака дорівнює: при нагріванні від 273 до 290 К – 1473, від 273 до 313 К – 1357 Дж/(кг·К).

Таблиця 6.15

ТФХ судака

| $T, \text{K}$ | $\rho_f, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг·K)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м·K)}$ | $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|---------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 298 – 273     | 1040 – 1045             | 3798                  | 0,475                      | 12,0                                |
| 288           | 1070                    | 3475                  | 0,52                       | 14,0                                |

Теплоємність судака становить: при  $W = 0,784$  та  $T = 273 \text{ K} - 3538$ , при  $W = 0,768$  та  $T = 274 - 290 \text{ K} - 3798$ , розмороженого – 3513, охолодженого – 3471 Дж/(кг·К).

При  $T = 241 - 243 \text{ K}$  теплоємність судака дорівнює 1863 Дж/(кг·К).

Теплопровідність в Вт/(м·К) судака при  $T < T_k$ :

$$\lambda = 1,20 - 0,77 \cdot (T - 273). \quad (6.12)$$

Теплопровідність судака при  $T > T_k$  дорівнює: 0,38, при 273–303 К – 0,433, при 303–273 К – 0,469, при 273 – 313 К – 0,49 і при  $T = 243 \text{ K} - 1,74 \text{ Вт/(м·К)}$ .

Температуропровідність судака при 273 – 313 К дорівнює  $12 \cdot 10^{-8}$ , а при 262 – 252 К – від  $30,5 \cdot 10^{-8}$  до  $44,4 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Зі збільшенням густини судака ( $T = 303\text{--}273$  К) його температуропровідність зменшується та при 1045; 1050 та 1055 кг/м<sup>3</sup> відповідно становить  $12,0 \cdot 10^{-8}$ ;  $11,1 \cdot 10^{-8}$  та  $10,7 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Систематизовані значення ТФХ судака наведені в табл. 6.15.

Енергетична цінність судака свіжого складає 34,7, а консервів в томатному соусі – 49,8 кДж/кг.

### 6.3. Оселедець

Густина оселедцю (самця) при  $W = 0,65$  та  $Ж = 0,13$  становить 1060 кг/м<sup>3</sup>, при  $T = 288 - 300$  К від 1048 до 1060 та в середньому – 1054 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 6.16

#### Фізичні показники свіжопоснулого оселедцю

| m, г                              | 390  | 455  | 470  | 528  | 534  | 582  | 588  | 623  | 662  | 674  | 726  |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $L$ , мм                          | 320  | 330  | 335  | 350  | 355  | 360  | 345  | 375  | 380  | 370  | 380  |
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | 1109 | 1090 | 1082 | 1096 | 1061 | 1073 | 1091 | 1083 | 1067 | 1078 | 1066 |

Таблиця 6.17

#### Густина висушеного оселедцю

| $Ж$                               | 1,19 | 1,19 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,53 | 0,53 | 0,53 |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $W$                               | 0,09 | 0,10 | 0,05 | 0,08 | 0,10 | 0,13 | 0,12 | 0,10 | 0,16 |
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | 1130 | 1130 | 1150 | 1160 | 1160 | 1170 | 1180 | 1190 | 1190 |

Таблиця 6.18

#### Густина рубленого оселедцю ( $W = 6,608$ ) при $T = 292$ К

| $p \cdot 10^2$ , кПа              | 0,318          | 1,030          | 3,090          | 6,050          | 12,420         | 15,980         |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | 1136 –<br>1140 | 1145 –<br>1151 | 1162 –<br>1165 | 1172 –<br>1176 | 1193 –<br>1200 | 1202 –<br>1209 |

Наявні відомості про теплоємність оселедцю при  $T > T_k$  суперечливі (табл. 6.19).



Таблиця 6.19

**Теплоємність в Дж/(кг·К) оселедцю**

| Оселедець             | W           | Ж    | T, К      | T > T <sub>к</sub> | T < T <sub>к</sub> |
|-----------------------|-------------|------|-----------|--------------------|--------------------|
| –                     | 0,638       | 0,20 | 273 – 303 | 3350               | –                  |
| Копчений              | 0,640       | –    | –         | 2970               | 1630               |
| Американський         | 0,620       | –    | –         | 2930               | 1680               |
| Гарячого<br>копчення  | 0,640       | –    | –         | 2973               | 1633               |
| Холодного<br>копчення | 0,700       | –    | –         | 3182               | 1717               |
| –                     | 0,722       | 11,3 | 273 – 353 | 3548               | –                  |
| Знежирений            | 0,75 – 0,80 | –    | –         | 3350               | 1800               |

З підвищення температури теплоємність оселедцю збільшується. Так, при  $T = 233 - 243; 243 - 263$  та  $273 - 333$  К вона відповідно становить 1089; 2633 та 3726 Дж/(кг·К).

Ентальпія м'яса оселедцю наведена в табл. 6.20.

Таблиця 6.20

**Ентальпія в кДж/кг м'яса оселедцю  
(W = 0,638 та Ж = 0,20)**

| T, К | 243  | 253  | 263  | 273   | 283   | 293   | 303   |
|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| h    | 20,1 | 42,3 | 73,2 | 278,4 | 314,4 | 348,8 | 382,7 |

Теплопровідність оселедцю становить: східного при 273–288 К – від 0,5 до 1,0 Вт/(м·К); очищеного при  $\rho_{\phi} = 910$  кг/м<sup>3</sup> – 0,79 Вт/(м·К); розібраного цілого, коли  $\rho_{\phi} = 910$  кг/м<sup>3</sup>, та щільно упакованого при 246–243 К – 0,795 Вт/(м·К).

ТФХ річкового оселедцю приведені в табл. 6.21.

Таблиця 6.21

**ТФХ річкового оселедцю (W = 0,747 та Ж = 0,0573)**

| ТФХ                                | T, К  |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | 253   | 263   | 273   | 283   | 293   | 303   | 313   |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 1,328 | 1,234 | 0,409 | 0,416 | 0,430 | 0,450 | 0,463 |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 65,3  | 43,0  | 16,6  | 16,4  | 21,2  | 21,4  | 22,1  |
| ср, кДж/(м <sup>3</sup> ·К)        | 2034  | 2870  | 2656  | 2537  | 2028  | 2103  | 2095  |

Таблиця 6.22

**Енергетична цінність оселедців**

| <b>Продукт</b>                 | <b>Ец, кДж/кг</b> |
|--------------------------------|-------------------|
| Оселедці свіжі:                |                   |
| атлантичні жирні               | 101,3             |
| атлантичні нежирні             | 56,5              |
| тихоокеанські жирні            | 79,9              |
| тихоокеанські нежирні          | 56,5              |
| івасі крупні                   | 97,9              |
| івасі дрібні                   | 54,8              |
| Оселедці солоні:               |                   |
| атлантичні помірного посолу    | 60,7              |
| азово – чорноморські           | 115,9             |
| тихоокеанські слабкого посолу  | 98,3              |
| тихоокеанські помірного посолу | 93,7              |
| Оселедці холодного копчення:   |                   |
| тихоокеанські жирні            | 94,1              |

**6.4. Щука**

Густина щуки (шматок), фаршу та сосисочної маси при  $T = 283 \text{ K}$  відповідно становить 1144, 1110 та 1106  $\text{кг/м}^3$ .

Густина в  $\text{кг/м}^3$  щуки (шматок) визначається за формулою:

при  $283 < T < 323 \text{ K}$

$$\rho_{\phi} = 1399 - 0,90 \cdot T. \quad (6.13)$$

Коефіцієнт об'ємного теплового розширення щуки суттєво збільшується з підвищенням температури (табл. 6.23).

Таблиця 6.23

**Коефіцієнт об'ємного теплового розширення щуки**

| <b>Зразок</b>  | <b>W</b> | <b>Ж</b> | <b>Білок</b> | <b><math>\beta \cdot 10^3, \text{K}^{-1}</math> при <math>T, \text{K}</math></b> |                  |
|----------------|----------|----------|--------------|--|------------------|
|                |          |          |              | <b>283 – 323</b>   | <b>323 – 353</b> |
| Щука (шматок)  | –        | –        | –            | 0,95   | 3,40             |
| Щука (фарш)    | 0,804    | 0,0020   | 0,1813       | 0,35   | 2,75             |
| Сосисочна маса | 0,697    | 0,0970   | 0,1313       | 0,25   | 2,50             |

Теплоємність сухої речовини фаршу із щуки дорівнює 1424, фаршу – 3643 Дж/(кг·К), а сухої речовини із сосисочної маси та самої сосисочної маси відповідно 1800 та 3475 Дж/(кг·К).

Теплоємність щуки при  $T < T_k$  наведена в табл.6.24.

Таблиця 6.24

Теплоємність щуки при  $T < T_k$

| <b><math>T, K</math></b>                | <b>253–<br/>243</b> | <b>243–<br/>233</b> | <b>233–<br/>223</b> | <b>223–<br/>213</b> | <b>213–<br/>203</b> | <b>203–<br/>193</b> | <b>183–<br/>173</b> | <b>173–<br/>153</b> | <b>153–<br/>133</b> | <b>113–<br/>77</b> |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| $c, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | 2303                | 1968                | 1758                | 1591                | 1465                | 1382                | 1256                | 1214                | 1089                | 795                |

ТФХ сухої речовини фаршу щуки дорівнюють:  $\rho_\phi - 657 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $c - 1382 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ,  $\lambda - 0,093 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ,  $a - 10,3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

При  $T = 288 \text{ К}$  температуропровідність сухої речовини щуки ( $\rho_n = 760 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) становить  $10,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ , а  $\lambda - 0,115 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

ТФХ фаршу  $\lambda$  в Вт/(м·К) та  $a$  в м<sup>2</sup>/с з щуки визначаються за формулами:

при  $0 < W < 1$ ,  $T = 288 \text{ К}$  та  $\rho_n - 650 \text{ кг}/\text{м}^3$

$$\lambda = 0,090 + 0,48 \cdot W; \quad (6.14)$$

$$a \cdot 10^8 = 10,3 + 3,40 \cdot W. \quad (6.15)$$

Еквівалентні ТФХ фаршу та сосисочної маси з щуки при нагріванні без зовнішнього масообміну в залежності від температури повітря –  $T_n$  та швидкості його руху  $v_n$  приведені в таблиці 6.25 та 6.26.

Таблиця 6.25

Еквівалентні ТФХ фаршу щуки ( $\rho_n = 995 \text{ кг}/\text{м}^3$ )

| <b>ТФХ</b>                                    | <b>при <math>T_n = 388 \text{ К}</math> та <math>v_n, \text{ м}/\text{с}</math></b> |             |             | <b>при <math>v_n = 2,80 \text{ м}/\text{с}</math> та <math>T_n, \text{ К}</math></b> |            |            |
|---|---|-------------|-------------|--|------------|------------|
|   | <b>1,33</b>   | <b>2,80</b> | <b>4,23</b> | <b>353</b>   | <b>388</b> | <b>401</b> |
| $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  | 0,47  | 0,50        | 0,60        | 0,46   | 0,50       | 0,57       |
| $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$          | 13,1  | 13,9        | 16,8        | 13,0   | 13,9       | 15,3       |
| $c\rho, \text{кДж}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$ | 3588  | 3597        | 3571        | 3538   | 3597       | 3725       |

Таблиця 6.26

Еквівалентні ТФХ сосисочної маси із щуки ( $\rho_n = 970 \text{ кг/м}^3$ )

| ТФХ                                     | при $T_n = 388 \text{ К}$ та $v_n, \text{ м/с}$ |      |      |      |      | при $v_n = 2,80 \text{ м/с}$ та $T_n, \text{ К}$ |      |      |
|---|---|------|------|------|------|--|------|------|
|   | 0   | 1,33 | 2,80 | 3,36 | 4,23 | 353  | 387  | 401  |
| $\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  | 0,27  | 0,36 | 0,45 | 0,46 | 0,48 | 0,43   | 0,45 | 0,49 |
| $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$    | 8,1   | 10,7 | 13,3 | 13,5 | 14,0 | 12,9   | 13,3 | 14,7 |
| $c\rho, \text{ кДж/(м}^3\cdot\text{К)}$ | 3333  | 3364 | 3383 | 3407 | 3429 | 3333   | 3383 | 3333 |

Таблиця 6.27

ТФХ сосисочної маси із щуки ( $T_n = 387 \text{ К}$  та  $v_n = 2,8 \text{ м/с}$ )

| $\rho_\phi, \text{ кг/м}^3$ | $\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ | $c\rho, \text{ кДж/(м}^3\cdot\text{К)}$ |
|-----------------------------|--|--------------------------------------|---|
| 970                         | 0,45                                   | 13,3                                 | 3383                                    |
| 1065                        | 0,46                                   | 12,3                                 | 3740                                    |
| 1226                        | 0,48                                   | 11,5                                 | 4174                                    |

Таблиця 6.28

## ТФХ сосисок із щуки

| Після процесу | $W$         | $c, \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $\rho_\phi, \text{ кг/м}^3$ | $c\rho, \text{ кДж/(м}^3\cdot\text{К)}$ |
|---------------|-------------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| Формування    | 0,697       | 3650                              | 974                         | 3560                                    |
| Варки         | 0,68 – 0,66 | 3440 – 3400                       | 865                         | 2940 – 2980                             |

З підвищенням густини сосисочної маси із щуки її теплопровідність та об'ємна теплоємність збільшуються, а коефіцієнт температуропровідності зменшується (табл. 6.27).

ТФХ сосисок із щуки після основних технологічних процесів приведені в таблиці 6.28.

Енергетична цінність щуки свіжої 34,3, а консервів із щуки в томатному соусі 45,0 кДж/кг.

## 6.5. Скумбрія

Густина скумбрії при  $T = 291 - 293$  К становить  $1120 \text{ кг/м}^3$ , а при  $W = 0,642 - 1010 \text{ кг/м}^3$ .

Теплоємність філе скумбрії ( $W = 0,57$ ) при  $T > T_k$  становить 2763, а при  $T < T_k - 1549 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ . Теплоємність фаршу скумбрії ( $W = 0,642$ ) –  $3390 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ .

ТФХ блоків розміром  $800 \times 250$  мм скумбрії дрібної з головою приведені в табл. 6.29.

ТФХ скумбрії при нагріванні приведені в табл. 6.30, а кулінарних виробів з неї – в табл. 6.29.

Таблиця 6.29

**ТФХ блоків скумбрії**  
( $W = 0,683 - 0,725$ ,  $Ж = 0,060 - 0,085$ ) під тиском  $p = 4,9$  кПа

| ТФХ                                     | Температура, К |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | 273 – 288      | 267  | 265   | 263   | 261   | 259   | 257   | 255   | 253   | 251   |
| $c$ , Дж/(кг·К)                         | 2980           | 6540 | 4400  | 3310  | 2940  | 2600  | 2390  | 2180  | 2010  | 1090  |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)                    | 0,29           | 0,36 | 0,36  | 0,42  | 0,43  | 0,41  | 0,38  | 0,40  | 0,40  | 0,40  |
| $\alpha \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 10,45          | 5,96 | 10,15 | 13,46 | 15,72 | 16,95 | 17,52 | 19,36 | 21,30 | 22,30 |

Теплопровідність в Вт/(м·К) фаршу скумбрії визначається за формулою:  
при  $278 < T < 303$  К та  $W = 0,642$

$$\lambda = -0,257 + 0,002 T. \quad (6.16)$$

Температуропровідність скумбрії дорівнює  $13,8 \cdot 10^{-8} \pm 6,0 \% \text{ м}^2/\text{с}$ .

Теплопровідність скумбрії зменшується, якщо до неї додати рослинну олію (табл.6.30).

Таблиця 6.30

**ТФХ скумбрії ( $W = 0,7735$ ,  $Ж = 0,0048$ )**

| ТФХ                                     | Температура, К |       |       |       |       |       |
|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | 253            | 263   | 273   | 283   | 293   | 303   |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)                    | 1,237          | 1,088 | 0,416 | 0,423 | 0,438 | 0,459 |
| $\alpha \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 53,89          | 31,80 | 10,86 | 11,72 | 13,83 | 15,97 |
| $c_p$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)         | 2295           | 3421  | 3830  | 3609  | 3167  | 2874  |

В процесі сушки скумбрії температуропровідність в м<sup>2</sup>/с зменшується:  
при  $0,22 < W < 0,789$ ,  $\rho_n = 630 \text{ кг/м}^3$  та  $T = 273 - 318 \text{ К}$

$$a \cdot 10^{-8} = 6,37 + 2,8 \cdot W. \quad (6.17)$$

При внесенні в фарш скумбрії наповнювача (замоченого та вижатого хліба найвищого сорту) його ТФХ зменшуються (табл. 6.31).

Таблиця 6.31

**Теплопровідність в Вт/(м·К) скумбрії**

| Зразок                                    | Температура, К |      |      |      |      |
|---|----------------|------|------|------|------|
|   | 283            | 303  | 323  | 348  | 373  |
| Скумбрія                                  | 0,42           | 0,44 | 0,52 | 0,58 | 0,63 |
| Скумбрія з додаванням<br>0,05 соєвої олії | –              | 0,37 | 0,42 | 0,49 | 0,50 |

Таблиця 6.32

**Енергетична цінність скумбрії**

| Продукт                     | Ец, кДж/кг |
|-----------------------------|------------|
| Скумбрія свіжа:             |            |
| атлантична                  | 64,0       |
| далекосхідна                | 62,0       |
| Скумбрія (консерви в олії): |            |
| атлантична                  | 116,3      |
| далекосхідна                | 92,0       |

### 6.6. Минтай

Ентальпія фаршу минтаю приведена в табл. 6.33, а ТФХ – в табл. 6.35.

Таблиця 6.33

**Ентальпія в кДж/кг фаршу із минтаю**

| T, К | h    | T, К | h     | T, К | h     | T, К | h     |
|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|
| 243  | 40,2 | 257  | 79,5  | 271  | 201,0 | 285  | 397,3 |
| 245  | 45,2 | 259  | 86,2  | 273  | 353,8 | 287  | 404,5 |
| 247  | 50,7 | 261  | 93,8  | 275  | 360,9 | 289  | 412,0 |
| 249  | 56,1 | 263  | 102,2 | 277  | 368,5 | 291  | 419,1 |
| 251  | 61,5 | 265  | 112,2 | 279  | 375,6 | 293  | 426,2 |
| 253  | 67,4 | 267  | 125,6 | 281  | 382,7 |      |       |
| 255  | 73,3 | 269  | 146,5 | 283  | 390,2 |      |       |

В процесі технологічної переробки фаршу об'ємна маса його змінюється (табл. 6.34).

Таблиця 6.34

**Об'ємна маса  $\text{кг/м}^3$  фаршу із мінтаю**

| Продукт   | $T, \text{K}$ | $\rho_n, \text{кг/м}^3$ |
|---|---------------|-------------------------|
| Заморожений брикет фаршу                                    | 266           | 920                     |
| Розморожений брикет   | 273           | 980                     |
| Фарш після однократного подрібнення в м'ясорубці            | 283           | 940                     |
| Котлетна маса в складі: фаршу 0,75, хліба 0,20, молока 0,05 | 288           | 1020                    |

Еквівалентні ТФХ фаршу мінтаю з підвищенням температури збільшуються (табл. 6.35).

Таблиця 6.35

**ТФХ фаршу із мінтаю**

| ТФХ   | $T, \text{K}$ |       |       |
|---|---------------|-------|-------|
|   | 308           | 323   | 358   |
| $c\rho, \text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{K})$ | 3638          | 3605  | 358   |
| $\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$  | 0,465         | 0,721 | 1,256 |
| $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$             | 12,78         | 20,00 | 34,72 |

Еквівалентні ТФХ фаршу із мінтаю в процесі технологічної переробки збільшуються зі збільшенням його об'ємної маси (табл. 6.36).

Таблиця 6.36

**ТФХ фаршу мінтаю в процесі технологічної обробки,  $T = 323 \text{ K}$**

| Продукт       | $\rho_f, \text{кг/м}^3$ | $c\rho, \text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{K})$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$ | $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|---------------|-------------------------|---|--|-------------------------------------|
| Змелений фарш | 940                     | 3418  | 0,674  | 19,72                               |
| Брикет        | 9890                    | 3605  | 0,721  | 20,00                               |
| Котлетна маса | 1020                    | 4185  | 0,930  | 22,22                               |

ТФХ фаршу  $c, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ ,  $\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$  в залежності від масової частки вологи визначаються за формулами:

при  $0,22 < W < 0,789$ ,

$$c = 1382 + 2805 \cdot W; \quad (6.18)$$

$$\lambda = 0,093 + 0,476 \cdot W. \quad (6.19)$$

Енергетична цінність свіжого минтаю складає 29,3, а кав'яра пробійного – 54,8 кДж/кг.

### 6.7. Хек та кулінарні вироби з риби

ТФХ сухої речовини хеку при  $T = 293$  К становлять:  $\rho - 760$  кг/м<sup>3</sup>,  $c - 1658$  Дж/(кг·К),  $\lambda - 0,155$  Вт/(м·К),  $a - 12,3 \cdot 10^8$  м<sup>2</sup>/с.

ТФХ кулінарних виробів з хеку та інших риби приведені в табл. 6.37, а рибних фаршів – в табл. 6.38.

Таблиця 6.37

#### ТФХ кулінарних виробів з риби при нагріванні від 273 до 363 К

| Продукт         | $W$   | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|-----------------|-------|------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| Хек варений     | 0,802 | 1031                         | 3731            | 0,527                | 13,7                               |
| Хек жарений     | 0,720 | 1039                         | 3517            | 0,508                | 13,9                               |
| Камбала варена  | 0,787 | 1040                         | 3705            | 0,530                | 13,75                              |
| Камбала жарена  | 0,697 | 1044                         | 3446            | 0,500                | 13,9                               |
| Окунь варений   | 0,811 | 1039                         | 3739            | 0,534                | 13,75                              |
| Окунь жарений   | 0,660 | 1039                         | 3324            | 0,487                | 14,1                               |
| Скумбрія варена | 0,713 | 1034                         | 3454            | 0,500                | 14,0                               |
| Скумбрія жарена | 0,700 | 1035                         | 3408            | 0,494                | 14,0                               |

Таблиця 6.38

#### ТФХ рибного фаршу при $T = 293$ К

| Фарш            | $W$  | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|-----------------|------|------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| Хеку            |      |                              |                 |                      |                                    |
| без наповнення  | 0,78 | 1020                         | 3420            | 0,43                 | 12,3                               |
| з наповненням * | 0,72 | 940                          | 3210            | 0,40                 | 13,2                               |
| Лемонеми        |      |                              |                 |                      |                                    |
| без наповнення  | 0,72 | 920                          | 3388            | 0,39                 | 12,5                               |
| з наповненням   | 0,71 | 890                          | 3286            | 0,38                 | 13,0                               |
| Льодяної        |      |                              |                 |                      |                                    |
| без наповнення  | 0,78 | 1050                         | 3710            | 0,45                 | 11,6                               |
| з наповненням   | 0,76 | 960                          | 3590            | 0,41                 | 11,9                               |
| Минтаю          |      |                              |                 |                      |                                    |



| Фарш           | $W$  | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|----------------|------|-----------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| без наповнення | 0,76 | 1010                              | 3480            | 0,52                 | 14,8                               |
| з наповненням  | 0,74 | 970                               | 3360            | 0,49                 | 15,0                               |
| Ставриди       |      |                                   |                 |                      |                                    |
| без наповнення | 0,72 | 1060                              | 3480            | 0,43                 | 11,7                               |
| з наповненням  | 0,70 | 1010                              | 3320            | 0,42                 | 12,5                               |
| Скумбрії       |      |                                   |                 |                      |                                    |
| без наповнення | 0,70 | 1000                              | 3580            | 0,49                 | 13,7                               |
| з наповненням  | 0,70 | 980                               | 3460            | 0,45                 | 13,3                               |

\* - наповнювач – білий хліб, намочений та віджатиий – 0,2, молоко – 0,05

Енергетична цінність хеку складає 36,0, льодяної риби 31,4, а лемонемі 25,5 кДж/кг.

### 6.8. Сардина

Середнє значення густини сардини становить 1070 кг/м<sup>3</sup>.

Густина в кг/м<sup>3</sup> сардини рубаної ( $W = 0,677$ ) при  $T = 288 - 292$  К в залежності від тиску на інтервалі від  $0,1 \cdot 10^5$  до  $16 \cdot 10^5$  Па визначається формулою:

$$\rho = 1102 + \lg(p/p_0) \quad (6.20)$$

де  $p$  – робочий тиск, Па;  $p_0$  – тиск на початок відліку, Па.

Теплоємність сардини ( $W = 0,574$  та  $Z = 0,11$ ) дорівнює 3015 Дж/(кг·К).

Теплопровідність в Вт/(м·К) сушеної сардини в залежності від густини та масової частки вологи визначається відповідно за формулами:

при  $380 < \rho_{\phi} < 630$  кг/м<sup>3</sup>,  $W = 0,222$  і  $T = 318 - 323$  К

$$\lambda = 0,080 + 0,00023 \cdot \rho_{\phi} \quad (6.21)$$

при  $0,222 < W < 0,504$ ,  $\rho_{\phi} = 630$  кг/м<sup>3</sup> і  $T = 273 - 318$  К

$$\lambda = 0,135 + 0,40 \cdot W. \quad (6.22)$$

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с сушеної сардини:

при  $0,222 < W < 0,504$ ,  $\rho_{\phi} = 630$  кг/м<sup>3</sup> і  $T = 273 - 318$  К

$$a \cdot 10^8 = 5,55 + 4,2 \cdot W. \quad (6.23)$$

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) сушеної сардини:

при  $0,222 < W < 0,504$ ,  $\rho_{\phi} = 630$  кг/м<sup>3</sup> і  $T = 273 - 318$  К

$$c\rho = 2719 + 3323 \cdot W. \quad (6.24)$$

ТФХ сардини ( $W = 0,776$ ) дорівнюють:  $\lambda - 0,604$  Вт/(м·К),  $a - 11,36 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с,

$$c\rho - 5217 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

Енергетична цінність свіжої сардини складає 69,5, а консервів в олії – атлантичної скибочками 104,2, далекосхідної 114,2 кДж/кг.

### 6.9. Короп

Густина коропа дорівнює: спинка біля голови – 1059, середня частина – 1063, задня частина – 1057, черевце – 1065 кг/м<sup>3</sup>. Густина парного коропа в цілому становить 972 – 1001, а розібраного при  $T = 283 - 288$  К – 1052 – 1082 кг/м<sup>3</sup>. Густина цілого коропа при  $T = 288, 270$  і  $265$  К відповідно становить 987; 944 та 928 кг/м<sup>3</sup>.

Густина м'яса коропа ( $W = 0,779$  та  $Ж = 0,088$ ) при  $T = 288-290$  К становить 1055 – 1065 та в середньому – 1060 кг/м<sup>3</sup>.

Густина луски коропа при  $W = 0$  та  $0,524$  відповідно становить 1506 та 1259 кг/м<sup>3</sup>, а шкіри без луски та з нею ( $T = 280$  К) – 1119 та 1216 кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність в Дж/(кг·К) м'яса коропа при  $T \approx 293$  К

$$c = 4187 - 2629 \cdot n. \quad (6.25)$$

Таблиця 6.39

#### Теплоємність розмороженого м'яса коропа при $T = 273 - 290$ К

| n     | c, Дж/(кг·К) |                  |
|-------|--------------|------------------|
|       | дослід       | за формулою 6.25 |
| 0,256 | 3659         | 3514             |
| 0,230 | 3777         | 3582             |
| 0,220 | 3630         | 3609             |

Таблиця 6.40

**Температуропровідність коропа**

|                                       |             |             |             |             |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup>     | <b>1045</b> | <b>1050</b> | <b>1055</b> | <b>1060</b> |
| $a \cdot 10^{-8}$ , м <sup>2</sup> /с | 12,1        | 11,6        | 11,1        | 10,7        |

Усереднені значення ТФХ м'яса коропа дорівнюють:  $\rho_{\phi}$  – 1060 кг/м<sup>3</sup>,  $c$  – 3689 Дж/(кг·К),  $\lambda$  – 0,437 Вт/(м·К),  $a$  –  $11,3 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Значення ТФХ спинки коропа наведені в табл. 6.41.

Таблиця 6.41

**ТФХ спинки коропа при T = 298 – 303 К**

| <b>n</b> | <b>Ж*</b> | <b><math>\rho_{\phi}</math>, кг/м<sup>3</sup></b> | <b><math>c^{**}</math>, Дж/(кг·К)</b> | <b><math>\lambda</math>, Вт/(м·К)</b> | <b><math>a \cdot 10^8</math>, м<sup>2</sup>/с</b> |
|----------|-----------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| 0,2216   | 0,1276    | 1047  | 3604                                  | 0,43                                  | 11,4  |
| 0,2480   | 0,0861    | 1046  | 3535                                  | 0,43                                  | 11,7  |
| 0,2617   | 0,1078    | 1052  | 3499                                  | 0,40                                  | 11,0  |

\* На суху речовину

\*\* Визначено за формулою:  $c = \lambda(a \cdot \rho)$ .

Енергетична цінність коропа свіжого азовського крупного 50,6, каспійського і аральського 40,6; консервів, в томатному соусі 60,8 кДж/кг.

**6.10.Окунь морський**

Коефіцієнт об'ємного теплового розширення окуня в інтервалі температур 283–323 та 323–253 К відповідно дорівнює  $0,50 \cdot 10^{-3}$  та  $1,05 \cdot 10^{-3}$  К<sup>-1</sup>.

Густина маси "Окунь фарширований" суттєво збільшується з підвищенням тиску табл. 6.42.

Таблиця 6.42

**Густина маси "Окунь фарширований"**

**(W = 0,507, T = 302, К)**

|   |              |              |              |              |               |               |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| <b><math>p \cdot 10^{-5}</math>, Па</b> | <b>0,318</b> | <b>1,030</b> | <b>3,090</b> | <b>6,050</b> | <b>12,429</b> | <b>15,920</b> |
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup>       | 1076         | 1091         | 1107         | 1120         | 1144          | 1152          |

Таблиця 6.43

**Густина фаршу окуня**

| <b>T, К</b>                       | <b>293</b> | <b>303</b> | <b>313</b> | <b>323</b> | <b>333</b> | <b>343</b> | <b>353</b> |
|-----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | 1093       | 1092       | 1087       | 1080       | 1067       | 1050       | 1020       |

Таблиця 6.44

**Ентальпія окуня (W = 0,791)**

| <b>T, К</b> | <b>233</b> | <b>243</b> | <b>253</b> | <b>263</b> | <b>273</b> | <b>283</b> | <b>293</b> |
|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| h, кДж/кг   | 0          | 19,0       | 41,4       | 72,0       | 317,9      | 353,9      | 389,9      |

Густина в кг/м<sup>3</sup> маси "Окунь фарширований" ( $W = 0,807$ ) при  $T = 292$  К в залежності від тиску на інтервалі від  $0,10 \cdot 10^5$  до  $15,92 \cdot 10^5$  Па визначається:

$$\rho_{\phi} = 1054 + 40 \cdot \lg(p/p_0). \quad (6.26)$$

де  $p$  – робочий тиск, Па;  $p_0$  – тиск на початок відліку, Па.

Коефіцієнт об'ємного теплового розширення фаршу окуня в інтервалі температур 273 – 323 та 323 – 353 К відповідно дорівнює  $0,06 \cdot 10^{-3}$  та  $1,65 \cdot 10^{-3}$  К<sup>-1</sup>.

Теплоємність морського окуня ( $W = 0,80$ ) при  $T > T_k$  дорівнює 3520, а при  $T < T_k$  – 1840 Дж/(кг·К).

Таблиця 6.45

**Еквівалентні ТФХ фаршу окуня ( $\rho_{\phi} = 995$  кг/м<sup>3</sup>)**

| <b>ТФХ</b>                         | <b>при <math>v_n = 2,8</math> м/с та T, К</b> |            |            | <b>при <math>T_n = 387</math> К та <math>v_n</math>, м/с</b> |             |             |
|------------------------------------|---|------------|------------|--|-------------|-------------|
|                                    | <b>353</b>                                    | <b>387</b> | <b>401</b> | <b>1,33</b>  | <b>2,80</b> | <b>4,23</b> |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,41  | 0,42       | 0,43       | 0,36   | 0,42        | 0,49        |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 11,3  | 11,7       | 12,0       | 10,7   | 11,7        | 13,6        |
| $c_p$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)    | 3628  | 3590       | 3583       | 3364   | 3590        | 3603        |

Теплоємність окуня ( $W = 0,791$ ) при  $T = 273$  К дорівнює 4145, а в інтервалі температур 277 – 293 К вона стала і дорівнює 3601 Дж/(кг·К).

Таблиця 6.46

**ТФХ кулінарних виробів з окуня при нагріванні від 273 до 363 К**

| <b>Окунь</b> | <b>W</b> | <b><math>\rho</math>, кг/м<sup>3</sup></b> | <b>c, Дж/(кг·К)</b> | <b><math>\lambda</math>, Вт/(м·К)</b> | <b><math>a \cdot 10^8</math>, м<sup>2</sup>/с</b> |
|--------------|----------|--|---------------------|---------------------------------------|---|
| Варений      | 0,811    | 1039                                       | 3739                | 0,534                                 | 13,75   |
| Жарений      | 0,660    | 1039                                       | 3324                | 0,487                                 | 14,1  |

Таблиця 6.47

**Енергетична цінність окуня**

| Продукт                               | $E_c$ , кДж/кг |
|---------------------------------------|----------------|
| Окунь свіжий:                         |                |
| морський                              | 49,0           |
| річковий                              | 34,3           |
| морський гарячого копчення            | 73,2           |
| морський холодного копчення (баличок) | 83,3           |

**6.11. Ставрида**

ТФХ блока ставриди розміром 800x 250 мм ( $W = 0,75 - 0,76$  та  $\mathcal{J} = 0,023 - 0,034$ ), що знаходиться під пресом ( $\rho = 4,9$  кПа), наведені в табл. 6.48.

Таблиця 6.48

**ТФХ блока ставриди ( $\rho_\phi = 910 - 920$  кг/м<sup>3</sup>)**

| ТФХ                                | Температура, К |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | 273 –<br>288   | 267   | 265   | 263   | 261   | 259   | 257   | 255   | 253   | 251   |
| $c$ , Дж/(кг·К)                    | 3020           | 5820  | 4440  | 3520  | 2970  | 2640  | 2390  | 2140  | 2010  | 1840  |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,266          | 0,382 | 0,384 | 0,392 | 0,395 | 0,405 | 0,407 | 0,407 | 0,407 | 0,407 |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 9,64           | 6,11  | 9,44  | 12,22 | 14,53 | 16,78 | 18,68 | 20,82 | 22,13 | 24,18 |

Таблиця 6.49

**ТФХ ставриди**

| Ставрида | $T$ , К                        | $W$   | $\rho_\phi$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $c$ ,<br>Дж/(кг·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|----------|--------------------------------|-------|------------------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Відварна | Нагрівання<br>від 273 до 363 К | 0,722 | 1039                               | 3509               | 0,507                   | 13,9                                  |
| Те саме  | 348                            | 0,630 | 597                                | 3256               | 0,22                    | 11,3                                  |
| Жарена   | Нагрівання<br>від 273 до 363 К | 0,63  | 1041                               | 3278               | 0,48                    | 14,1                                  |
| Те саме  | 348                            | 0,59  | 636                                | 3163               | 0,21                    | 10,4                                  |

Таблиця 6.50

**Енергетична цінність ставриди**

| <b>Продукт</b>                         | <b>Ец, кДж/кг</b> |
|--|-------------------|
| Ставрида свіжа океанська               | 49,8              |
| Ставрида атлантична холодного копчення | 74,9              |
| Консерви в олії                        | 101,3             |
| Консерви в томатному соусі             | 67,5              |

**6.12. Пікша**

Ентальпія пікші наведена в табл. 6.50.

Теплоємність в Дж/(кг·К) сухої речовини пікші при  $233 < T < 283$  К

$$c_{cp} = 208 + 3,56 \cdot T. \quad (6.27)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) пікші в залежності від масової частки вологи при  $W > 0,28$

$$c = 1675 + 2510 \cdot W. \quad (6.28)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) пікші при  $T < T_k$  визначається за формулою:

$$c = 750 + 37220/(T_v - 273). \quad (6.29)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) пікші при  $T < T_k$  визначається за формулою:

$$\lambda = 1,23 + 0,58/(T_v - 273). \quad (6.30)$$

Таблиця 6.51

**Ентальпія в кДж/кг пікші ( $W = 836$ )**

| <b>T, К</b> | <b>233</b> | <b>250</b> | <b>255</b> | <b>261</b> | <b>266</b> | <b>268</b> | <b>271</b> | <b>273</b> | <b>273</b> |
|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <i>h</i>    | 0          | 62,8       | 87,9       | 117,2      | 163,3      | 201,0      | 305,6      | 607        | 636        |

Таблиця 6.52

**Теплоємність  $c$ , Дж/(кг·К) пікші**

| <b>W</b> | <b>Температура, К</b> |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|----------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|          | <b>233</b>            | <b>244</b> | <b>253</b> | <b>261</b> | <b>266</b> | <b>273</b> | <b>277</b> | <b>281</b> | <b>285</b> | <b>289</b> | <b>293</b> |
| 0,836    | —                     | —          | —          | —          | —          | 3978       | 3685       | 3685       | 3726       | 3726       | 3726       |
| 0,803    | 1922                  | 2135       | 2353       | 2587       | 2721       | 3408       | —          | —          | —          | —          | —          |

Таблиця 6.53  
Теплоємність  $c$ , Дж/(кг·К) пікші  
при  $T > T_k$  та  $T < T_k$

| $W$   | $T > T_k, K$ | $T < T_k, K$ |
|-------|--------------|--------------|
| 0,780 | 3430         | 1800         |
| 0,800 | 3520         | 1840         |
| 0,836 | 3726         | 2554         |

Таблиця 6.54  
Теплопровідність  $\lambda$ , Вт/(м·К) пікші

| Температура, К |      |      |      |      |      |      |
|----------------|------|------|------|------|------|------|
| 333            | 274  | 264  | 263  | 255  | 253  | 244  |
| 0,68           | 0,47 | –    | –    | –    | –    | –    |
| –              | 0,54 | –    | 1,66 | –    | 1,84 | –    |
| –              | –    | 1,61 | –    | 1,73 | –    | 1,90 |

Енергетична цінність пікші свіжої складає 29,7 кДж/кг.

### 6.13.Лосось

Теплоємність лосося ( $W = 0,64$ ) при  $T > T_k$  становить 2970, а при  $T < T_k$  – 1633 Дж/(кг·К). Теплоємність лосося ( $W = 0,73$  та  $Ж = 0,054$ ) при зміні температури від 300 до 273 К становить 3517 Дж/(кг·К).

Таблиця 6.55

Теплоємність лосося-тайменя ( $W = 0,781$ )

| $T, K$          | 233  | 239  | 244  | 250  | 255  | 261  | 266  | 273 – 300 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| $c$ , Дж/(кг·К) | 1758 | 1800 | 1926 | 2135 | 1554 | 3350 | 5987 | 3685      |

Теплофізичні характеристики лосося ( $W = 0,73$  та  $Ж = 0,054$ ) в інтервалі температур 300 – 273 К дорівнюють:  $\rho_f = 991$  кг/м<sup>3</sup>,  $c = 3517$  Дж/(кг·К),  $\lambda = 0,50$  Вт/(м·К),  $a = 14,4 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

## 6.14. Осетер

Густина охолодженого та розібраного осетра становить 1056, мороженого цілого – 1022, а філе (охолодженого) – 1057, мороженого – 1032 кг/м<sup>3</sup>. При  $W = 0,708$  та  $Ж = 0,090$  густина осетра коливається від 1058 до 1061 кг/м<sup>3</sup> та в середньому становить 1059 кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність осетра ( $W = 0,708$  та  $Ж = 0,31$ ) в інтервалі  $T = 273 - 290$  К дорівнює 3643, в інтервалі  $T = 288 - 290$  К – 3649. Теплоємність охолодженого осетра  $T = 273 - 291$  К становить 3144 Дж/(кг·К).

Теплопровідність осетра ( $W = 0,741$ ) при  $T = 285$  К і  $\rho = 1059$  кг/м<sup>3</sup> дорівнює 0,43 Вт/(м·К).

Температуропровідність осетра ( $W = 0,708$  і  $Ж = 0,309$ ) в інтервалі 273 – 313 та 288 – 290 К дорівнює  $11,3 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Температуропровідність свіжого осетра при нагріванні від 273 до 313 К дорівнює  $11,3 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Таблиця 6.56

### Енергетична цінність лосося та осетра

| Продукт                           | Ец, кДж/кг |
|-----------------------------------|------------|
| Лосось свіжий сьомга              | 91,6       |
| Лосось свіжий озерний             | 73,2       |
| Лосось солений без тельбухів      | 112,5      |
| Осетер азово-чорноморський        | 68,6       |
| Осетер сибірський                 | 84,5       |
| Осетер консерви натуральний       | 69,0       |
| Осетер консерви в томатному соусі | 75,7       |

## 6.15. Короп дзеркальний

Густина дзеркального коропа становить: живого – 987 – 1037 ( $\rho = 1008$ ), в стані спокою – 1003, оглушеного – 1001 – 1002, до заморожування – 1001 – 1008, після відтавання – 986 – 990 кг/м<sup>3</sup>. Якщо густина цілого коропа становить 986 – 990, то розібраного  $T = 288$  К – 1049 – 1062 кг/м<sup>3</sup>. Густина м'яса коропа ( $W = 0,806$ ) при  $T = 288 - 290$  К коливається в межах 1052 – 1055 кг/м<sup>3</sup>.



Теплоємність коропа дзеркального при  $W = 0,57$  та  $0,78$  відповідно дорівнює 2763 та 3810 Дж/(кг·К).

Теплопровідність коропа дзеркального ( $W = 0,759$ ) при  $T = 285$  К та  $\rho_{\phi} = 1060$  кг/м<sup>3</sup> становить 0,44 Вт/(м·К).

Теплопровідність в Вт/(м·К) коропа дзеркального при  $T < T_k$  визначається:

$$\lambda = 1,35 + 0,87/(T_v - 273) \quad (6.31)$$

ТФХ коропа при  $T = 274$  К дорівнюють:  $c\rho - 3345$  кДж/(м<sup>3</sup>·К),  $\lambda - 0,46$  Вт/(м·К),  $a - 13,75 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Енергетична цінність коропа дзеркального свіжого 40,2 кДж/кг.

### 6.16.Лящ

Густина ляща становить: живого – 1029 – 1033 ( $\rho = 1028$ ), оглушеного – 970 – 997 ( $\rho = 984$ ), свіжепоснулого – 1002 – 1032 кг/м<sup>3</sup> ( $\rho = 1018$  кг/м<sup>3</sup>).

Густина м'яса ляща ( $W = 0,779$  та  $Ж = 0,12$ ) при  $T = 288 - 290$  К – 1059 – 1062 ( $\rho = 1060$  кг/м<sup>3</sup>).

Густина ляща не залежить від маси і довжини тіла.

Теплопровідність свіжого ляща при нагріванні від 273 до 303 К дорівнює 0,47 Вт/(м·К).

Таблиця 6.57

#### Енергетична цінність ляща

| Продукт                                      | Ец, кДж/кг |
|--|------------|
| Лящ свіжий:                                  |            |
| річковий                                     | 43,9       |
| морський                                     | 59,9       |
| Лящ гарячого копчення                        | 72,0       |
| Лящ холодного копчення арсельський           | 107,9      |
| Лящ каспійський крупний та середній          | 66,9       |
| Лящ каспійський дрібний                      | 64,9       |
| Лящ в'ялений каспійський крупний та середній | 92,5       |
| Лящ в'ялений каспійський дрібний             | 93,3       |
| Лящ каспійський солоний                      | 60,2       |
| Консерви з ляща в томатному соусі            | 58,3       |

Теплопровідність в Вт/(м·К) ляща при  $T < T_k$

$$\lambda = 1,30 + 0,83/(T_v - 273) \quad (6.32)$$

Температуропровідність свіжого ляща ( $W = 0,7711$  та  $Ж = 0,080$ ) при  $\rho_\phi = 1040$  кг/м<sup>3</sup> та нагріванні від 273 до 313 К дорівнює  $11,5 \cdot 10^{-8}$ , а при нагріванні від 317 до 323 К –  $15,0 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

ТФХ свіжого ляща при нагріванні від 273 до 303 К дорівнюють:  $c\rho - 4087$  кДж/(м<sup>3</sup>·К),  $\lambda - 0,47$  Вт/(м·К),  $a - 11,5 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

### 6.17. Тунець

Теплоємність філе тунця ( $W = 0,70$ ) при  $T > T_k$  дорівнює 3182, а при  $T < T_k$  – 1712 Дж/(кг·К).

Теплопровідність тунця при  $T = 243; 253; 263$  та  $273$  К відповідно становить 1,417; 1,333; 1,167 та 0,444 Вт/(м·К).

Теплопровідність в Вт/(м·К) тунця при  $T < T_k$

$$\lambda = \lambda_0 + \beta_I \cdot [1 - T_k/(T - 273)] \quad (6.33)$$

де  $\lambda_0$  – теплопровідність тунця при  $T_k$   $\lambda_0 = 0,5$  Вт/(м·К);  $\beta_I$  – коефіцієнт ( $\beta_I = 1,6$ );  $T_k$  – криоскопічна температура ( $T_k = 272$  К);  $T$  – температура визначення, К.

Теплопровідність тунця ( $W = 0,730$  та  $Ж = 0,0017$ ) дорівнює 0,44 Вт/(м·К).

Енергетична цінність тунця свіжого 51,9, консервів натуральних 10,2 в олії – 96,7 кДж/кг.

### 6.18. Мойва

ТФХ мойви ( $W = 0,635$ ) дорівнюють:  $\rho_\phi = 1010$  кг/м<sup>3</sup>,  $c - 4320$  Дж/(кг·К),  $\lambda - 0,385$  Вт/(м·К),  $a - 11,1 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

ТФХ шару мойви ( $W = 0,797$ ) дорівнюють:  $\rho_\phi = 1040$  кг/м<sup>3</sup>,  $c - 3500$  Дж/(кг·К).

Теплопровідність в Вт/(м·К) фаршу мойви ( $W = 0,797$ ) дорівнює:  
при  $278 < T < 303$  К

$$\lambda = -0,449 + 0,003 \cdot T. \quad (6.34)$$

Наведені данні з ТФХ –  $\rho$ ,  $c$  та  $\lambda$  фаршу мойви ( $W = 0,797$ ) дозволяють розрахувати наближене значення її температуропровідності при  $T \approx 293$  К, яка дорівнює  $11,8 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Енергетична цінність мойви весняної 42,2, а осінньої 88,7 кДж/кг.

## РОЗДІЛ 7. ОЛІЇ ТА ЖИРИ

### 7.1. Олії

#### 7.1.1. Олія соняшникова

Густина в  $\text{кг/м}^3$  нерафінованої соняшникової олії  
при  $293 < T < 458 \text{ К}$

$$\rho = 1098 - 0,605 \cdot T; \quad (7.1)$$

при  $253 < T < 413 \text{ К}$

$$\rho = 1115,7 - 0,680 \cdot T \quad (7.2)$$

Густина (в  $\text{кг/м}^3$ ) рафінованої олії визначається формулами:  
при  $293 < T < 458 \text{ К}$

$$\rho = 1107 - 0,6175 \cdot T \quad (7.3)$$

при  $293 < T < 393 \text{ К}$

$$\rho = 1127,4 - 0,688 \cdot T \quad (7.4)$$

Таблиця 7.1

**Кінематична в'язкість соняшникової олії  
різко падає з підвищенням температури**

| $t, ^\circ\text{C}$            | 20   | 40   | 60   | 80  | 100 | 150 |
|--------------------------------|------|------|------|-----|-----|-----|
| $\nu \cdot 10^6 \text{ м/с}^2$ | 59,8 | 25,2 | 11,3 | 6,2 | 3,3 | 1,6 |

Теплоємність в  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  нерафінованої соняшникової олії :  
при  $273 < T < 413 \text{ К}$

$$c = 951 + 3,35 T \quad (7.5)$$

при  $273 < T < 323 \text{ К}$

$$c = 119 + 2,5 T \quad (7.6)$$

при  $298 < T < 343 \text{ К}$

$$c = 354 + 5,20 T \quad (7.7)$$

при  $273 < T < 323 \text{ К}$

$$c = 1629 + 1,05 T \quad (7.8)$$

Теплоємність в  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  рафінованої соняшникової олії  
при  $313 < T < 413 \text{ К}$

$$c = 551 + 4,19 T \quad (7.9)$$

Формули (7.1) і (7.5) дозволяють виразити об'ємну теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) нерафінованої соняшникової олії у наступному вигляді:

при  $273 < T < 413 \text{ К}$

$$c_p = 927 + 2,867 T \quad (7.10)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) нерафінованої соняшникової олії:

при  $298 < T < 343 \text{ К}$

$$\lambda = 0,3397 - 0,00057 T \quad (7.11)$$

при  $298 < T < 343 \text{ К}$

$$\lambda = 0,359 - 0,00064 T \quad (7.12)$$

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с нерафінованої соняшникової олії:

при  $298 < T < 343 \text{ К}$

$$a \cdot 10^8 = 23,74 - 0,048 T \quad (7.13)$$

Температура застигання соняшникової олії 16–18<sup>0</sup>С, енергетична цінність рафінованої олії – 376 кДж/кг, насіння 241,8; ядра насіння та халви – 236,0 кДж/кг.

### 7.1.2. Олія бавовняна

Густина нерафінованої бавовняної олії :

при  $253 < T < 413 \text{ К}$

$$\rho = 1120,6 - 0,68 T \quad (7.14)$$

при  $298 < T < 353 \text{ К}$

$$\rho = 1106 - 0,62 T \quad (7.15)$$

при  $283 < T < 333 \text{ К}$

$$\rho = 1120 - 0,674 T \quad (7.16)$$

Таблиця 7.2

#### В'язкість бавовняної олії

| $t, ^\circ\text{C}$            | 20   | 40   | 60   | 80   | 100 | 150 |
|--------------------------------|------|------|------|------|-----|-----|
| $\nu \cdot 10^6 \text{ м/с}^2$ | 73,4 | 33,8 | 18,7 | 11,6 | 7,8 | 3,7 |

Таблиця 7.3

**Ентальпія рафінованої бавовняної олії**

|                    |            |            |            |            |            |            |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b><i>T</i>, К</b> | <b>223</b> | <b>233</b> | <b>243</b> | <b>253</b> | <b>263</b> | <b>273</b> |
| <i>n</i>           | 0          | 15,36      | 33,41      | 68,92      | 100,18     | 139,93     |
| <b><i>T</i>, К</b> | <b>283</b> | <b>293</b> | <b>303</b> | <b>313</b> | <b>323</b> |            |
| <i>n</i>           | 170,3      | 191,5      | 211,3      | 231,0      | 250,9      |            |

Зі збільшенням йодного числа теплоємність бавовняної олії зменшується.

Таблиця 7.4

**Теплоємність бавовняної олії при нагріванні від 294 до 373 К**

|                      |            |             |             |             |             |             |
|----------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b><i>Й.ч.</i></b>   | <b>0,5</b> | <b>11,9</b> | <b>24,8</b> | <b>41,0</b> | <b>56,6</b> | <b>69,2</b> |
| <i>c</i> , Дж/(кг·К) | 4145       | 3978        | 3517        | 3052        | 2667        | 2366        |

Теплоємність  $c$  в Дж/(кг·К) рафінованої бавовняної олії визначається за формулами:

при  $293 < T < 328$  К і  $Й.ч. = 107$

$$c = 1982 = const \quad (7.17)$$

при  $263 < T < 423$  К

$$c = 500 + 4,21 T \quad (7.18)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) нерафінованої бавовняної олії :

при  $313 < T < 423$  К

$$c = 507 + 4,26 T \quad (7.19)$$

при  $288 < T < 333$  і  $Й.ч. = 108,3$  Т

$$c = 1238 + 2,55 T \quad (7.20)$$

при  $173 < T < 218$  К

$$c = -115 + 7,2 T \quad (7.21)$$

Теплоємність  $c$  в Дж/(кг·К) для суміші олії бавовняної ( $n = 0,521$ ) і важкого бензину ( $n = 0,479$ ):

при  $273 < T < 313$  К

$$c = 1250 + 2,72 T \quad (7.22)$$

при  $178 < T < 208$  К

$$c = 675 + 4,52 T \quad (7.23)$$

Теплопровідність  $\lambda$  в Вт/(м·К) рафінованої олії бавовняної :

при  $273 < T < 413 \text{ K}$

$$\lambda = 0,207 + 0,000136 T \quad (7.24)$$

Таблиця 7.5

**В'язкість олії бавовняної**

| $t, ^\circ\text{C}$             | <b>20</b> | <b>40</b> | <b>60</b> | <b>80</b> | <b>100</b> | <b>150</b> |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| $\nu \cdot 10^6, \text{ м/с}^2$ | 73,4      | 33,8      | 18,7      | 11,6      | 7,8        | 3,7        |

Енергетична цінність рафінованої бавовняної олії складає 376,1 кДж/кг.

**7.1.3. Олія оливкова**

Густина в  $\text{кг/м}^3$  нерафінованої олії оливкової :

при  $283 < T < 333 \text{ K}$

$$\rho = 1110 - 0,678 T \quad (7.25)$$

при  $293 < T < 458 \text{ K}$

$$\rho = 1108,6 - 0,6725 T \quad (7.26)$$

Густина в  $\text{кг/м}^3$  рафінованої оливкової олії:

при  $293 < T < 458 \text{ K}$

$$\rho = 1098,8 - 0,636 T \quad (7.27)$$

Із формул (7.26) і (7.27) видно, що густина нерафінованої оливкової олії більша, ніж рафінованої.

Теплоємність в  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ :

при  $283 < T < 323 \text{ K}$  і *Й.ч.* = 96

$$c = 1639 + 1,05 T \quad (7.28)$$

Об'ємна теплоємність в  $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{K})$  оливкової олії:

при  $293 < T < 323 \text{ K}$

$$c_p = 1817,0 + 0,06 \cdot T - 0,000711 \cdot T^2 \quad (7.29)$$

Теплопровідність в  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$  оливкової олії

при  $269 < T < 414 \text{ K}$

$$\lambda = 0,185 - 0,000062 \cdot T \quad (7.30)$$

Енергетична цінність рафінованої оливкової олії 375,7 кДж/кг.

#### 7.1.4. Олія кунжутна

Густина в кг/м<sup>3</sup> кунжутної олії:

при  $253 < T < 413$  К

$$\rho = 1117,7 - 0,68 T \quad (7.31)$$

при  $283 < T < 333$

$$\rho = 1120 - 0,68 T \quad (7.32)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) олії кунжутної :

при  $273 < T < 353$  К

$$c = 1051 + 3,04 T \quad (7.33)$$

при  $363 < T < 413$  К

$$c = 935 + 3,35 T \quad (7.34)$$

при  $283 < T < 323$  К і  $Y.ч. = 100$

$$c = 1202 + 2,47 T \quad (7.35)$$

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) олії кунжутної:

при  $273 < T < 353$  К

$$c\rho = 1175 + 2,68 T - 0,00207 T^2 \quad (7.36)$$

при  $363 < T < 413$  К

$$c\rho = 1045 + 3,11 T - 0,00228 T^2 \quad (7.37)$$

Таблиця 7.6

#### В'язкість олії кунжутної

| $t, ^\circ\text{C}$            | 20   | 40   | 60   | 80  | 100 | 150 |
|--------------------------------|------|------|------|-----|-----|-----|
| $\nu \cdot 10^6 \text{ м/с}^2$ | 55,6 | 32,4 | 14,8 | 7,1 | 5,0 | 2,1 |

Теплопровідність в Вт/(м·К) олії кунжутної з підвищенням температури зменшується. Її значення рекомендують визначати:

$$\lambda = 0,1985 \cdot 10^{-4} \cdot (1117,7 - 0,68 \cdot T)^{4/3} \quad (7.38)$$

Температуропровідність (в м<sup>2</sup>/с) олії кунжутної:

$$a = \frac{0,1985 \cdot 10^{-4} \cdot (1117,7 - 0,68 \cdot T)^{1/3}}{c} \quad (7.39)$$

Температура застигання кунжутної олії мінус 50<sup>0</sup>С, енергетична цінність олії рафінованої 376,1 кДж/кг; насіння кунжуту – 218,8 кДж/кг.



### 7.1.5. Олія кукурудзяна

Густина в  $\text{кг/м}^3$  олії кукурудзяної:

при  $253 < T < 413 \text{ К}$

$$\rho = 1119 - 0,680 T \quad (7.40)$$

при  $283 < T < 333 \text{ К}$

$$\rho = 1130 - 0,701 T \quad (7.41)$$

Таблиця 7.7

#### Кінематична в'язкість олії кукурудзяної

| $t, ^\circ\text{C}$            | 20   | 40   | 60   | 80  | 100 | 150 |
|--------------------------------|------|------|------|-----|-----|-----|
| $\nu \cdot 10^6 \text{ м/с}^2$ | 72,3 | 30,5 | 14,6 | 6,9 | 4,7 | 2,0 |

Теплоємність в  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  олії кукурудзяної:

при  $323 < T < 423 \text{ К}$

$$c = 795 + 3,140 \cdot T \quad (7.42)$$

Об'ємна теплоємність в  $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$  олії кукурудзяної:

при  $323 < T < 413 \text{ К}$

$$c\rho = 898 + 2,99 \cdot T - 0,0020 \cdot T^2 \quad (7.43)$$

Теплопровідність в  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  олії кукурудзяної:

при  $253 < T < 413 \text{ К}$

$$\lambda = 0,192 \cdot 10^{-4} \cdot (1130 - 0,7011 \cdot T)^{4/3} \quad (7.44)$$

Температуропровідність в  $\text{м}^2/\text{с}$  олії кукурудзяної

$$a = \frac{0,192 \cdot 10^{-4} \cdot (1130 - 0,7011 \cdot T)^{1/3}}{c} \quad (7.45)$$

Значення  $c$  у формулі (7.45) визначається за формулою (7.42).

Енергетична цінність олії кукурудзяної рафінованої –  $375,7 \text{ кДж/кг}$ .

### 7.1.6. Олія соєва

Густина в  $\text{кг/м}^3$  олії соєвої:

олія Амурська: при  $253 < T < 423 \text{ К}$

$$\rho = 1119,58 - 0,680 \cdot T \quad (7.46)$$

олія виробництва Японії: при  $283 < T < 333 \text{ K}$

$$\rho = 1120 - 0,688 \cdot T \quad (7.47)$$

олія виробництва Іспанії: при  $293 < T < 458 \text{ K}$

$$\rho = 1113,9 - 0,656 \cdot T \quad (7.48)$$

Густині рафінованої олії соєвої, відповідає формула:

$$\rho = 1122,2 - 0,694 \cdot T \quad (7.49)$$

Таблиця 7.8

**В'язкість соєвої Амурської олії**

| $t, ^\circ\text{C}$            | 20   | 40   | 60   | 80   | 100 | 150 |
|--------------------------------|------|------|------|------|-----|-----|
| $\nu \cdot 10^6 \text{ м/с}^2$ | 61,8 | 30,6 | 18,1 | 10,7 | 7,4 | 2,8 |

Теплоємність в Дж/(кг·К) олії соєвої

при  $273 < T < 353 \text{ K}$

$$c = 1149 + 2,65 T \quad (7.50)$$

при  $353 < T < 483$

$$c = 957 + 3,10 T \quad (7.51)$$

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) олії соєвої

при  $273 < T < 353 \text{ K}$

$$c\rho = 1286,4 + 2,19 \cdot T - 0,0018 \cdot T^2 \quad (7.52)$$

при  $353 < T < 483 \text{ K}$

$$c\rho = 1063,6 + 2,63 \cdot T - 0,0020 \cdot T^2 \quad (7.53)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) олії соєвої

при  $253 < T < 458 \text{ K}$

$$\lambda = 0,194 \cdot 10^{-4} \cdot (1119,58 - 0,680 \cdot T)^{4/3} \quad (7.54)$$

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с олії соєвої

при  $273 < T < 483 \text{ K}$

$$a = 0,194 \cdot 10^{-4} \cdot (1119,58 - 0,680 \cdot T)^{1/3} \cdot c^{-1} \quad (7.55)$$

Енергетична цінність олії соєвої рафінованої 376,1 кДж/кг.

## 7.2. Жири тваринні

### 7.2.1. Жир яловичий

Густина топленого жиру яловичого при  $T = 288, 323$  і  $373$  К відповідно складає  $937 - 953, 895$  і  $860 - 862$  при  $T = 288, \rho = 923 - 933$  кг/м<sup>3</sup>.

Густина в кг/м<sup>3</sup> жиру яловичого залежно від температури при  $278 < T < 303$  К

$$\rho = 1377 - 1,50 T \quad (7.56)$$

при  $313 < T < 363$  К

$$\rho = 1076 - 0,50 T \quad (7.57)$$

Коефіцієнт об'ємного теплового розширення жиру яловичого в інтервалі температур  $278 - 303$  і  $323 - 373$  К відповідно рівний  $1,58 \cdot 10^{-3}$  і  $0,72 \cdot 10^{-3}$  К<sup>-1</sup>

Таблиця 7.9

**Теплоємність в Дж/(кг·К) жиру твердого яловичого при  $T < 298,5$  К.**

| Жир                         | Температура, К |              |              |              |              |              |      |      |      |
|-----------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|------|------|
|                             | 75             | 113 –<br>115 | 153 –<br>155 | 193 –<br>195 | 233 –<br>235 | 243 –<br>245 | 253  | 263  | 273  |
| Топлений                    | 500            | 790          | 1080         | 1380         | 1730         | 1860         | 1980 | 2230 | 2780 |
|                             | –              | 1001         | 1553         | 2303         | –            | –            | –    | –    | –    |
| Зовнішній<br>( $W = 0,07$ ) | –              | –            | –            | –            | –            | 1717         | 1968 | 2428 | 4103 |
|                             | –              | –            | –            | –            | 1528         | 1612         | 1947 | 1947 | 1947 |

Таблиця 7.10

**Ентальпія в кДж/кг жиру яловичого під час топлення**

| 75 | Температура, К |             |             |             |             |             |             |             |
|----|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|    | 223–<br>225    | 233–<br>235 | 243–<br>245 | 253–<br>255 | 263–<br>265 | 273–<br>275 | 283–<br>285 | 293–<br>295 |
| –  | 0              | 15,07       | 30,73       | 48,19       | 67,45       | 86,17       | 112,92      | 155,34      |
| 0  | 157,0          | 173,9       | 191,8       | 211,0       | 232,5       | 258,4       | 294,5       | 336,1       |

Таблиця 7.11

**Ентальпія в кДж/кг жиру яловичого в рідкому стані під час нагрівання**

| Температура, К |           |       |       |           |
|----------------|-----------|-------|-------|-----------|
| 75             | 223 – 225 | 303   | 313   | 320 – 323 |
| 0              | –         | 182,7 | 223,0 | 281,0     |
| –              | 0         | 363,5 | 398,9 | 436,5     |

Таблиця 7.12

**Теплофізичні характеристики подрібненого жиру яловичого  
при  $T = 293\text{K}$**

| Зразок        | $W$   | $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|---------------|-------|-----------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| Жир – сирець: |       |                                   |                      |                                    |
| сальник       | 0,12  | 1682                              | 0,093                | 5,53                               |
| брижесечний   | 0,16  | 2844                              | 0,180                | 6,33                               |
| кишечний      | 0,295 | 4887                              | 0,345                | 7,06                               |
| Яловичий      | –     | 4849                              | 0,355                | 7,33                               |

Таблиця 7.13

**Теплофізичні характеристики жиру яловичого**

| ТФХ                                | Температура, К |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | 273            | 268   | 263   | 258   | 253   | 248   | 243   |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,2035         | 0,212 | 0,227 | 0,238 | 0,253 | 0,262 | 0,279 |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 5,28           | 7,50  | 9,72  | 11,67 | 13,68 | 15,28 | 16,94 |
| $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)  | 3854           | 2827  | 2335  | 2039  | 1859  | 1715  | 1647  |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>         | 939            | 937   | 962   | 955   | 945   | 953   | 959   |

Таблиця 7.14

**Теплопровідність жиру яловичого**

| T, К                 | 313   | 323   | 333   | 343   | 353   | 363   |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\lambda$ , Вт/(м·К) | 0,172 | 0,167 | 0,166 | 0,163 | 0,160 | 0,159 |

ТФХ яловичого жиру при  $T = 333\text{K}$  дорівнюють:  $\rho - 886 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 2330 \text{ Дж/(кг·К)}$ ,  $\lambda - 0,177 \text{ Вт/(м·К)}$  і  $a - 8,67 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Енергетична цінність топленого жиру яловичого  $375,3 \text{ кДж/кг}$ .

### 7.2.2. Жир баранячий

Густина (в  $\text{кг/м}^3$ ) жиру баранячого в інтервалі температур  $323 - 363 \text{ K}$ :  
надпечінковий і сорочковий

$$\rho = 1124 - 0,75 \cdot T \quad (7.58)$$

курдючний

$$\rho = 1100 - 0,65 \cdot T \quad (7.59)$$

Коефіцієнт об'ємного теплового розширення жиру баранячого в інтервалі температур 323 – 368 К складає  $0,66 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

Середня ефективна теплоємність жиру баранячого в температурному інтервалі плавлення (283 – 321 К) складає  $6364 \pm 837 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

В рідкому й твердому станах теплоємність жиру баранячого відповідно рівна 2260 і 1290  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

Ефективна теплоємність жиру баранячого в процесі нагрівання піддається різним змінам.

Теплота плавлення жиру баранячого, за даними А.А.Соколова складає 146,545 кДж/кг.

Таблиця 7.15

**Ефективна теплоємність жиру баранячого під час нагрівання**

| <b><math>T</math>,<br/>К</b>         | <b>283</b> | <b>288</b> | <b>293</b> | <b>298</b> | <b>303</b> | <b>308</b> | <b>313</b> | <b>318</b> | <b>323</b> | <b>333</b> | <b>338</b> | <b>343</b> |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b><math>c</math>,<br/>Дж/(кг·К)</b> | 4606       | 4648       | 4740       | 5150       | 5887       | 6029       | 6113       | 5619       | 5175       | 2914       | 2416       | 2366       |

Таблиця 7.16

**Теплопровідність жиру баранячого**

| <b><math>T</math>,К</b>               | <b>254</b> | <b>254</b> | <b>265</b> | <b>275</b> | <b>289</b> | <b>289</b> | <b>297</b> | <b>298</b> | <b>298</b> | <b>311</b> |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b><math>\lambda</math>, Вт/(м·К)</b> | 0,268      | 0,330      | 0,287      | 0,217      | 0,209      | 0,260      | 0,190      | 0,132      | 0,221      | 0,190      |

Теплопровідність жиру баранячого в період плавлення в два рази більша, ніж в твердому стані. Енергетична цінність топленого жиру баранячого 375,3 кДж/кг.

**7.2.3. Олії копитна і кісткова**

**Копитна олія.** Густина олії копитної рівна: при  $T = 288\text{К} - 914 - 919$ , при  $T - 323 \text{ К} - 892 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Значення ентальпії олії копитної наведена в таблиці 7.17.

## Ентальпія в кДж/кг жиру копитного

| <i>T, К</i> | <i>h</i> | <i>T, К</i> | <i>h</i> | <i>T, К</i> | <i>h</i> | <i>T, К</i> | <i>h</i> | <i>T, К</i> | <i>h</i> |
|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
| 223         | 0        | 248         | 41,41    | 273         | 124,14   | 298         | 210,69   | 323         | 260,93   |
| 228         | 7,75     | 253         | 50,66    | 278         | 150,44   | 303         | 220,60   | 328         | 271,15   |
| 233         | 15,78    | 258         | 62,63    | 283         | 179,58   | 308         | 230,66   |             |          |
| 238         | 24,12    | 263         | 77,84    | 288         | 190,76   | 313         | 240,71   |             |          |
| 243         | 32,62    | 268         | 103,13   | 293         | 200,72   | 318         | 249,46   |             |          |

**Кістковий жир.** Густина в кг/м<sup>3</sup> жирів кісткових при атмосферному тиску :

жир яловичої кістки при  $333 < T < 473\text{К}$

$$\rho = 1101,4 - 0,646 \cdot T \quad (7.60)$$

жир свинячої кістки

$$\rho = 1093,5 - 0,615 \cdot T \quad (7.61)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) олій кісткових

при  $323 < T < 474\text{ К}$  для олії свинячої кістки

$$c = 1419 + 2,87 \cdot T \quad (7.62)$$

при  $327 < T < 473\text{ К}$  для олії яловичої кістки

$$c = 1324 + 2,95 \cdot T \quad (7.63)$$

Таблиця 7.18

## Теплофізичні характеристики олії свинячої кістки при атмосферному тиску

| ТФХ                                | Температура, К |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | 317            | 342   | 371   | 412   | 441   | 473   |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,168          | 0,162 | 0,157 | 0,148 | 0,142 | 0,135 |
|                                    | 0,162          | 0,158 | 0,154 | 0,148 | 0,144 | 0,139 |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 8,02           | 7,62  | 7,17  | 6,77  | 6,43  | 6,04  |
|                                    | 7,78           | 7,47  | 7,30  | 6,78  | 6,53  | 6,26  |

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) олій кісткових

олія яловичої кістки при  $333 < T < 473\text{ К}$

$$c\rho = 1458 + 2,395 \cdot T - 0,00191 \cdot T^2 \quad (7.64)$$

олія свинячої кістки при  $333 < T < 473\text{К}$

$$c\rho = 1552 + 2,265T - 0,001765 \cdot T^2 \quad (7.65)$$

#### 7.2.4. Жир свинячий

Густина в  $\text{кг/м}^3$  шпика при  $77 < T < 273 \text{ К}$

$$\rho = 1052 - 0,377 \cdot T \quad (7.66)$$

Таблиця 7.19

#### Густина жиру свинячого

| <b>T, К</b>           | <b>288</b> | <b>293</b> | <b>304</b> | <b>323</b> | <b>373</b> |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $\rho, \text{кг/м}^3$ | 915 – 938  | 910 – 916  | 900        | 890 – 889  | 865        |

Для подрібненого шпика ( $W = 0,137$ ) з додаванням повареної солі при  $293 < T < 313 \text{ К}$

$$\rho = 1765 - 2,80 \cdot T + 0,035 \cdot (T - 273)^2 \quad (7.67)$$

при  $313 < T < 353 \text{ К}$

$$\rho = -205 + 3,92 \cdot T - 0,049 \cdot (T - 273)^2 \quad (7.68)$$

для подрібненого шпика ( $W = 0,136$ )

при  $333 < T < 353$

$$\rho = 1642 - 2,21 \cdot T \quad (7.69)$$

при  $283 < T < 333$

$$\rho = 1133 - 0,63 \cdot T \quad (7.70)$$

Значення густини шпика, що вираховані за формулами, різняться до 6,5%.

Таблиця 7.20

#### Ентальпія в $\text{кДж/кг}$ шпика ( $W = 0,033$ ; $Z = 0,946$ )

| <b>T, К</b> | <b>h</b> | <b>T, К</b> | <b>h</b> | <b>T, К</b> | <b>h</b> | <b>T, К</b> | <b>h</b> |
|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
| 223         | 0        | 263         | 81,5     | 288         | 184,0    | 313         | 272,8    |
| 233         | 14,9     | 268         | 96,8     | 293         | 195,3    | 318         | 286,6    |
| 243         | 31,5     | 273         | 115,0    | 298         | 222,5    | 323         | 300,4    |
| 248         | 42,0     | 278         | 129,9    | 303         | 239,3    | 333         | 322,6    |
| 253         | 56,2     | 283         | 162,3    | 308         | 260,4    | 343         | 344,9    |
| 258         | 68,3     | –           | –        | –           | –        | 353         | 367,7    |

Таблиця 7.21

Теплофізичні характеристики шпика ( $W = 0,031$ ) при  $T \leq 273$  К

| ТФХ                                | Температура, К |       |        |       |       |       |       |
|------------------------------------|----------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | 273            | 268   | 263    | 258   | 253   | 248   | 243   |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,186          | 0,227 | 0,2535 | 0,274 | 0,291 | 0,305 | 0,316 |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 4,4            | 5,0   | 6,4    | 7,8   | 8,9   | 10,3  | 11,7  |
| $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)  | 4689           | 4689  | 4187   | 3810  | 3433  | 3140  | –     |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>         | 901            | 968   | 946    | 922   | 952   | 943   | –     |

Зі збільшенням масової частки вологи в шпику його теплопровідність збільшується. Так, при  $T = 303$ К і  $W = 0,031$  і  $0,137$  теплопровідність відповідно дорівнює  $0,186$  і  $0,290$ . В процесі нагрівання шпика від  $293$  до  $353$  К в герметичному патроні його теплопровідність і температуропровідність збільшується з підвищенням температури і швидкості руху обігрівуючого повітря.

Таблиця 7.22

## Теплофізичні характеристики шпика

| $T_{нов}$ , К<br>( $v_{нов} = 2,8$ м/с) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | $v_{нов}$ , м/с<br>( $T_{нов} = 387$ К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|---|----------------------|------------------------------------|---|----------------------|------------------------------------|
| 353                                     | 0,17                 | 7,0                                | 1,33                                    | 0,16                 | 7,3                                |
| 387                                     | 0,18                 | 7,7                                | 2,80                                    | 0,18                 | 7,7                                |
| 401                                     | 0,22                 | 8,9                                | 4,28                                    | 0,20                 | 8,2                                |

Густина в кг/м<sup>3</sup> жиру топленого  
при  $323 < T < 373$  К

$$\rho = 1069 - 0,555 \cdot T \quad (7.71)$$

Значення теплоємності жиру топленого наступні: при  $W = 0,007 - 2512$ , Дж/(кг·К), а при температурі нижче температури плавлення –  $1591$ , при  $W = 0,007 - 1675$  Дж/(кг·К).

Значення ентальпії жиру топленого наведені в таблиці 7.23.

Теплоємність в Дж/(кг·К) рідкого жиру топленого :

$$c = -975 + 9,3 \cdot T \quad (7.72)$$

Об'ємна теплоємність жиру топленого при  $T = 273, 279, 293$  і  $333$  К



відповідно складає 2000, 11900, 4000 і 2000 кДж/(м<sup>3</sup>·К).

Таблиця 7.23

### Ентальпія жиру топленого

| Вироб –<br>ництво | Температура, К |      |       |      |      |       |       |       |       |       |
|-------------------|----------------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                   | 223            | 233  | 243   | 253  | 263  | 273   | 283   | 293   | 303   | 313   |
| ФРН               | 0              | 14,0 | 28,81 | 45,0 | 65,7 | 96,3  | 139,0 | 165,8 | 209,3 | 252,5 |
| США               | 0              | 14,4 | 30,0  | 49,0 | 75,7 | 113,9 | 160,7 | 188,2 | 231,2 | 256,9 |

Теплопровідність в Вт/(м·К) жиру топленого

при  $77 < T < 323$  К

$$\lambda = 0,65 - 0,0015 \cdot T \quad (7.73)$$

при  $323 < T < 373$  К

$$\lambda = 0,031 + 0,00040 \cdot T \quad (7.74)$$

Енергетична цінність жиру свинячого топленого 375,3; шпику без шкурки 351,0; шпика солоного без шкурки 341,4 кДж/кг.

## 7.3. Жирові продукти

### 7.3.1. Саломас

Густина саломасів в рідкому і твердому вигляді менше густини масел, з яких вони виготовлені.

Коефіцієнт об'ємного теплового розширення саломасів в інтервалі температур 253 – 423 К дорівнює: для технічної і олії соняшникової –  $0,760 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ , для харчових із соняшникової і бавовняної олії –  $0,725 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

Густина харчових саломасів в кг/м<sup>3</sup>:

із олії соняшникової при  $273 < T < 423$  К

$$\rho = 1111 - 0,68 \cdot T \quad (7.75)$$

із олії соняшникової при  $333 < T < 473$  К

$$\rho = 1100 - 0,63 \cdot T \quad (7.76)$$

із олії бавовняної при  $273 < T < 423$  К

$$\rho = 1109 - 0,68 \cdot T \quad (7.77)$$

Залежність густини саломасу із олії арахісової від температури до йодного

числа описується формулою

$$\rho = 1090 + 0,15 \cdot \text{Й.ч.} - 0,646 \cdot T \quad (7.78)$$

Густина харчового саломасу із олії соняшникової при різних значеннях температури і тиску

$$\rho = 1101 - 0,84 \cdot p - 0,634 \cdot T + 0,0040 \cdot T \cdot p \quad (7.79)$$

Теплоємність саломасів в твердому стані менше теплоємності олії, з якої він виготовлений, а в рідкому – більше. Різниця між значеннями теплоємності олії і саломасу тим помітніше, чим більша його гідратація.

Таблиця 7.24

**Кінематична в'язкість саломаса технічного із олії соняшникової.**

| $t, ^\circ\text{C}$            | 40   | 60   | 80   | 100 | 150 |
|--------------------------------|------|------|------|-----|-----|
| $\nu \cdot 10^6 \text{ м/с}^2$ | 46,9 | 26,6 | 14,9 | 9,7 | 4,5 |

Таблиця 7.25

**Теплоємність в Дж/(кг·К) олій і харчових саломасів**

| Фізичний стан продукту | T, К | Хімічна обробка    | Вид олії і саломасу |           |           |             |
|------------------------|------|--------------------|---------------------|-----------|-----------|-------------|
|                        |      |                    | льняна              | бавовняна | арахісова | соняшникова |
| Твердий                | 200  | Негідрована        | –                   | 1325      | 1515      | –           |
| Рідкий                 | 343  |                    | 2110                | 2112      | 2174      | 2081        |
| Твердий                | 200  | Гідрована          | –                   | 1226      | 1364      | –           |
| Рідкий                 | 343  |                    | 2152                | 2150      | 2317      | 2290        |
| Твердий                | 200  | Високо – гідрована | –                   | 1173      | –         | –           |
| Рідкий                 | 343  |                    | 2194                | 2202      | –         | –           |

Йодне число з точністю до 5% не впливає на питому теплоємність саломасів.

Теплоємність в Дж/(кг·К) саломасу із гідрованої олії арахісової при  $84 < T < 230 \text{ К}$

$$c = 32 + 6,66 \cdot T \quad (7.80)$$

при  $320 < T < 350 \text{ К}$

$$c = 636 + 4,90 \cdot T \quad (7.81)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) саломасів із гідрованої і високогідрованої олії бавовняної з точністю до 4,9%

при  $193 < T < 253 \text{ K}$

$$c = -7 + 5,90 \cdot T \quad (7.82)$$

при  $333 < T < 423 \text{ K}$

$$c = 1151 + 2,97 \cdot T \quad (7.83)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) харчового і технічного саломасів із олії соняшникової і харчового саломасу з льняної олії

при  $333 < T < 423 \text{ K}$

$$c = 1280 + 2,96 \cdot T \quad (7.84)$$

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) саломаса із харчової олії соняшникової

при  $328 < T < 473 \text{ K}$

$$c_p = 1414 + 2,43 \cdot T - 0,0019 \cdot T^2 \quad (7.85)$$

Теплопровідність саломасів із соняшникової олії рекомендують визначати з рівняння:

$$\lambda = D \cdot \rho^{4/3} \quad (7.86)$$

Необхідні для цього значення постійних  $D$  рівні: для саломаса технічного –  $0,190 \cdot 10^{-4}$ , для саломаса харчового:

при  $0,10 < p < 49,1$

$$D \cdot 10^4 = 0,166 + 0,000265 \cdot p \quad (7.87)$$

Температуропровідність для саломасу технічного із олії соняшникової

при  $253 < T < 423 \text{ K}$

$$a = 1,82 \cdot 10^{-4} / (415 + 5,156 \cdot T) \quad (7.88)$$

### 7.3.2. Маргарин

Густина жирової основи маргарину помітно менша, ніж його водно – молочної фази, а густина маргаринової емульсії ближче до густини жирової основи, ніж до густини водно – молочної фази. Це пояснюється тим, що масова частка жирової основи маргаринової емульсії, складає 0,82, а водно – молочної фази – тільки 0,18.

Густина маргаринів в кг/м<sup>3</sup> при  $278 < T < 298 \text{ K}$ :

$$\text{тваринного} \quad \rho = 1347 - 1,50 \cdot T \quad (7.89)$$

$$\text{безмолочного} \quad \rho = 1307 - 1,30 \cdot T \quad (7.90)$$

$$\text{вершкового} \quad \rho = 1377 - 1,60 \cdot T \quad (7.91)$$

Таблиця 7.26

**Теплофізичні характеристики столового маргарину**

| <i>T</i> , К | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | <i>c</i> , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|--------------|----------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|
| 268          | 933                        | 2901                 | 0,203                | 7,50                               |
| 288          | 930                        | 3182                 | 0,205                | 6,94                               |
| 308          | 910                        | 3328                 | 0,207                | 6,83                               |
| 332          | 902                        | 3337                 | 0,207                | 6,88                               |

Теплоємність в Дж/(кг·К) маргаринів:

тваринний маргарин при  $278 < T < 298$  К

$$c = 8679 - 20,98 \cdot T \quad (7.92)$$

вершковий маргарин при  $293 < T < 305$  К

$$c = -5821 + 26,9 \cdot T \quad (7.93)$$

Таблиця 7.27

**Теплофізичні характеристики вершкового маргарину**

| ТФХ                                | Температура, К |       |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------------------------|----------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                    | 293            | 295   | 297    | 298    | 299    | 300    | 301    | 302    | 305    |
| <i>c</i> , Дж/(кг·К)               | 2061           | 2114  | 2166   | 2198   | 2227   | 2250   | 2275   | 2305   | 2384   |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,1615         | 0,165 | 0,1685 | 0,1702 | 0,1702 | 0,1725 | 0,1728 | 0,1732 | 0,1790 |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 8,50           | 8,49  | 8,47   | 8,43   | 8,42   | 8,37   | 8,29   | 8,16   | 8,23   |

Таблиця 7.28

**Теплоємність в Дж/(кг·К) твердого маргарину**

| Маргарин    | Температура, К |      |      |      |      |
|-------------|----------------|------|------|------|------|
|             | 278            | 283  | 288  | 293  | 298  |
| Тваринний   | 2847           | 2763 | 2638 | 2512 | 2428 |
| Безмолочний | 2847           | 2721 | 2596 | 2470 | 2345 |
| Вершковий   | 2638           | 2554 | 2428 | 2308 | 2177 |

Теплоємність рідкої маргаринової емульсії при температурі 313 – 323 К дорівнює: для тваринної – 2052, для без молочної – 1842, для вершкової –

1633 Дж/(кг·К), а в інтервалі температур 313 – 353 К теплоємність маргаринової емульсії стала і дорівнює 2093 Дж/(кг·К).

Таблиця 7.29

**Теплопровідність молочного маргарину ( $\rho = 925 \text{ кг/м}^3$ )**

| <b><math>T, \text{ К}</math></b>              | <b>243</b> | <b>253</b> | <b>263</b> | <b>273</b> | <b>283</b> | <b>293</b> |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b><math>\lambda, \text{ Вт/(м·К)}</math></b> | 0,24       | 0,225      | 0,21       | 0,21       | 0,22       | 0,23       |

Теплопровідність в Вт/(м·К) вершкового маргарину при  $293 < T < 305 \text{ К}$

$$\lambda = (-0,37 + 0,0018 \cdot T) \cdot (1165 - 0,83)^{4/3} \cdot 10^{-4} \quad (7.94)$$

Температуропровідність вершкового маргарину при  $293 < T < 305 \text{ К}$

$$a \cdot 10^8 = 2,778 \cdot (2,65 - 0,02 \cdot (t - 20)) \quad (7.95)$$

Таблиця 7.30

**Енергетична цінність маргаринів**

| <b>Маргарин</b>             | <b><math>E_c, \text{ кДж/кг}</math></b> |
|-----------------------------|---|
| Безмолочний                 | 311,3                                   |
| Молочний                    | 312,1                                   |
| Вершковий                   | 312,1                                   |
| Бутербродний «Слав'янський» | 311,7                                   |
| Бутербродний «Екстра»       | 311,3                                   |
| «Ера»                       | 310,9                                   |
| «Шоколадний»                | 266,5                                   |

**7.3.3. Жири кулінарні**

Жир «Прима». Густина жиру «Прима» з підвищенням тиску і зменшенням температури збільшується.

при  $333 < T < 453 \text{ К}$  при  $p = 0,1 \text{ МПа}$

$$\rho = 1099 - 0,65 \cdot T \quad (7.96)$$

при  $p = 10 \text{ МПа}$

$$\rho = 1093 - 0,61 \cdot T \quad (7.97)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) жиру «Прима» зі збільшенням тривалості нагрівання зростає

при  $0,1 < p < 50 \text{ МПа}$ ,  $0 < \tau < 20 \text{ год.}$  і  $T = 448 \text{ К}$

$$\lambda = 0,13 + 0,0005 \cdot p + 0,0005 \cdot \tau \quad (7.98)$$

Таблиця 7.31

## Теплоємність в Дж/(кг·К) жиру «Прима»

| T, К      | Тривалість нагрівання, год. |      |      |      |      |      |
|-----------|-----------------------------|------|------|------|------|------|
|           | 0                           | 5    | 10   | 13   | 16   | 20   |
| 328 – 330 | 2118                        | 2142 | 2165 | 2184 | 2193 | 2214 |
| 352 – 354 | 2193                        | 2216 | 2242 | 2253 | 2272 | 2290 |
| 374 – 375 | 2247                        | 2273 | 2305 | 2327 | 2348 | 2358 |
| 397 – 399 | 2315                        | 2346 | 2381 | 2402 | 2420 | 2446 |
| 423 – 424 | 2401                        | 2433 | 2465 | 2482 | 2503 | 2530 |
| 447 – 479 | 2470                        | 2505 | 2533 | 2560 | 2581 | 2612 |
| 472 – 473 | 2536                        | 2572 | 2515 | 2638 | 2654 | 2689 |

Жир «Білоруський». Густина жиру «Білоруський» з підвищенням тривалості його нагрівання збільшується

при  $T = 453 \text{ К}$  і  $0 < \tau < 30$  год.

$$\rho = 760 + 0,7 \cdot \tau \quad (7.99)$$

Таблиця 7.32

Густина в кг/м<sup>3</sup> жиру «Білоруський»

| $\rho$ , кПа | Температура, К |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|              | 333            | 353 | 373 | 393 | 413 | 433 | 453 | 473 |
| 35           | 830            | 820 | 810 | 800 | 780 | 760 | 750 | 730 |
| 8            | 820            | 810 | 800 | 790 | 770 | 760 | 740 | 720 |

Теплоємність жиру «Білоруський» при  $T = 453 \text{ К}$  і  $0 < \tau < 30$  год.

$$c = 2554 - 20,43 \cdot \tau \quad (7.100)$$

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) жиру «Білоруський»:

при  $T = 453 \text{ К}$  і  $0 < \tau < 30$  год.

$$c\rho = 1941 - 13,740\tau - 0,014\tau^2 \quad (7.101)$$

Таблиця 7.33

## Формули для визначення теплоємності в Дж/(кг·К) жиру «Білоруський» при нагріванні від 353 до 453 К

| $\tau$ , год. | $c = f(T)$                | $\tau$ , год. | $c = f(T)$               |
|---------------|---------------------------|---------------|--------------------------|
| 0             | $c = 1227 + 2,39 \cdot T$ | 20            | $c = 956 + 2,51 \cdot T$ |
| 10            | $c = 1143 + 2,39 \cdot T$ | 30            | $c = 979 + 2,09 \cdot T$ |

Теплопровідність в Вт/(м·К) жиру «Білоруський» при  $313 < T < 473$  К

$$\lambda = 0,2087 \cdot 10^{-4} \rho^{4/3} \quad (7.102)$$

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с жиру «Білоруський»

$$a \cdot 10^8 = 0,2087 \cdot 10^{-4} \cdot \rho^{1/3} / c \quad (7.103)$$

$$a \cdot 10^8 = 0,2087 \cdot 10^{-4} (760 + 0,7 \cdot \tau)^{1/3} / c \quad (7.104)$$

Жир «Український». Формули для визначення густини в кг/м<sup>3</sup> даного жиру в залежності від тривалості нагрівання при температурі 453 К мають вигляд:

при  $p = 8,0$  кПа

$$\rho = 710 + 2,17 \cdot \tau \quad (7.105)$$

при  $p = 34,7$  кПа

$$\rho = 720 + 2,00 \cdot \tau \quad (7.106)$$

при  $p = 101,3$  кПа

$$\rho = 730 + 1,80 \cdot \tau. \quad (7.107)$$

Таблиця 7.34

**Теплоємність жиру «Український»  
в інтервалі температур 353 – 453 К в залежності від тривалості нагрівання**

| <b>τ, год.</b> | <b>Формула</b>            | <b>τ, год.</b> | <b>Формула</b>            |
|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|
| 0              | $c = 1249 + 2,51 \cdot T$ | 20             | $c = 1020 + 2,09 \cdot T$ |
| 10             | $c = 1230 + 2,09 \cdot T$ | 30             | $c = 726 + 2,09 \cdot T$  |

Теплопровідність в Вт/(м·К) жиру «Український» при  $0 < \tau < 30$  год. і  $T = 453$  К

$$\lambda = (0,226 - 0,0003\tau) \cdot 10^{-4} \cdot \rho^{4/3} \quad (7.108)$$

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с жиру «Український» при  $353 < T < 433$  К і  $\tau = 0$

$$a = 0,209 \cdot 10^{-4} \cdot \rho^{1/3} / (1249 + 2,51 \cdot T) \quad (7.109)$$

Енергетична цінність кулінарних та кондитерських жирів однакова і в середньому складає 375,3 кДж/кг.

**РОЗДІЛ 8. ВИНОРОБНА, ПИВОВАРНА ТА СПИРТОВА  
ПРОМИСЛОВІСТЬ**

**8.1. Виноробство**

Таблиця 8.1

**Залежність густини і теплоємності вина від температури**

| $t, ^\circ\text{C}$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ |
|---------------------|-----------------------|---|-----------------------|---|
| Сухе                |                       |   | Кріплене              |   |
| -5                  | 996                   | -                                       | 1036                  | 3625,7                                  |
| 0                   | 996                   | 3881,2                                  | 1034                  | 3680,2                                  |
| 3                   | 996                   | 3826,7                                  | 1032                  | 3713,7                                  |
| 10                  | 995                   | 3784,8                                  | 1030                  | 3726,2                                  |
| 15                  | 994                   | 3759,7                                  | 1028                  | 3726,2                                  |
| 20                  | 993                   | 3734,6                                  | 1025                  | 3726,2                                  |
| 25                  | 992                   | 3717,8                                  | 1022                  | 3726,2                                  |
| 30                  | 991                   | 3709,5                                  | 1020                  | 3726,2                                  |
| 35                  | 989                   | 3709,5                                  | 1017                  | 3726,2                                  |
| 40                  | 986                   | 3709,5                                  | 1014                  | 3726,2                                  |
| 45                  | 984                   | 3726,2                                  | 1011                  | 3726,2                                  |
| 50                  | 981                   | 3738,8                                  | 1008                  | 3726,2                                  |
| 55                  | 981                   | 3755,5                                  | 1005                  | 3726,2                                  |
| 60                  | 975                   | 3789,1                                  | 1002                  | 3726,2                                  |
| Фруктове            |                       |   | Білий мускат          |   |
| -5                  | 1019                  | 3969,1                                  | 1093                  | 3562,9                                  |
| 0                   | 1018                  | 4055,9                                  | 1092                  | 3600,6                                  |
| 3                   | 1017                  | 4090,5                                  | 1091                  | 3609                                    |
| 10                  | 1015                  | 4094,6                                  | 1089                  | 3609                                    |
| 15                  | 1014                  | 4094,6                                  | 1088                  | 3609                                    |
| 20                  | 1012                  | 4094,6                                  | 1086                  | 3609                                    |
| 25                  | 1010                  | 4094,6                                  | 1084                  | 3609                                    |
| 30                  | 1008                  | 4094,6                                  | 1082                  | 3609                                    |
| 35                  | 1005                  | 4094,6                                  | 1080                  | 3609                                    |
| 40                  | 1003                  | 4094,6                                  | 1077                  | 3609                                    |
| 45                  | 1000                  | 4094,6                                  | 1074                  | 3609                                    |
| 50                  | 998                   | 4094,6                                  | 1071                  | 3609                                    |
| 55                  | 995                   | 4094,6                                  | 1068                  | 3609                                    |
| 60                  | 993                   | 4094,6                                  | 1065                  | 3609                                    |



Таблиця 8.2

**Залежність теплопровідності і температуропровідності вина  
від температури**

| $t, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$ |
|---------------------|--|------------------------------------|--|------------------------------------|
| Сухе                |  |                                    | Кріплене                                     |                                    |
| -10                 | –  | –                                  | 0,330  | 0,0902                             |
| -5                  | 0,409  | –                                  | 0,350  | 0,0933                             |
| 0                   | 0,424  | 0,1100                             | 0,367  | 0,0969                             |
| 5                   | 0,443  | 0,1163                             | 0,381  | 0,0997                             |
| 10                  | 0,461  | 0,1227                             | 0,393  | 0,1026                             |
| 15                  | 0,479  | 0,1283                             | 0,401  | 0,1047                             |
| 20                  | 0,494  | 0,1330                             | 0,408  | 0,1069                             |
| 25                  | 0,508  | 0,1380                             | 0,414  | 0,1088                             |
| 30                  | 0,521  | 0,1416                             | 0,416  | 0,1097                             |
| 35                  | 0,531  | 0,1447                             | 0,417  | 0,1105                             |
| 40                  | 0,539  | 0,1472                             | 0,419  | 0,1113                             |
| 45                  | 0,546  | 0,1488                             | 0,420  | 0,1119                             |
| 50                  | 0,551  | 0,1502                             | 0,421  | 0,1126                             |
| 55                  | 0,556  | 0,1516                             | 0,422  | 0,1130                             |
| 60                  | 0,558  | 0,1519                             | 0,423  | 0,1133                             |
| Фруктове            |  |                                    | Білий мускат                                 |                                    |
| -10                 | 0,314  | –                                  | 0,337  | 0,0890                             |
| -5                  | 0,326  | 0,0805                             | 0,345  | 0,0890                             |
| 0                   | 0,337  | 0,0816                             | 0,355  | 0,0902                             |
| 5                   | 0,349  | 0,0838                             | 0,364  | 0,0928                             |
| 10                  | 0,360  | 0,0866                             | 0,373  | 0,0956                             |
| 15                  | 0,372  | 0,0894                             | 0,383  | 0,0978                             |
| 20                  | 0,384  | 0,0927                             | 0,392  | 0,1000                             |
| 25                  | 0,395  | 0,0958                             | 0,401  | 0,1027                             |
| 30                  | 0,407  | 0,0986                             | 0,416  | 0,1059                             |
| 35                  | 0,419  | 0,1019                             | 0,421  | 0,1080                             |
| 40                  | 0,430  | 0,1047                             | 0,430  | 0,1108                             |
| 45                  | 0,442  | 0,1080                             | 0,439  | 0,1138                             |
| 50                  | 0,453  | 0,1111                             | 0,448  | 0,1161                             |
| 55                  | 0,465  | 0,1144                             | 0,459  | 0,1188                             |
| 60                  | 0,477  | 0,1175                             | 0,474  | 0,1219                             |

Таблиця 8.3

## Залежність в'язкості вина від температури

| $t, ^\circ\text{C}$ | $\mu \cdot 10^4, \text{Па}\cdot\text{с}$ | $\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$ | $\mu \cdot 10^4, \text{Па}\cdot\text{с}$ | $\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$ |
|---------------------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Сухе                |  |                                       | Кріплене                                 |                                       |
| -10                 | –  | –                                     | 85,81                                    | 8,29                                  |
| -5                  | 36,28                                    | 3,65                                  | 6865                                     | 6,63                                  |
| 0                   | 29,91                                    | 3,01                                  | 54,33                                    | 5,26                                  |
| 5                   | 24,51                                    | 3,47                                  | 42,85                                    | 4,15                                  |
| 10                  | 20,29                                    | 2,04                                  | 34,32                                    | 3,34                                  |
| 15                  | 17,16                                    | 1,73                                  | 27,65                                    | 2,67                                  |
| 20                  | 15,10                                    | 1,52                                  | 23,53                                    | 2,30                                  |
| 25                  | 13,43                                    | 1,35                                  | 19,81                                    | 1,94                                  |
| 30                  | 12,26                                    | 1,23                                  | 17,16                                    | 1,68                                  |
| 35                  | 11,28                                    | 1,14                                  | 14,71                                    | 1,45                                  |
| 40                  | 10,30                                    | 1,04                                  | 13,04                                    | 1,29                                  |
| 45                  | 9,80                                     | 1,00                                  | 11,77                                    | 1,16                                  |
| 50                  | 9,32                                     | 0,95                                  | 10,79                                    | 1,07                                  |
| 55                  | 9,02                                     | 0,92                                  | 10,30                                    | 1,03                                  |
| 60                  | 8,82                                     | 0,90                                  | 10,30                                    | 1,03                                  |
| Фруктове            |  |                                       | Білий мускат                             |                                       |
| -10                 | 71,10                                    | 6,99                                  | 124,05                                   | 11,32                                 |
| -5                  | 68,65                                    | 5,70                                  | 93,85                                    | 8,60                                  |
| 0                   | 46,48                                    | 4,58                                  | 73,55                                    | 6,75                                  |
| 5                   | 36,97                                    | 3,64                                  | 58,05                                    | 5,32                                  |
| 10                  | 29,51                                    | 2,90                                  | 47,07                                    | 4,33                                  |
| 15                  | 24,12                                    | 2,38                                  | 38,24                                    | 3,52                                  |
| 20                  | 20,79                                    | 2,04                                  | 31,28                                    | 2,88                                  |
| 25                  | 17,65                                    | 1,75                                  | 25,99                                    | 2,40                                  |
| 30                  | 17,30                                    | 1,51                                  | 22,75                                    | 2,10                                  |
| 35                  | 13,24                                    | 1,32                                  | 19,81                                    | 1,84                                  |
| 40                  | 12,06                                    | 1,20                                  | 17,55                                    | 1,64                                  |
| 45                  | 10,88                                    | 1,10                                  | 15,69                                    | 1,46                                  |
| 50                  | 10,69                                    | 1,08                                  | 14,41                                    | 1,34                                  |
| 55                  | 10,49                                    | 1,06                                  | 13,73                                    | 1,28                                  |
| 60                  | 10,30                                    | 1,04                                  | 13,43                                    | 1,26                                  |

Таблиця 8.4

## Температура замерзання та густина вина

| Сорт вина                                | $t_{зам}$ , °С | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> |
|--|----------------|----------------------------|
| Вина південного берегу Криму, «Масандра» |                |                            |
| «Бордо Ай–Даніль»                        | –5,8           | 994                        |
| «Аліготе Ай–Даніль»                      | –5             | 992,5                      |
| Портвейн білий «Алупка»                  | –12            | 1022,7                     |
| Кагор «Аю–Даг»                           | –12            | 1059,7                     |
| Мадера «Масандра»                        | –11            | 1001,9                     |
| Мускат «Масандра»                        | –12,4          | 1084,9                     |
| Вина Вірменії, «Арарат»                  |                |                            |
| «Біле столове»                           | –5,1           | 992                        |
| «Біле Васкеваз»                          | –6,55          | 996,4                      |
| «Біле столове Агавпатун»                 | –8,1           | 994,7                      |
| «Рожеве Камарлинське»                    | –6,0           | 933,2                      |
| Мадера(врожай 1939р.)                    | –12,0          | 1014,2                     |
| Портвейн «Айгешат»                       | –14,1          | 1026,2                     |
| Кагор                                    | –12,7          | 1055,8                     |
| «Мускат білий»                           | –14,2          | 1071,7                     |
| «Мускат рожевий»                         | –13,2          | 1071,2                     |
| Вина Узбекистану                         |                |                            |
| «Бахтіорі біле столове»                  | –5,4           | 991,5                      |
| «Портвейн білий столовий № 26»           | –11,2          | 1021,1                     |
| «Портвейн червоний № 54»                 | –9,8           | 1033,4                     |
| «Узбекистан»                             | –17,0          | 1085,6                     |
| «Буакі десертне»                         | –13,6          | 1058,2                     |
| Вина Туркменії                           |                |                            |
| «Мадера Ашхабадська»                     | –11,2          | 1016                       |
| «Портвейн білий»                         | –11,6          | 1023                       |
| «Ашхабадське крепке»                     | –11,2          | 1002,7                     |

## Температура замерзання вина і виноматеріалів

| <i>n</i> | <i>t</i> <sub>зам</sub> (в °С) при концентрації спирту, % об. |      |       |       |       |       |       |
|----------|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          | 7   | 8    | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    |
| 0        | -3,0  | -3,4 | -3,9  | -4,4  | -4,8  | -5,3  | -5,8  |
| 1        | -3,1  | -3,5 | -4,0  | -4,5  | -5,0  | -5,5  | -6,0  |
| 2        | -3,3  | -3,7 | -4,2  | -4,7  | -5,2  | -5,7  | -6,2  |
| 3        | -3,5  | -3,9 | -4,4  | -4,9  | -5,4  | -5,9  | -6,4  |
| 4        | -3,7  | -4,1 | -4,6  | -5,1  | -5,6  | -6,1  | -6,6  |
| 5        | -3,9  | -4,3 | -4,8  | -5,3  | -5,8  | -6,3  | -6,9  |
| 6        | -4,1  | -4,5 | -5,0  | -5,5  | -6,0  | -6,5  | -7,1  |
| 7        | -4,2  | -4,7 | -5,2  | -5,7  | -6,2  | -6,7  | -7,3  |
| 8        | -4,4  | -4,9 | -5,4  | -5,9  | -6,4  | -7,0  | -7,6  |
| 9        | -4,6  | -5,1 | -5,6  | -6,1  | -6,6  | -7,2  | -7,8  |
| 10       | -4,8  | -5,3 | -5,8  | -6,3  | -6,8  | -7,4  | -8,1  |
| 11       | -5,0  | -5,4 | -6,0  | -6,6  | -7,0  | -7,6  | -8,4  |
| 12       | -5,2  | -5,6 | -6,2  | -6,8  | -7,2  | -7,9  | -8,6  |
| 13       | -5,4  | -5,8 | -6,4  | -7,0  | -7,5  | -8,1  | -8,9  |
| 14       | -5,6  | -6,0 | -6,6  | -7,2  | -7,8  | -8,4  | -9,2  |
| 15       | -5,8  | -6,3 | -6,9  | -7,5  | -8,1  | -8,7  | -9,4  |
| 16       | -6,0  | -6,5 | -7,1  | -7,7  | -8,3  | -8,9  | -9,7  |
| 17       | -6,2  | -6,7 | -7,3  | -8,0  | -8,5  | -9,2  | -10,0 |
| 18       | -6,4  | -6,9 | -7,5  | -8,2  | -8,8  | -9,5  | -10,4 |
| 19       | -6,6  | -7,1 | -7,7  | -8,4  | -9,0  | -9,7  | -10,7 |
| 20       | -6,8  | -7,4 | -8,0  | -8,7  | -9,3  | -10   | -11,0 |
| 21       | -7,0  | -7,6 | -8,2  | -8,9  | -9,5  | -10,3 | -11,3 |
| 22       | -7,2  | -7,8 | -8,4  | -9,2  | -9,8  | -10,6 | -11,6 |
| 23       | -7,5  | -8,0 | -8,7  | -9,4  | -10,1 | -10,9 | -11,9 |
| 24       | -7,7  | -8,2 | -8,9  | -9,7  | -10,4 | -11,2 | -12,2 |
| 25       | -7,9  | -8,5 | -9,2  | -10,0 | -10,7 | -11,5 | -12,5 |
| 26       | -8,1  | -8,7 | -9,4  | -10,2 | -10,9 | -11,8 | -12,8 |
| 27       | -8,4  | -8,9 | -9,7  | -10,5 | -11,2 | -12,1 | -13,2 |
| 28       | -8,6  | -9,2 | -9,9  | -10,8 | -11,5 | -12,4 | -13,5 |
| 29       | -8,8  | -9,4 | -10,2 | -11,0 | -11,8 | -12,7 | -13,8 |
| 30       | -9,0  | -9,7 | -10,4 | -11,3 | -12,1 | -13,1 | -14,3 |

Продовження таблиці 8.5

| <i>n</i> | <i>t</i> <sub>зам</sub> (в °С) при концентрації спирту, % об. |       |       |       |       |       |       |
|----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          | 14  | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    |
| 0        | -6,3  | -6,8  | -7,3  | -7,8  | -8,4  | -8,9  | -9,4  |
| 1        | -6,5  | -7,0  | -7,5  | -8,2  | -8,7  | -9,3  | -9,8  |
| 2        | -6,7  | -7,3  | -7,8  | -8,5  | -9,1  | -9,7  | -10,3 |
| 3        | -7,0  | -7,5  | -8,1  | -8,8  | -9,5  | -10,2 | -10,9 |
| 4        | -7,2  | -7,8  | -8,4  | -9,1  | -9,9  | -10,6 | -11,5 |
| 5        | -7,5  | -8,0  | -8,7  | -9,5  | -10,3 | -11,1 | -12,0 |
| 6        | -7,7  | -8,3  | -9,0  | -9,9  | -10,7 | -11,6 | -12,6 |
| 7        | -7,9  | -8,6  | -9,4  | -10,3 | -11,1 | -12,1 | -13,1 |
| 8        | -8,2  | -8,9  | -9,7  | -10,6 | -11,5 | -12,6 | -13,7 |
| 9        | -8,4  | -9,2  | -10,0 | -11,0 | -12,0 | -13,1 | -14,3 |
| 10       | -8,7  | -9,5  | -10,4 | -11,4 | -12,4 | -13,6 | -14,9 |
| 11       | -9,0  | -9,8  | -10,7 | -11,8 | -12,9 | -14,1 | -15,5 |
| 12       | -9,3  | -10,1 | -11,1 | -12,2 | -13,4 | -14,6 | -16,1 |
| 13       | -9,6  | -10,4 | -11,4 | -12,6 | -13,9 | -15,1 | -16,8 |
| 14       | -9,9  | -10,8 | -11,8 | -13,0 | -14,3 | -15,7 | -17,4 |
| 15       | -10,2   | -11,1 | -12,2 | -13,4 | -14,8 | -16,3 | -18,1 |
| 16       | -10,5   | -11,5 | -12,6 | -13,8 | -15,3 | -16,9 | -18,8 |
| 17       | -10,8   | -11,8 | -13,0 | -14,3 | -15,8 | -17,5 | -19,5 |
| 18       | -11,1   | -12,1 | -13,4 | -14,8 | -16,3 | -18,1 | -20,2 |
| 19       | -11,5   | -12,5 | -13,8 | -15,3 | -16,8 | -18,7 | -20,9 |
| 20       | -11,9   | -12,9 | -14,2 | -15,8 | -17,4 | -19,3 | -21,6 |
| 21       | -12,2   | -13,2 | -14,6 | -16,2 | -17,9 | -19,9 | -22,3 |
| 22       | -12,6   | -13,6 | -15,0 | -16,7 | -18,5 | -20,6 | -23,1 |
| 23       | -12,9   | -14,0 | -15,4 | -17,2 | -19   | -21,3 | -23,8 |
| 24       | -13,3   | -14,4 | -15,8 | -17,7 | -19,6 | -21,9 | -24,6 |
| 25       | -13,7   | -14,9 | -16,3 | -18,2 | -20,2 | -22,6 | -25,4 |
| 26       | -14,1   | -15,3 | -16,8 | -18,7 | -20,8 | -23,3 | -26,2 |
| 27       | -14,4   | -15,7 | -17,3 | -19,3 | -21,4 | -24,0 | -27,1 |
| 28       | -14,8   | -16,2 | -17,8 | -19,8 | -22,0 | -24,7 | -27,9 |
| 29       | -15,2   | -16,6 | -18,3 | -20,4 | -22,6 | -25,1 | -28,7 |
| 30       | -15,6   | -17,1 | -18,8 | -21,0 | -23,3 | -25,4 | -29,5 |

Примітка. *n* – концентрація цукру, г/100мл.

Таблиця 8.6

## Енергетична цінність вин

| Сорт вина            | <i>E<sub>c</sub></i> ,<br>кДж/кг |
|----------------------|----------------------------------|
| Столове біле         | 27,2                             |
| Столове червоне      | 29,7                             |
| Шампанське напівсухе | 36,8                             |
| Портвейн білий       | 51,5                             |
| Десертне біле        | 64,0                             |

## 8.2. Пивоварне виробництво

Таблиця 8.7

## Залежність густини і в'язкості сусла і пива «Жигулівське» від температури

| Продукт   | <i>t</i> , °C | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $\mu \cdot 10^2$ , Па·с |
|---|---------------|----------------------------|-------------------------|
| Сусло не охмелене<br>(16,5% екстрактивних<br>речовин) | 20            | 1067,6                     | 0,2410                  |
|   | 40            | 1060,9                     | 0,1530                  |
|   | 60            | 1051,7                     | 0,1115                  |
|   | 70            | 1046,2                     | 0,0955                  |
|   | 75            | 1043,3                     | 0,0790                  |
| Сусло охмелене (11 %<br>екстрактивних речовин)        | 5             | 1046,4                     | 0,2890                  |
|   | 10            | 1046,1                     | 0,2520                  |
|   | 20            | 1044,1                     | 0,1860                  |
|   | 40            | 1037,8                     | 0,1196                  |
|   | 60            | 1028,8                     | 0,0895                  |
|   | 70            | 1023,6                     | 0,0769                  |
|   | 75            | 1022,6                     | 0,0721                  |
| Пиво (0,5% екстракту,<br>2,9 % спирту)                | 2             | 1018,6                     | 0,2816                  |
|   | 5             | 1018,6                     | 0,2410                  |
|   | 10            | 1018,4                     | 0,2010                  |
|   | 20            | 1016,9                     | 0,1451                  |
|   | 30            | 1014,4                     | 0,1180                  |
|   | 50            | 1008,4                     | 0,0780                  |
|   | 70            | 1000,1                     | 0,0520                  |
| 75  | 1000,1        | 0,0481                     |                         |

Таблиця 8.8

## Теплофізичні характеристики пива німецького виробництва

| $t$ ,<br>°C                        | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $c$ ,<br>Дж/(кг·К) | $a \cdot 10^6$ ,<br>м <sup>2</sup> /с | $\nu \cdot 10^6$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------------------------|---|
| 12,35% сухих речовин; 4,18% спирту |                               |                         |                    |                                       |   |
| 10                                 | 1030,1                        | 0,558                   | 4064               | 0,1313                                | 2,40                                    |
| 20                                 | 1028,6                        | 0,574                   | 4070               | 0,1371                                | 1,82                                    |
| 30                                 | 1026,0                        | 0,588                   | 4080               | 0,1406                                | 1,40                                    |
| 40                                 | 1022,4                        | 0,602                   | 4094               | 0,1438                                | 1,10                                    |
| 50                                 | 1018,1                        | 0,614                   | 4112               | 0,1467                                | 0,88                                    |
| 60                                 | 1013,1                        | 0,625                   | 4134               | 0,1493                                | 0,71                                    |
| 70                                 | 1007,6                        | 0,635                   | 4157               | 0,1516                                | 0,58                                    |
| 12% сухих речовин                  |                               |                         |                    |                                       |   |
| 10                                 | 1049,9                        | 0,551                   | 3988               | 0,1315                                | 2,78                                    |
| 20                                 | 1048,3                        | 0,566                   | 3992               | 0,1351                                | 2,11                                    |
| 30                                 | 1045,7                        | 0,580                   | 4003               | 0,13,86                               | 1,64                                    |
| 40                                 | 1042,0                        | 0,593                   | 4017               | 0,1417                                | 1,29                                    |
| 50                                 | 1037,6                        | 0,606                   | 4035               | 0,1446                                | 1,04                                    |
| 60                                 | 1031,6                        | 0,616                   | 4055               | 0,1472                                | 0,84                                    |
| 70                                 | 1026,9                        | 0,626                   | 4077               | 0,1496                                | 0,69                                    |

Таблиця 8.9

Залежність теплопровідності пива  
німецького виробництва від температури

| $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $t$ , °C |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                         | 10       | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    |
|                         | 0,558    | 0,574 | 0,588 | 0,602 | 0,614 | 0,625 | 0,635 |

Таблиця 8.10

Залежність в'язкості пива  
німецького виробництва від температури

| $\nu \cdot 10^6$ ,<br>м <sup>2</sup> /с | $t$ , °C |       |       |       |       |       |       |
|---|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | 10       | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    |
|   | 2,401    | 1,816 | 1,400 | 1,100 | 0,878 | 0,706 | 0,583 |

Таблиця 8.11

Поверхневий натяг  $\sigma$ , Н/м пивного суслу і пива німецького виробництва

| $t$ , °C | 10,15  | 20     | 29,41  | 38,95  | 48,54  | 57,61  | 64,99  |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Сусло    | 0,0422 | 0,0405 | 0,0391 | 0,0379 | 0,0370 | 0,0364 | 0,0360 |
| Пиво     | 0,0460 | 0,0454 | 0,0448 | 0,0443 | 0,0437 | 0,0433 | 0,0429 |

Таблиця 8.10

## Теплофізичні характеристики пива і напівфабрикатів

| Продукт                      | $t, ^\circ\text{C}$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $\mu\cdot 10^2, \text{Па}\cdot\text{с}$ |
|------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---|
| «Жигулівське»                |                     |                       |                                       |                                  |   |
| Сусло                        | 4                   | 1046,0                | 0,50                                  | 3810                             | 32,85                                   |
|                              |                     | 1040,3                | 0,58                                  | 3726                             | 15,49                                   |
|                              |                     | 1024,5                | 0,59                                  | 3475                             | 10,68                                   |
|                              |                     | 1031,2                | 0,52                                  | 3726                             | 24,71                                   |
| Продукт на 3-й день бродіння | 30                  | 1020                  | 0,53                                  | 3726                             | 27,26                                   |
| » на 6-й день                | 60                  | 1018,3                | 0,53                                  | 3810                             | 34,71                                   |
| » із лагерного підвалу       | 8,5                 | 1018,1                | 0,52                                  | 3768                             | 27,94                                   |
| » із розливу                 | 5,6                 | 1016,7                | 0,53                                  | 3852                             | 25,79                                   |
| «Московське»                 |                     |                       |                                       |                                  |   |
| Сусло                        | 7,0                 | 1055,2                | 0,50                                  | 3768                             | 31,67                                   |
|                              |                     | 1050,0                | 0,54                                  | 3684                             | 15,78                                   |
|                              |                     | 1037,5                | 0,56                                  | 3559                             | 10,19                                   |
|                              |                     | 1043,5                | 0,53                                  | 3726                             | 29,61                                   |
| Продукт на 3-й день бродіння | 2,0                 | 1021,0                | 0,47                                  | 3936                             | 28,63                                   |
| » на 7-й день –              | 1,0                 | 1018,8                | 0,50                                  | 3810                             | 33,14                                   |
| » із лагерного підвалу       | 6,0                 | 1018,5                | 0,50                                  | 3894                             | 27,06                                   |
| з розливу                    | 9,0                 | 1018,2                | 0,52                                  | 3894                             | 24,51                                   |

Таблиця 8.13

## Енергетична цінність пива, кДж/кг

| Пиво          | Ец   |
|---------------|------|
| Жигулівське   | 15,5 |
| Ризьке        | 17,2 |
| Московське    | 18,4 |
| Ленінградське | 28,0 |
| Українське    | 18,0 |
| Мартовське    | 20,5 |
| Портер        | 26,8 |
| Бархатне      | 17,2 |



## Теплофізичні характеристики продуктів пивоварного виробництва

| Продукт               | $t, ^\circ\text{C}$ | $\rho,$<br>кг/м <sup>3</sup> | $\lambda,$<br>Вт/(м·К) | $c,$<br>Дж/(кг·К) | $a \cdot 10^6,$<br>м <sup>2</sup> /с |
|-----------------------|---------------------|------------------------------|------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| «Ленінградське»       |                     |                              |                        |                   |                                      |
| Заторна маса          | 40                  | 1097                         | 0,410                  | 3580              | 0,1044                               |
|                       | 80                  | 1097                         | 0,456                  | 3647              | 0,1128                               |
| Сусло неохмелене      | 50                  | 1072                         | 0,560                  | 3672              | 0,1422                               |
|                       | 80                  | 1056                         | 0,583                  | 3726              | 0,1480                               |
| охмелене              | 50                  | 1072                         | 0,570                  | 3680              | 0,1443                               |
|                       | 80                  | 1056                         | 0,605                  | 3730              | 0,1536                               |
| Пиво готове           | 50                  | 1020                         | 0,550                  | 3860              | 0,1497                               |
|                       | 80                  | 1020                         | 0,579                  | 3873              | 0,1465                               |
| Пиво без вуглекислоти | 50                  | 1020                         | 0,573                  | 3860              | 0,1455                               |
|                       | 80                  | 1020                         | 0,613                  | 3889              | 0,1547                               |
| «Жигулівське»         |                     |                              |                        |                   |                                      |
| Заторна маса          | 20                  | 1081                         | 0,462                  | 3626              | 0,1175                               |
|                       | 50                  | 1081                         | 0,511                  | 3668              | 0,1569                               |
|                       | 70                  | 1081                         | 0,523                  | 3701              | 0,1330                               |
|                       | 80                  | 1081                         | 0,541                  | 3718              | 0,1342                               |
| Сусло неохмелене      | 50                  | 1077                         | 0,563                  | 3768              | 0,1389                               |
|                       | 80                  | 1058                         | 0,605                  | 3810              | 0,1500                               |
|                       | охмелене            | 50                           | 1048                   | 0,586             | 3915                                 |
| охмелене              | 60                  | 1040                         | 0,602                  | 3919              | 0,1478                               |
|                       | 70                  | 1039                         | 0,616                  | 3931              | 0,1519                               |
|                       | 80                  | 1020                         | 0,628                  | 3944              | 0,1561                               |
|                       | 90                  | 1015                         | 0,620                  | 3961              | 0,1544                               |
|                       | Пиво готове         | 50                           | 1008                   | 0,556             | 4007                                 |
| 60                    |                     | 1004                         | 0,569                  | 4011              | 0,1414                               |
| 70                    |                     | 1000                         | 0,584                  | 4019              | 0,1455                               |
| 80                    |                     | 1000                         | 0,593                  | 4023              | 0,1475                               |
| 90                    |                     | 1000                         | 0,597                  | 4028              | 0,1478                               |
| Пиво без вуглекислоти | 50                  | 1008                         | 0,597                  | 4007              | 0,1478                               |
|                       | 60                  | 1004                         | 0,612                  | 4011              | 0,1522                               |
|                       | 70                  | 1000                         | 0,619                  | 4019              | 0,1542                               |
|                       | 80                  | 1000                         | 0,636                  | 4023              | 0,1580                               |
|                       | 90                  | 1000                         | 0,640                  | 4028              | 0,1592                               |

Теплопровідність в Вт/(м·К) зеленого солоду при  $t = 25 - 65^\circ\text{C}$  і при  $W = 19\%$  можна обчислити за формулою:

$$\lambda = 0,073 + 0,0005 \cdot (t - 20) \pm 0,004 \quad (8.1)$$

а температуропровідність в м<sup>2</sup>/с становить:

$$a \cdot 10^8 = 0,06 \pm 0,017 \quad (8.2)$$

при  $W = 45 \%$  відповідно:

$$\lambda = 0,14 + 0,0013 \cdot (t - 20) \pm 0,06 \quad (8.3)$$

$$a \cdot 10^8 = 0,116 \pm 0,032 \quad (8.4)$$

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) при  $W = 19 - 45 \%$  обчислюється за формулою:

$$c\rho = 1,17 + 0,01 \cdot (t - 20) \pm 0,28 \quad (8.5)$$

### 8.3.Спиртове виробництво

Таблиця 8.15

**Теплопровідність водно-спиртових сумішей**

| Вміст спирту,<br>% мас. | $\lambda$ при температурі °С |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                         | 0                            | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 80    |
| 5                       | –                            | 0,502 | 0,565 | 0,582 | 0,594 | 0,607 | 0,623 | –     |
| 10                      | 0,504                        | 0,523 | 0,536 | 0,553 | 0,565 | 0,578 | 0,590 | 0,636 |
| 20                      | 0,447                        | 0,473 | 0,483 | 0,497 | 0,507 | 0,515 | 0,528 | 0,579 |
| 30                      | 0,401                        | 0,426 | 0,434 | 0,444 | 0,447 | 0,457 | 0,460 | 0,532 |
| 40                      | 0,348                        | 0,384 | 0,389 | 0,389 | 0,394 | 0,397 | 0,402 | 0,482 |
| 50                      | 0,293                        | 0,343 | 0,343 | 0,347 | 0,347 | 0,347 | 0,347 | 0,423 |
| 60                      | 0,251                        | 0,305 | 0,305 | 0,301 | 0,301 | 0,301 | 0,297 | 0,381 |
| 70                      | 0,215                        | 0,272 | 0,267 | 0,264 | 0,259 | 0,255 | 0,251 | 0,346 |
| 80                      | 0,190                        | 0,343 | 0,238 | 0,230 | 0,226 | 0,217 | 0,213 | 0,319 |
| 90                      | 0,186                        | 0,217 | 0,209 | 0,201 | 0,191 | 0,184 | 0,175 | 0,290 |
| 100                     | 0,159                        | 0,191 | 0,180 | 0,172 | 0,159 | 0,151 | 0,138 | 0,174 |

Таблиця 8.16

**Теплопровідність в Вт/(м·К) водно-спиртово-цукрових сумішей  
в залежності від температури, концентрації спирту  $z$  і цукрози  $x$**

| $t, ^\circ\text{C}$ | $\lambda$ при значеннях $z$ і $x$ (в %) |              |              |              |
|---------------------|---|--------------|--------------|--------------|
|                     | $z=38, x=5$                             | $z=20, x=20$ | $z=21, x=30$ | $z=24, x=40$ |
| 10                  | 0,403                                   | 0,457        | 0,417        | 0,347        |
| 20                  | 0,410                                   | 0,472        | 0,437        | 0,382        |
| 30                  | 0,423                                   | 0,474        | 0,451        | 0,392        |
| 40                  | 0,441                                   | 0,508        | 0,457        | 0,408        |

Таблиця 8.17

## Залежність густини водно-спиртової суміші від температури

| <i>n</i> ,<br>% об. | <i>ρ</i> ,<br>кг/м <sup>3</sup> | <i>n</i> ,<br>% об. | <i>ρ</i> ,<br>кг/м <sup>3</sup> | <i>n</i> ,<br>% об. | <i>ρ</i> ,<br>кг/м <sup>3</sup> |
|---------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| <i>t</i> = 10 °C    |                                 |                     |                                 |                     |                                 |
| 10                  | 990                             | 50                  | 940                             | 80                  | 870                             |
| 20                  | 980                             | 60                  | 910                             | 90                  | 840                             |
| 30                  | 970                             | 70                  | 890                             | 100                 | 800                             |
| 40                  | 950                             |                     |                                 |                     |                                 |
| <i>t</i> = 20 °C    |                                 |                     |                                 |                     |                                 |
| 10                  | 980                             | 50                  | 930                             | 80                  | 860                             |
| 20                  | 970                             | 60                  | 910                             | 90                  | 830                             |
| 30                  | 960                             | 70                  | 880                             | 100                 | 790                             |
| 40                  | 950                             |                     |                                 |                     |                                 |
| <i>t</i> = 30 °C    |                                 |                     |                                 |                     |                                 |
| 10                  | 980                             | 50                  | 910                             | 80                  | 830                             |
| 20                  | 960                             | 60                  | 880                             | 90                  | 810                             |
| 30                  | 950                             | 70                  | 860                             | 100                 | 780                             |
| 40                  | 930                             |                     |                                 |                     |                                 |
| <i>t</i> = 40 °C    |                                 |                     |                                 |                     |                                 |
| 10                  | 970                             | 50                  | 900                             | 80                  | 830                             |
| 20                  | 960                             | 60                  | 870                             | 90                  | 800                             |
| 30                  | 940                             | 70                  | 860                             | 100                 | 770                             |
| 40                  | 920                             |                     |                                 |                     |                                 |
| <i>t</i> = 50 °C    |                                 |                     |                                 |                     |                                 |
| 10                  | 970                             | 50                  | 890                             | 80                  | 820                             |
| 20                  | 950                             | 60                  | 870                             | 90                  | 790                             |
| 30                  | 930                             | 70                  | 840                             | 100                 | 760                             |
| 40                  | 910                             |                     |                                 |                     |                                 |
| <i>t</i> = 60 °C    |                                 |                     |                                 |                     |                                 |
| 10                  | 960                             | 50                  | 880                             | 80                  | 810                             |
| 20                  | 940                             | 60                  | 860                             | 90                  | 780                             |
| 30                  | 930                             | 70                  | 830                             | 100                 | 750                             |
| 40                  | 900                             |                     |                                 |                     |                                 |
| <i>t</i> = 70 °C    |                                 |                     |                                 |                     |                                 |
| 10                  | 960                             | 50                  | 870                             | 80                  | 800                             |
| 20                  | 920                             | 60                  | 850                             | 90                  | 770                             |
| 30                  | 910                             | 70                  | 820                             | 100                 | 750                             |
| 40                  | 890                             |                     |                                 |                     |                                 |

Примітка. *n* – концентрація спирту у водно-спиртовій суміші, % об'єму.

Густина водно-спиртової суміші при  $t = 20$  °С залежно від вмісту спирту

| Вміст спирту |        | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | Вміст спирту |        | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | Вміст спирту |        | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> |
|--------------|--------|-------------------------------|--------------|--------|-------------------------------|--------------|--------|-------------------------------|
| % об.        | % мас. |                               | % об.        | % мас. |                               | % об.        | % мас. |                               |
| 0            | 0      | 998,2                         | 34           | 28,04  | 957,1                         | 68           | 60,27  | 890,4                         |
| 1            | 0,79   | 996,8                         | 35           | 28,91  | 955,4                         | 69           | 61,33  | 888,0                         |
| 2            | 1,59   | 995,3                         | 36           | 29,78  | 954,2                         | 70           | 62,39  | 885,5                         |
| 3            | 2,38   | 993,9                         | 37           | 30,65  | 952,7                         | 71           | 63,46  | 883,0                         |
| 4            | 3,18   | 992,4                         | 38           | 31,53  | 951,2                         | 72           | 64,54  | 880,5                         |
| 5            | 3,98   | 991,1                         | 39           | 32,41  | 949,6                         | 73           | 65,63  | 878,0                         |
| 6            | 4,78   | 989,7                         | 40           | 33,30  | 948,1                         | 74           | 66,72  | 875,4                         |
| 7            | 5,59   | 988,5                         | 41           | 34,19  | 946,4                         | 75           | 67,83  | 872,8                         |
| 8            | 6,40   | 987,2                         | 42           | 35,09  | 944,8                         | 76           | 68,94  | 870,2                         |
| 9            | 7,20   | 986,0                         | 43           | 35,99  | 943,1                         | 77           | 70,06  | 867,5                         |
| 10           | 8,01   | 984,8                         | 44           | 36,89  | 941,3                         | 78           | 71,19  | 864,8                         |
| 11           | 8,83   | 983,6                         | 45           | 37,80  | 939,6                         | 79           | 72,33  | 862,1                         |
| 12           | 9,64   | 982,4                         | 46           | 38,72  | 937,8                         | 80           | 73,48  | 859,3                         |
| 13           | 10,46  | 981,2                         | 47           | 39,69  | 935,9                         | 81           | 74,64  | 856,5                         |
| 14           | 11,27  | 980,1                         | 48           | 40,56  | 934,0                         | 82           | 75,81  | 853,7                         |
| 15           | 12,09  | 979,0                         | 49           | 42,49  | 932,1                         | 83           | 77     | 850,8                         |
| 16           | 12,91  | 977,9                         | 50           | 42,43  | 930,2                         | 84           | 78,19  | 847,9                         |
| 17           | 13,74  | 976,8                         | 51           | 43,37  | 928,2                         | 85           | 79,40  | 845,0                         |
| 18           | 14,56  | 975,7                         | 52           | 44,31  | 926,2                         | 86           | 80,62  | 841,9                         |
| 19           | 15,39  | 974,7                         | 53           | 45,26  | 924,2                         | 87           | 81,86  | 838,9                         |
| 20           | 16,21  | 973,6                         | 54           | 46,22  | 922,1                         | 88           | 83,11  | 835,7                         |
| 21           | 17,04  | 972,5                         | 55           | 47,18  | 920,0                         | 89           | 84,38  | 832,5                         |
| 22           | 17,88  | 971,5                         | 56           | 48,15  | 917,9                         | 90           | 85,66  | 829,3                         |
| 23           | 18,71  | 970,4                         | 57           | 49,13  | 915,8                         | 91           | 86,97  | 825,9                         |
| 24           | 19,54  | 969,3                         | 58           | 50,11  | 913,6                         | 92           | 88,29  | 822,5                         |
| 25           | 20,38  | 968,1                         | 59           | 51,10  | 911,4                         | 93           | 89,63  | 818,9                         |
| 26           | 21,22  | 967,0                         | 60           | 52,09  | 909,2                         | 94           | 91     | 815,3                         |
| 27           | 22,06  | 965,8                         | 61           | 53,09  | 906,9                         | 95           | 92,41  | 811,4                         |
| 28           | 22,91  | 964,7                         | 62           | 54,09  | 904,6                         | 96           | 93,84  | 807,5                         |
| 29           | 23,76  | 963,5                         | 63           | 55,11  | 902,3                         | 97           | 95,30  | 803,3                         |
| 30           | 24,61  | 962,2                         | 64           | 55,13  | 900,0                         | 98           | 96,81  | 799,0                         |
| 31           | 25,46  | 961,0                         | 65           | 57,15  | 897,6                         | 99           | 98,38  | 794,3                         |
| 32           | 26,32  | 959,7                         | 66           | 58,19  | 895,3                         | 100          | 100    | 789,3                         |
| 33           | 27,18  | 958,4                         | 67           | 59,23  | 892,9                         |              |        |                               |

Таблиця 8.19

**Теплопровідність лікерів в Вт/(м·К) від температури**

| $t, ^\circ\text{C}$ | $\lambda$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $\lambda$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $\lambda$ |
|---------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|
| «Вишневий лікер»    |           |                     |           |                     |           |
| 0                   | 0,350     | 30                  | 0,426     | 60                  | 0,468     |
| 10                  | 0,381     | 40                  | 0,44      | 70                  | 0,477     |
| 20                  | 0,395     | 50                  | 0,457     | 80                  | 0,482     |
| «Шартрез»           |           |                     |           |                     |           |
| 0                   | 0,320     | 30                  | 0,361     | 60                  | 0,425     |
| 10                  | 0,331     | 40                  | 0,380     | 70                  | 0,453     |
| 20                  | 0,345     | 50                  | 0,401     | 80                  | 0,484     |

Таблиця 8.20

**Теплоємність водно-спиртових сумішей в Дж/(кг·К) залежно від вмісту спирту і температури**

| $n, \%$ | $c$ при температурі, $^\circ\text{C}$ |      |      |
|---------|---------------------------------------|------|------|
|         | 0                                     | 20   | 40   |
| 0       | 4212                                  | 4282 | 4182 |
| 10      | 4375                                  | 4262 | 4283 |
| 20      | 4346                                  | 4304 | 4312 |
| 30      | 4174                                  | 4212 | 4245 |
| 40      | 3894                                  | 4036 | 4090 |
| 50      | 3584                                  | 3806 | 3872 |
| 60      | 3341                                  | 3550 | 3663 |
| 70      | 3073                                  | 3265 | 3428 |
| 80      | 2826                                  | 2997 | 3169 |
| 90      | 2553                                  | 2729 | 2905 |
| 100     | 2261                                  | 2403 | 2545 |

Примітка.  $n$  – вміст спирту в суміші, % об'єму

Таблиця 8.21

**Теплоємність водно-спиртово-цукрових сумішей в залежності від температури, концентрації спирту  $z$  і цукрози  $x$  в Дж/(кг·К)**

| $t, ^\circ\text{C}$ | $c$ при значеннях $z$ і $x$ (в %) |              |              |              |
|---------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                     | $z=38, x=5$                       | $z=20, x=20$ | $z=21, x=30$ | $z=24, x=40$ |
| 10                  | 3759                              | 3646         | 3395         | 2997         |
| 20                  | 3897                              | 3763         | 3445         | 3186         |
| 30                  | 3935                              | 3977         | 3487         | 3240         |
| 40                  | 3948                              | 4077         | 3537         | 3278         |

Таблиця 8.22

## Теплоємність розчинів етилового спирту у воді, Дж/(кг·К)

| $t, ^\circ\text{C}$ | $c$ при вмісті спирту, % мас. |           |           |           |             |            |
|---------------------|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|------------|
|                     | 0                             | 10        | 20        | 30        | 40          | 50         |
| 25                  | 4180                          | 4306      | 4367      | 4302      | 4083        | 3828       |
| 30                  | 4178                          | 4307      | 4368      | 4305      | 4101        | 3656       |
| 35                  | 4178                          | 4308      | 4368      | 4306      | 4119        | 3885       |
| 40                  | 4178                          | 4309      | 4368      | 4309      | 4138        | 3914       |
| 45                  | 4180                          | 4309      | 4369      | 4311      | 4156        | 3943       |
| 50                  | 4180                          | 4310      | 4369      | 4313      | 4274        | 3973       |
|                     | <b>60</b>                     | <b>70</b> | <b>80</b> | <b>90</b> | <b>94,4</b> | <b>100</b> |
| 25                  | 3576                          | 3312      | 3023      | 2719      | 2588        | 2437       |
| 30                  | 3609                          | 3356      | 3076      | 2776      | 2644        | 2487       |
| 35                  | 3647                          | 3401      | 3130      | 2833      | 2700        | 2537       |
| 40                  | 3684                          | 3446      | 3142      | 2891      | 2757        | 2592       |
| 45                  | 3725                          | 3492      | 3238      | 2949      | 2814        | 2650       |
| 50                  | 3761                          | 3538      | 3293      | 3008      | 2874        | 2709       |

Таблиця 8.23

## В'язкість водно-спиртових розчинів

| $n, \%$ мас | $\mu \cdot 10^2, \text{Па} \cdot \text{с}$ при температурі $^\circ\text{C}$ |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|             | 0   | 10     | 20     | 25     | 30     | 40     | 50     | 60     | 70     |
| 10          | 0,3215  | 0,2162 | 0,1548 | 0,1328 | 0,1153 | 0,0896 | 0,0725 | 0,0602 | 0,0509 |
| 20          | 0,5275  | 0,3235 | 0,2168 | 0,1808 | 0,1539 | 0,1144 | 0,0896 | 0,0728 | 0,0606 |
| 30          | 0,6900  | 0,4095 | 0,2670 | 0,2203 | 0,1849 | 0,1353 | 0,1038 | 0,0826 | 0,0674 |
| 40          | 0,7150  | 0,4355 | 0,2867 | 0,2374 | 0,1941 | 0,1455 | 0,1116 | 0,0887 | 0,0724 |
| 45          | 0,7010  | 0,4310 | 0,2867 | 0,2887 | 0,2007 | 0,1478 | 0,1138 | 0,0902 | 0,0736 |
| 50          | 0,6625  | 0,4174 | 0,2832 | 0,2367 | 0,2001 | 0,1475 | 0,1136 | 0,0904 | 0,0739 |
| 60          | 0,5715  | 0,3787 | 0,2642 | 0,2232 | 0,1906 | 0,1426 | 0,1109 | 0,0887 | 0,0727 |
| 70          | 0,4720  | 0,3268 | 0,2369 | 0,2025 | 0,1744 | 0,1328 | 0,1044 | 0,0941 | 0,0696 |
| 80          | 0,3648  | 0,3663 | 0,1998 | 0,1738 | 0,1519 | 0,1181 | 0,0950 | 0,0778 | 0,0648 |
| 90          | 0,2694  | 0,2048 | 0,1601 | 0,1422 | 0,1270 | 0,1022 | 0,0835 | 0,0695 | 0,0506 |
| 100         | 0,1776  | 0,1480 | 0,1221 | 0,1101 | 0,0997 | 0,0824 | 0,0695 | 0,0590 | 0,0506 |

Таблиця 8.24

**Теплоємність, ентальпія та теплота пароутворення водно-спиртових парів  
при температурі конденсації і тиску 760 мм. рт. ст.**

| <i>n</i> ,<br>% мас. | <i>t<sub>конд</sub></i> ,<br>°С | <i>c</i> ,<br>Дж/(кг·К) | <i>h'·10<sup>-2</sup></i> ,<br>Дж/кг | <i>r·10<sup>-2</sup></i> ,<br>Дж/кг | <i>h''·10<sup>-2</sup></i> ,<br>Дж/кг |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 0                    | 100                             | 4186                    | 4186,8                               | 22566,8                             | 26753,6                               |
| 5                    | 99,4                            | 4270                    | 4245,4                               | 21855,1                             | 26100,5                               |
| 10                   | 98,8                            | 4312                    | 4262,1                               | 21143,3                             | 25405,5                               |
| 15                   | 98,2                            | 4312                    | 4232,8                               | 20430,5                             | 24564,4                               |
| 20                   | 97,6                            | 4312                    | 4207,7                               | 19719,8                             | 23927,5                               |
| 25                   | 97,0                            | 4333                    | 4203,5                               | 19029,0                             | 23232,5                               |
| 30                   | 96,0                            | 4354                    | 4168,3                               | 18338,1                             | 22504,0                               |
| 35                   | 95,3                            | 4270                    | 4069,5                               | 17626,4                             | 21695,9                               |
| 40                   | 94,0                            | 4228                    | 3973,2                               | 16914,6                             | 20871,1                               |
| 45                   | 93,2                            | 4103                    | 3822,5                               | 16244,7                             | 20067,3                               |
| 50                   | 91,9                            | 4019                    | 3692,7                               | 15533,0                             | 19225,7                               |
| 55                   | 90,6                            | 3935                    | 3567,1                               | 14842,2                             | 18409,3                               |
| 60                   | 89,0                            | 3851                    | 3428,9                               | 14151,3                             | 17580,3                               |
| 65                   | 87,0                            | 3726                    | 3228,0                               | 13360,5                             | 16688,5                               |
| 70                   | 85,1                            | 3600                    | 3064,7                               | 12769,7                             | 15834,4                               |
| 75                   | 82,8                            | 3433                    | 2842,8                               | 12099,8                             | 14942,6                               |
| 80                   | 80,8                            | 3223                    | 2600,0                               | 11429,9                             | 14029,9                               |
| 85                   | 79,6                            | 3140                    | 2499,5                               | 10718,2                             | 13217,7                               |
| 90                   | 78,7                            | 3014                    | 2373,9                               | 9964,5                              | 12338,4                               |
| 95                   | 78,2                            | 2836                    | 2227,3                               | 9252,8                              | 11480,2                               |
| 100                  | 78,3                            | 2669                    | 2097,5                               | 8541,0                              | 10638,6                               |

Примітка. *N* – вміст спирту в парах, % маси, *h'* – ентальпія рідини, *r* – теплота пароутворення, *h''* – ентальпія пари.

Таблиця 8.25

**Залежність густини паточної барди від температури і вмісту сухих речовин**

| Вміст сухих<br>речовин,<br>% | <i>ρ</i> , кг/м <sup>3</sup> при температурі, °С |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                              | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 95   |
| 10                           | 1039   | 1034 | 1030 | 1026 | 1021 | 1016 | 1010 | 1006 | 1005 |
| 30,9                         | 1129   | 1124 | 1120 | 1113 | 1109 | 1104 | 1098 | 1093 | 1090 |
| 50                           | 1216   | 1211 | 1206 | 1199 | 1193 | 1187 | 1181 | 1175 | 1172 |
| 61                           | 1275   | 1269 | 1263 | 1258 | 1253 | 1245 | 1239 | 1234 | 1231 |
| 70,4                         | 1330   | 1325 | 1319 | 1313 | 1305 | 1299 | 1293 | 1287 | 1285 |
| 79,5                         | 1376   | 1370 | 1364 | 1358 | 1352 | 1343 | 1338 | 1338 | 1328 |

Таблиця 8.26

**Значення в'язкості водно-спиртово-цукрових розчинів  
залежно від температури і концентрації спирту  $z$  і цукру  $x$**

| $t, ^\circ\text{C}$ | $\mu \cdot 10^2, \text{Па} \cdot \text{с}$ при значеннях $z$ і $x$ (у %) |                  |                    |
|---------------------|--|------------------|--------------------|
|                     | $z = 22,5, x = 10$   | $z = 36, x = 10$ | $z = 21,1, x = 15$ |
| 0                   | 0,642  | 0,806            | 0,740              |
| 5                   | 0,510  | 0,657            | 0,602              |
| 10                  | 0,408  | 0,499            | 0,466              |
| 15                  | 0,327  | 0,395            | 0,389              |
| 20                  | 0,252  | 0,334            | 0,313              |
| 25                  | 0,211  | 0,272            | 0,265              |
| 30                  | 0,180  | 0,231            | 0,227              |
| 35                  | 0,161  | 0,198            | 0,195              |
| 40                  | 0,146  | 0,182            | 0,169              |
|                     | $z = 34, x = 15$   | $z = 20, x = 20$ | $z = 32, x = 20$   |
| 0                   | 0,99   | 0,835            | 1,227              |
| 5                   | 0,728  | 0,659            | 0,818              |
| 10                  | 0,610  | 0,533            | 0,756              |
| 15                  | 0,469  | 0,396            | 0,601              |
| 20                  | 0,384  | 0,344            | 0,480              |
| 25                  | 0,316  | 0,294            | 0,373              |
| 30                  | 0,265  | 0,243            | 0,316              |
| 35                  | 0,223  | 0,209            | 0,267              |
| 40                  | 0,196  | 0,180            | 0,237              |

Таблиця 8.27

**Залежність густини метанової бражки  
від температури і вмісту сухих речовин**

| $t, ^\circ\text{C}$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ при вмісті сухих речовин, % |      |      |      |      |      |
|---------------------|---|------|------|------|------|------|
|                     | 3,7   | 26,7 | 42,7 | 55   | 63   | 69,2 |
| 10                  | 1025  | 1115 | 1200 | 1260 | 1315 | 1350 |
| 30                  | 1015  | 1105 | 1190 | 1250 | 1300 | 1340 |
| 50                  | 1005  | 1095 | 1175 | 1240 | 1290 | 1330 |
| 70                  | 995   | 1080 | 1165 | 1225 | 1275 | 1315 |
| 90                  | 985   | 1070 | 1150 | 1215 | 1265 | 1305 |



Таблиця 8.28

**В'язкість паточної барди  
в залежності від температури і вмісту сухих речовин**

| Вміст сухих речовин, % | $\mu \cdot 10^2$ , Па·с, при температурі, °С |        |        |        |
|------------------------|--|--------|--------|--------|
|                        | 20   | 30     | 40     | 50     |
| 10,0                   | 0,137  | 0,108  | 0,087  | 0,078  |
| 30,9                   | 0,360  | 0,271  | 0,208  | 0,172  |
| 50,0                   | 1,631  | 0,131  | 0,687  | 0,513  |
| 61,0                   | 7,109  | 4,181  | 2,816  | 1,850  |
| 70,4                   | 65,114                                       | 33,085 | 17,481 | 10,707 |
| 79,5                   | 1754,2                                       | 604,0  | 234,0  | 95,497 |
|                        | 60   | 70     | 80     | 90     |
| 10                     | 0,161  | 0,053  | 0,048  | 0,044  |
| 30,9                   | 0,146  | 0,126  | 0,112  | 0,112  |
| 50                     | 0,401  | 0,324  | 0,275  | 0,247  |
| 61                     | 1,355  | 1,037  | 0,869  | 0,765  |
| 70,4                   | 6,007  | 4,067  | 2,567  | 1,944  |
| 79,5                   | 50,198                                       | 33,505 | 27,024 | 13,815 |

Таблиця 8.29

**Залежність в'язкості метанової бражки  
від концентрації і температури**

| Вміст сухих речовин, % | $\mu \cdot 10^{-3}$ , Па·с, при температурі, °С |       |       |      |
|------------------------|---|-------|-------|------|
|                        | 20  | 40    | 60    | 80   |
| 3,7                    | 1,6   | 1,0   | 0,75  | 0,60 |
| 10,8                   | 1,9   | 1,4   | 0,96  | 0,74 |
| 26,7                   | 4,8   | 3,0   | 1,9   | 1,4  |
| 31,7                   | 7,2   | 4,3   | 2,7   | 1,85 |
| 42,7                   | 18  | 9,8   | 5,9   | 4,0  |
| 55,0                   | 95  | 42,0  | 20,0  | 11,0 |
| 63,0                   | 320   | 115,0 | 55,0  | 29,0 |
| 69,2                   | –   | 420,0 | 140,0 | 77,0 |

Поверхневий натяг паточної барди, що містить  $CP$  % сухих речовин, при температурі  $t^{\circ}\text{C}$ :

$$\sigma = 10^{-3} [63,466 + CP \cdot (0,1481 \cdot t - 27,002) - 0,1408 \cdot t], \text{ Н/м} \quad (8.6)$$

Теплопровідність зернової барди залежно від температури  $t$  і вмісту сухих речовин  $CP$

при  $-10 < t < 80$  °С та  $5 < CP < 20$

$$\lambda = 0,576 + 10^{-4} (13,5 \cdot t - 1,54 \cdot CP - 0,16 \cdot t \cdot CP) \pm 0,02 \quad (8.7)$$

Таблиця 8.30

**Енергетична цінність продуктів спиртового виробництва**

| <b>Продукт</b>           | <b><math>E_u</math>, кДж/кг</b> |
|--------------------------|---------------------------------|
| Коньяк 3 зірочки         | 100                             |
| Горілка                  | 98,3                            |
| Настоянка «Старка»       | 106,7                           |
| Наливка «Слив'янка»      | 90,4                            |
| Лікер «Вишневий»         | 131,0                           |
| Пунш «Чорносмородиновий» | 102,1                           |

## РОЗДІЛ 9. ЦУКРОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ

### 9.1. Буряк

Таблиця 9.1

**Формули для визначення густини в кг/м<sup>3</sup> свіжого цукрового буряка  $T = 293$  К**

| $n$         | Формула                           |
|-------------|-----------------------------------|
| 0,20 – 0,40 | $\rho_{\phi} = 991 + 418 \cdot n$ |
| 0,21 – 0,26 | $\rho_{\phi} = 990 + 460 \cdot n$ |
| 0,20 – 0,40 | $\rho_{\phi} = 968 + 500 \cdot n$ |

Спільна обробка цих формул, дозволяє рекомендувати для визначення густини цукрового буряка узагальнену формулу при  $0,20 < n < 0,40$  і  $T = 293$  К:

$$\rho_{\phi} = 985 + 450 \cdot n. \quad (9.1)$$

Таблиця 9.2

**Об'ємна маса в кг/м<sup>3</sup> цукрового буряка**

| Місцезнаходження | $\rho_n$  | Місцезнаходження                          | $\rho_n$ |
|------------------|-----------|---|----------|
| В кагатах        | 600       | В елеваторі                               | 500      |
| В бурякомийці    | 420 – 550 | В гідротранспортері (буряко-водяна суміш) | 100      |

Таблиця 9.3

**Формули для визначення теплоємності в Дж/(кг·К) цукрового буряка при  $T = 293$  К**

| $n$         | Формула                   |
|-------------|---------------------------|
| 0,25 – 0,32 | $c = 4187 - 2638 \cdot n$ |
| 0,20 – 0,30 | $c = 4187 - 2805 \cdot n$ |
| 0,22 – 0,28 | $c = 4236 - 3030 \cdot n$ |

Ентальпія в кДж/кг бурякової стружки при  $273 < T < 293$  К:

$$h = 3488 \cdot T - 952224 \quad (9.2)$$

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) коренеплодів  $0,20 < n < 0,40$ :

$$c\rho = 4121 - 860 \cdot n - 1254 \cdot n^2 \quad (9.3)$$

Таблиця 9.4

**Формули для визначення теплопровідності  
в Вт/(м·К) цукрового буряка при  $T = 293$  К**

| <b>n</b>      | <b>Формула</b>                    |
|---------------|-----------------------------------|
| 0,214 – 0,262 | $\lambda = 0,621 - 0,74 \cdot n$  |
| 0,21 – 0,26   | $\lambda = 0,621 - 0,65 \cdot n$  |
| 0,22 – 0,28   | $\lambda = 0,703 - 0,976 \cdot n$ |
| 0,10 – 0,40   | $\lambda = 0,605 - 0,52 \cdot n$  |
| 0,20 – 0,40   | $\lambda = 0,665 - 0,38 \cdot n$  |

Таблиця 9.5

**ТФХ великих і малих коренеплодів при  $T = 293$  К**

| <b>Коренеплоди</b>     | <b>W</b> | <b><math>\rho_{\phi}</math>,<br/>кг/м<sup>3</sup></b> | <b>c,<br/>Дж/(кг·К)</b> | <b><math>\lambda</math>,<br/>Вт/(м·К)</b> | <b><math>a \cdot 10^8</math>,<br/>м<sup>2</sup>/с</b> |
|------------------------|----------|---|-------------------------|---|---|
| Крупні ( $d > 100$ мм) | 0,766    | 1067  | 3530                    | 0,535                                     | 14,2  |
| Дрібні ( $d < 70$ мм)  | 0,768    | 1083  | 3590                    | 0,490                                     | 12,6  |

Узагальнена формула отримана обробкою даних наведених в таблиці, при  $0,20 < n < 0,40$  і  $T = 293$  К

$$\lambda = 0,581 - 0,325 \cdot n \quad (9.4)$$

Таблиця 9.6

**Формули для визначення температуропровідності  
в  $a \cdot 10^8$ , м<sup>2</sup>/с цукрового буряку при  $T = 293$  К**

| <b>n</b>      | <b>формула</b>                         |
|---------------|--|
| 0,214 – 0,262 | $a \cdot 10^8 = 14,75 - 15,65 \cdot n$ |
| 0,22 – 0,28   | $a \cdot 10^8 = 13,1 - 4,64 \cdot n$   |
| 0,20 – 0,40   | $a \cdot 10^8 = 15,2 - 13,0 \cdot n$   |

Узагальнена формула при  $0,20 < n < 0,40$  і  $T = 293$  К

$$a \cdot 10^8 = 14,4 - 5,5 \cdot n \quad (9.5)$$

**Зберігання і дефростація.**

Теплоємність буряка, що піддавався швидкому або повільному заморожуванню з наступною дефростацією, практично співпадає з теплоємністю необроблених коренеплодів (якщо зразки знаходяться у водонепроникній оболонці і не втрачають сік).

Теплопровідність коренеплодів після дефростації, при  $0,25 < n < 0,32$

$$\lambda = 0,6645 - 0,697 \cdot n \quad (9.6)$$

В результаті дефростації цукрового буряка (після швидкого або повільного заморожування до  $T = 253 \text{ K}$ ) температуропровідність дорівнює:

$$a \cdot 10^8 = \frac{(21,56 - 22,5 \cdot n) \cdot (256 - 100 \cdot n)}{(360 - 226,8 \cdot n)} \quad (9.7)$$

Експериментально встановлено, що термін зберігання цукрового буряка (досліди проводились в листопаді, лютому і квітні) не впливав на теплопровідність.

### Нагрівання.

Для визначення теплоємності буряка під час нагрівання запропоновано декілька формул.

Таблиця 9.7

**Формули для визначення теплоємності в Дж/(кг·К) коренеплодів при нагріванні**

| $T, \text{ K}$ | $n$         | Формула                   |
|----------------|-------------|---------------------------|
| 273 – 333      | 0,20 – 0,25 | $c = 94 - 12 \cdot T$     |
| 313            | 0,22 – 0,28 | $c = 4219 - 2832 \cdot n$ |
| 333            | 0,22 – 0,28 | $c = 4243 - 2751 \cdot n$ |
| 353            | 0,22 – 0,28 | $c = 4336 - 2819 \cdot n$ |

В роботі в узагальнено ТФХ тканини коренеплоду цукрового буряка для інтервалу температур від криоскопічної (поява перших кристалів льоду під час повільного заморожування тканини) до  $80^\circ\text{C}$  та для будь-яких значень  $n$ :

$$\rho = 1127 + 4,53 \cdot n - 0,47 \cdot T \quad (9.8)$$

$$c = 4185 - n \cdot (48 - 0,075 \cdot T) \quad (9.9)$$

$$a \cdot 10^8 = 28,3 - 3956/T - 0,1 \cdot n \quad (9.10)$$

$$\lambda = 1,16 - 160/T - 0,0054 \cdot n \quad (9.11)$$

Граничні відносні похибки ТФХ за цими формулами складають:  $\delta\rho = 1$ ;  $\delta c = 3$ ;  $\delta a = 10$ ;  $\delta\lambda = 10\%$ .

Кріоскопічну температуру, при цьому, запропоновано визначати за

формулою

$$-t_{кр} = 0,114 \cdot n, \quad (9.12)$$

яка в інтервалі  $10 < n < 30\%$  дає абсолютну граничну похибку в 0,1 К

При  $t < t_{кр}$  частка вимороженої води в буряковій тканині дорівнює:

$$W = 1 - 0,114n/t \quad (9.13)$$

## 9.2. Жом

Значення дійсної густини бурякового жому наведені в таблиці 9.8.

Таблиця 9.8

**Дійсна густина в кг/м<sup>3</sup> бурякового жому**

|                            |      |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>W</b>                   | 0    | 0,334 | 0,500 | 0,600 | 0,677 | 0,714 | 0,742 | 0,833 |
| <b><math>\rho_d</math></b> | 1350 | 120   | 1170  | 1120  | 1100  | 1090  | 1070  | 1040  |

Об'ємна маса жому, спресованого в каналі, дещо менша, ніж спресованого в пресформі, що особливо помітно при малому тиску і невеликій відстані від виходу із каналу в табл. 9.9

Таблиця 9.9

**Об'ємна маса в кг/м<sup>3</sup> бурякового жому ( $W = 0,10$ ;  $T = 293$  К) при пресуванні**

| <b><math>p</math>, МПа</b> | <b>Канал* при відстані від виходу, мм</b> |           |            | <b>Закрита пресформа</b> |
|----------------------------|---|-----------|------------|--------------------------|
|                            | <b>20</b>                                 | <b>50</b> | <b>105</b> |                          |
| 50                         | 808                                       | 830       | 850        | 850                      |
| 100                        | 914                                       | 966       | 980        | 980                      |
| 200                        | —   | 1080      | 1080       | 1080                     |

\* довжина 210 мм

Густина і об'ємна маса брикетованого бурякового жому відповідно рівні: 1190 – 1250 і 581 – 676 кг/м<sup>3</sup>

Густина брикетів бурякового жому при  $0,02 < W < 0,28$  і  $T = 293$  К описує формула

$$\rho_{\phi} = A + D \cdot W, \quad (9.14)$$

де:  $A$  і  $D$  – сталі, що залежать від тиску (табл. 9.10).

Густина брикетів жому з мелясою (при  $0,08 < W < 0,40$  і  $T = 293$  К)

$$\rho_{\phi} = A_I + D_I \cdot W \quad (9.15)$$

де:  $A_I$  і  $D_I$  – сталі, що залежать від тиску (табл. 9.10).

Таблиця 9.10

**Значення сталих  $A, A_I, D, D_I$  у формулах (9.14) і в (9.15)**

| $p, \text{кПа}$ | $A \cdot 10^{-3}$ | $D \cdot 10^{-3}$ | $A_I \cdot 10^{-3}$ | $D_I \cdot 10^{-3}$ |
|-----------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| 12350           | 0,39              | 2,5               | 0,51                | 1,50                |
| 18520           | 0,52              | 2,3               | 0,67                | 1,20                |
| 24700           | 0,64              | 1,9               | 0,79                | 0,90                |
| 26750           | 0,66              | 1,9               | 0,85                | 0,86                |
| 30870           | 0,71              | 1,8               | 0,89                | 0,81                |

Теплоємність сирого, сухого і мокрого бурякового жому відповідно складає: 3980, 1680 – 2090 і 3560 Дж/(кг·К). ТФХ бурякового жому з підвищенням температури при  $293 < T < 353$  К збільшується:

$$c = -355 + 17,08 \cdot T \quad (9.16)$$

$$\lambda = -1,176 + 0,00560 \cdot T \quad (9.17)$$

$$a \cdot 10^8 = -40,7 + 0,268 \cdot T \quad (9.18)$$

ТФХ сухої речовини жому дорівнюють:  $\rho_n = 502 \text{ кг/м}^3$ ,  $c_{cp} = 2116 \text{ Дж/(кг·К)}$ ,  $\lambda_{cp} = 0,349 \text{ Вт/(м·К)}$ ,  $a_{cp} = 32,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Зі збільшенням масової частки вологи до  $W = 2,9$  значення теплопровідності і температуропровідності жому збільшуються, але при більшій масовій частці вологи – знижується (табл. 9.11).

Таблиця 9.11

**Формули для визначення ТФХ жому ( $\rho_\phi = 400 - 500 \text{ кг/м}^3$ ) в процесі сушки**

| ТФХ                                 | $0 < W < 2,9$              | $2,9 < W < 6,00$           |
|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                     | $0 < W < 4,25^*$           | $4,25 < W < 6,00^*$        |
| $c, \text{Дж/(кг·К)}$               | $2116 + 112,3 \cdot W^2$   | $-598 + 762 \cdot W^2$     |
| $\lambda, \text{Вт/(м·К)}$          | $0,349 + 0,0726 \cdot W^2$ | $0,683 - 0,0421 \cdot W^2$ |
| $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ | $32,9 + 5,0 \cdot W^2$     | $68,3 - 7,6 \cdot W^2$     |

\* для теплоємності жому.

В інтервалі температур від криоскопічної  $t_{кр}$  до  $130^\circ\text{C}$  і при будь – якій можливій для розчину концентрації сухих речовин  $n$  гранична відносна похибка розрахунку густини  $\delta\rho = 0,2\%$ . Вплив чистоти розчину  $Ч, \%$  не враховується.

Густина водних розчинів сахарози :

$$\rho = [0,001 + 1,3210^{-8}(t-4)^{1,775}]^{-1} (1-n) + (1564 - 0,6t)n - (158,951 + 0,1025t)(1-n)(n)^{1,03} \quad (9.19)$$

Середня теплоємність в інтервалі температур від 0 °С до t, в Дж/(кг·К):

$$c_m \Big|_0^t = 4218 + 1,4 \cdot t \cdot \lg |0,01 \cdot t| - 100 \cdot n \cdot (29,73 - 0,03768 \cdot t - 0,0461 \cdot \mathcal{C}) \quad (9.20)$$

Середня теплоємність в інтервалі температур від t<sub>1</sub> до t<sub>2</sub>, в Дж/(кг·К):

$$c_m \Big|_{t_1}^{t_2} = \left( c_m \Big|_0^{t_1} \cdot t_2 - c_m \Big|_0^{t_1} \cdot t_1 \right) / (t_2 - t_1) \quad (9.21)$$

Ентальпія розчину, в Дж/кг

$$h = c_m \Big|_0^t \cdot t \quad (9.22)$$

Теплопровідність цукрового розчину (практично не залежить від його чистоти) в Вт/(м·К):

$$\lambda = (0,603 - 28,73 / \tau)^{0,5} + n \times \\ \times \left[ \tau^2 (0,75 - 1,97 \cdot n) \cdot 10^{-5} + \tau (4,8 \cdot n - 2,3) \cdot 10^{-3} - (3,5 \cdot n - 1,4) \cdot 10^{-3} \right] \quad (9.23)$$

де:  $\tau = t + 100$ , діапазон змін параметрів:  $t = t_{кр} - 130^\circ\text{C}$  і  $n = 0 - 0,9$ ;  $\delta\lambda = 6\%$ .

Температуропровідність розчину  $a = \lambda / (c \cdot \rho)$ , в м<sup>2</sup>/с.

Кінематична в'язкість водних розчинів сахарози, в м<sup>2</sup>/с:

$$\lg(\nu \cdot 10^9) = (0,6688 - 98,4 / T)^{-1} + 2,357 \cdot 10^{12} \cdot T^{-4,44} \cdot (19n - 18)^{2,45 \cdot 10^{-3} \cdot T - 1,771} \quad (9.24)$$

де:  $T = t + 273,15$ , К, діапазон зміни параметрів:  $t = 15 - 100^\circ\text{C}$ ,  $n = 0 - 0,85$  і відносна похибка  $\delta\nu = 11\%$ .

Кінематична в'язкість виробничих розчинів  $\nu_e = \nu \cdot \varepsilon$ , в м<sup>2</sup>/с, де поправка на чистоту виробничого розчину

$$\varepsilon = 1 - 0,37 \cdot (1 - \mathcal{C}/100) \cdot (380 - T) / (19/n - 18)^2 \quad (9.25)$$

Числа Прандтля розчину  $Pr = \nu/a$ .

Теплоємність розчину, в Дж/(кг·К):

$$c = 4218 + 2,8 \cdot t \cdot \lg |0,01 \cdot t| - n \cdot (2973 - 007,536 \cdot t - 4,61 \cdot \mathcal{C}) \quad (9.26)$$

для діапазону зміни параметрів  $t = t_{кр} - 130^\circ\text{C}$   $n = 0 - 0,9$  і  $\mathcal{C} > 55\%$ , відносна похибка  $\delta c$  – до 3 %.



Результати розрахунків ТФХ по формулах (9.14) – (9.20) для дистильованої води, жомопресової води, дифузійного соку, сиропу і меляси приведено в таблиці 9.12

Таблиця 9.12

**Теплофізичні характеристики цукрових розчинів при температурі 60 °С**

| ТФХ                                | Вода дистильована | Вода жомопресова, СВ = 1,5%, Ч = 65% | Сік дифузійний, СВ = 15%, Ч = 90% | Сироп, СВ = 65%, Ч = 90% | Меляса, СВ = 85%, Ч = 60% |
|------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>         | 9835              | 989,2                                | 1042,3                            | 1294,7                   | 1422,1                    |
| $\beta \cdot 10^4$ , 1/К           | 5,16              | 5,16                                 | 5,14                              | 4,59                     | 4,23                      |
| $c$ , Дж/(кг·К)                    | 4181              | 4147                                 | 3865                              | 2812                     | 2273                      |
| $c_m \Big _0^t$ , Дж/(кг·К)        | 4181              | 4144                                 | 3831                              | 2665                     | 2081                      |
| $h$ , кДж/кг                       | 250,9             | 248,7                                | 229,9                             | 159,9                    | 124,9                     |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,651             | 0,646                                | 0,601                             | 0,409                    | 0,320                     |
| $a \cdot 10^4$ , м <sup>2</sup> /с | 15,8              | 15,7                                 | 15,1                              | 11,2                     | 9,89                      |
| $\nu$ , м <sup>2</sup> /с          | 0,476             | 0,495                                | 0,703                             | 14,23                    | 2113                      |
| $\varepsilon$                      | 1,000             | 1,000                                | 1,000                             | 0,986                    | 0,634                     |
| Pr                                 | 3,01              | 3,14                                 | 4,67                              | 125                      | 13550                     |

Теплофізичні характеристики утфелю, як суміші міжкристального розчину та кристалів цукру, мають деякі особливості.

Густина утфелю, кг/м<sup>3</sup>

$$\rho = 1112 + 0,031 \cdot n + 200 \cdot n^2 - (0,4 + 0,25 \cdot n) \cdot (t - 20) \quad (9.27)$$

Теплоємність утфелю визначають за правилом адитивності.

Теплопровідність утфелю, в Вт/(м·К):

$$\lambda_y = \lambda \times \left( 1 - \frac{j}{\frac{1-j}{0,15} - \frac{\lambda}{\lambda_{кр} - \lambda}} \right) \quad (9.28)$$

де  $\lambda$  і  $\lambda_{кр}$  – теплопровідність розчину і кристалів;

$\varphi$  – об'ємна частка кристалів в утфелі.

### 9.3.Цукор

#### 9.3.1. Монокристал цукру

Істинна щільність монокристалу цукру,  $\text{кг/м}^3$

$$\rho_i = 1784 - 0,738 \cdot T \quad (9.29)$$

Кристали цукру вільно насипані мають об'ємну масу (густину) 800 – 820, а в товстому шарі – 1050 – 1100  $\text{кг/м}^3$ .

Теплоємність кристалічного цукру в  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ :

при  $273 < T < 363 \text{ К}$

$$c = 58 + 4,00 \cdot T \quad (9.30)$$

при  $293 < T < 383 \text{ К}$

$$c = 190 + 3,56 \cdot T \quad (9.31)$$

Об'ємна теплоємність в  $\text{Дж}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$ :

при  $273 < T < 393 \text{ К}$

$$c\rho = 1831 + 6,17 \cdot t - 0,68 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 \quad (9.32)$$

Ентальпія в  $\text{кДж}/\text{кг}$ :

при  $273 < T < 413 \text{ К}$

$$h = -314 + 1,15 \cdot T + 0,02 \cdot T^2 \quad (9.33)$$

Теплопровідність  $\lambda$  в  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , ентропія  $s$  в  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ , питомий об'єм  $v$  в  $\text{м}^3/\text{кг}$  при  $273 < T < 393 \text{ К}$ :

$$\lambda = 0,522 - 7,4 \cdot 10^{-4} \cdot t - 8,6 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 \quad (9.34)$$

$$s = (1150 + 2 \cdot t) \ln(T/273) \quad (9.35)$$

$$v = 6,28 \cdot 10^{-4} + 6,90 \cdot 10^{-8} \cdot t \quad (9.36)$$

Температуропровідність в  $\text{м}^2/\text{с}$ :

при  $293 < T < 363 \text{ К}$

$$a \cdot 10^8 = 65,8 - 0,1366 \cdot T \quad (9.37)$$

#### 9.3.2. Аморфний цукор

Дійсна густина аморфного цукру дорівнює : при  $T = 228 \text{ К} - 1507,7$ , а при  $T = 293 \text{ К} - 1553,5 \text{ кг/м}^3$ . Ці дані свідчать, що дійсна густина аморфного цукру менша, ніж кристалічного.

Теплоємність аморфного цукру в Дж/(кг·К):

при  $295 < T < 298$  К

$$c = 176 + 4,19 \cdot T \quad (9.38)$$

Таблиця 9.13

### Ентальпія аморфного цукру

| $T, \text{ К}$      | 273  | 293  | 313   | 333   | 353   | 373   | 393   | 413   |
|---------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $h, \text{ кДж/кг}$ | 51,9 | 79,1 | 108,0 | 138,6 | 170,8 | 204,7 | 240,3 | 275,6 |

### 9.3.3. Цукор–рафінад

Щільність сухого цукру-рафінаду складає  $1263 - 1298$  кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність в Дж/(кг·К) цукрових паличок залежно від температури і масової частки вологи:

при  $293 < T < 363$  К і  $0 < W < 0,04$

$$c = -967 + 2930 \cdot W + 7,2 \cdot T \quad (9.39)$$

Таблиця 9.14

### Об'ємна теплоємність $c_p$ в кДж/(м<sup>3</sup>·К) дорожнього цукру – рафінаду

| Вміст<br>вологи | Температура, К |      |      |      |
|-----------------|----------------|------|------|------|
|                 | 293            | 313  | 333  | 348  |
| 0,010           | 1888           | 1587 | 1514 | 1530 |
| 0,020           | 2027           | 1699 | 1622 | 1620 |
| 0,030           | 2184           | 1886 | 1743 | 1783 |

Таблиця 9.15

### Теплопровідність в Вт/(м·К) цукру – рафінаду

| Вміст<br>вологи | Температура, К |       |       |       |
|-----------------|----------------|-------|-------|-------|
|                 | 293            | 313   | 333   | 348   |
| 0,010           | 0,338          | 0,238 | 0,215 | 0,205 |
| 0,020           | 0,377          | 0,277 | 0,240 | 0,230 |
| 0,030           | 0,415          | 0,315 | 0,265 | 0,255 |

Для вологого цукру-рафінаду ( $d = 0 - 0,030$ ), густина якого в сухому стані дорівнює  $1150$  кг/м<sup>3</sup>, залежність теплопровідності в Вт/(м·К) від вологовмісту  $d$ , описується формулами:

$$\text{при } T = 293 \text{ К} \quad \lambda = 0,300 + 3,85 \cdot d \quad (9.40)$$

$$\text{при } T = 313 \text{ К} \quad \lambda = 0,200 + 3,85 \cdot d \quad (9.41)$$

$$\text{при } T = 333 \text{ К} \quad \lambda = 0,190 + 2,50 \cdot d \quad (9.42)$$

$$\text{при } T = 348 \text{ К} \quad \lambda = 0,180 + 2,50 \cdot d \quad (9.43)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) цукру-рафінаду і цукру піску

при  $960 < \rho < 1590 \text{ кг/м}^3$ ,  $T = 283 - 285 \text{ К}$  і  $W = 0$ :

$$\lambda = -0,47 + 0,00066 \cdot \rho \quad (9.44)$$

при  $960 < \rho < 1590 \text{ кг/м}^3$ ,  $273 < T < 308 \text{ К}$  і  $W = 0$ :

$$\lambda = 0,013 + (0,66 \cdot \rho - 1,77 \cdot T) \cdot 10^{-3} \quad (9.45)$$

При підвищенні вологовмісту до 0,010 коефіцієнт температуропровідності цукру-рафінаду різко підвищується, а подальше підвищення вологовмісту вже не чинить такого помітного впливу на коефіцієнт температуропровідності (таблиця 9.16).

Таблиця 9.16

**Коефіцієнт температуропровідності ( $a \cdot 10^8$ , м<sup>2</sup>/с) цукру-рафінаду**

| Вміст<br>вологи | Температура, К |      |      |      | Вміст<br>вологи | Температура, К |      |      |      |
|-----------------|----------------|------|------|------|-----------------|----------------|------|------|------|
|                 | 293            | 313  | 333  | 348  |                 | 293            | 313  | 333  | 348  |
| 0,001           | 13,0           | 12,0 | 10,0 | 9,0  | 0,020           | 18,6           | 16,3 | 14,8 | 14,2 |
| 0,010           | 17,9           | 15,0 | 14,2 | 13,4 | 0,030           | 19,0           | 16,7 | 15,2 | 14,3 |

Для фіксованих  $d$

при  $313 < T < 348 \text{ К}$  і  $d = 0,60$

$$a \cdot 10^8 = 24,0 - 0,036 \cdot T \quad (9.46)$$

при  $313 < T < 348 \text{ К}$  і  $d = 2,46$

$$a \cdot 10^8 = 37,0 - 0,067 \cdot T \quad (9.47)$$

### 9.3.4. Цукор пісок

Дійсна густина кристалів цукру піску дорівнює  $1538-1588 \text{ кг/м}^3$ .

Об'ємна маса цукру піску може бути однаковою при різних розмірах його кристалів і різною – при однакових розмірах. Так, при помітно різних розмірах кристалів (0,25 – 2,00) мм об'ємна маса цукру-піску дорівнювала  $800 \text{ кг/м}^3$ , а при однакових розмірах кристалів – від 800 до  $910 \text{ кг/м}^3$ .

Зі збільшенням масової частки води в цукрі-піску його об'ємна маса

збільшується, тому що вода витісняє повітря :

при  $0,0002 < W < 0,037$

$$\rho_n = 990 + 2700 \cdot W \quad (9.48)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) цукру-піску залежно від масової частки вологи і температури рекомендується визначати за формулою (9.39), а залежно тільки від масової частки вологи за формулою (9.49):

при  $0,00023 < W < 0,037$  і  $T = 293$  К

$$c = 1336 + 2840 \cdot W \quad (9.49)$$

Таблиця 9.17

**Теплопровідність цукру-піску**

| $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | $W$    | $T$ , К   | $\lambda$ , Вт/(м·К)                           |
|------------------------------|--------|-----------|--|
| 658                          | –      | 293 – 373 | $\lambda = 0,065 + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot T$  |
| 836                          | 0,0015 | 268 – 308 | $\lambda = 0,248 - 3,49 \cdot 10^{-4} \cdot T$ |

При підвищенні масової частки вологи в цукрі-піску від 0 до 0,037 і одночасному збільшенні об'ємної маси його теплопровідність в Вт/(м·К):

$$\lambda = 0,15 + 3,77 \cdot W \quad (9.50)$$

Залежність теплопровідності в Вт/(м·К) сухого цукру-піску від об'ємної маси і температури

при  $960 < \rho_n < 1590$ , кг/м<sup>3</sup> і  $273 < T < 308$  К

$$\lambda = (9,21 + 0,66 \cdot \rho_n - 1,77 \cdot T) \cdot 10^{-3} \quad (9.51)$$

Таблиця 9.18

**Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с цукру-піску**

| $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | $W$    | $T$ , К   | формула                          |
|------------------------------|--------|-----------|----------------------------------|
| 658                          | –      | 293 – 373 | $a \cdot 10^8 = 21,5 + 0,00625T$ |
| 836                          | 0,0015 | 268 – 308 | $a \cdot 10^8 = 21,3 - 0,028T$   |

При збільшенні масової частки вологи в цукрі-піску від 0 до 0,037 і одночасному збільшенні об'ємної маси:

$$a \cdot 10^8 = 9,5 + 225 \cdot W \quad 9.52$$

Енергетична цінність цукру-рафінаду складає 156,9, а цукру-піску 156,5 кДж/кг.

## РОЗДІЛ 10. МОЛОКО ТА МОЛОЧНІ ПРОДУКТИ

### 10.1. Молоко

#### 10.1.1. Знежирене молоко.

Теплоємність знежиреного молока в Дж/(кг·К) ( $n = 9-40\%$ ,  $T = 273-353$  К):

$$c = \frac{4187 + (-3242 + 16,8T)(100 - W)}{100} \quad (10.1)$$

Густина знежиреного молока в кг/м<sup>3</sup>  $T = 273 - 363$  К та  $n = 8,2 - 45\%$

$$\rho = \frac{\rho_w W + \rho_{cs}(100 - W) \varphi}{100}, \quad (10.2)$$

де  $\rho_w$  – густина води при температурі знежиреного молока, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{cs}$  – густина сухих речовин знежиреного молока, рівна 1600 кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi$  – коефіцієнт, що враховує наявність газів в знежиреному молоці.

Він дорівнює 0,86 при  $T = 273 - 293$  К та 0,83 при  $T = 293 - 363$  К.

Теплопровідність в Вт/(м·К) знежиреного молока ( $n = 9$ ,  $T = 278 - 353$  К)

$$\lambda = \frac{\lambda_w W + \lambda_{cp}(100 - W)}{100}, \quad (10.3)$$

де  $\lambda_w$  – коефіцієнт теплопровідності води при температурі знежиреного молока, Вт/(м·К);

$\lambda_{cp}$  – розрахунковий коефіцієнт теплопровідності сухих речовин знежиреного молока, рівний 0,31 Вт/(м·К).

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с знежиреного молока ( $T = 293-333$  К і  $n = 9 - 30\%$ )

$$a \cdot 10^8 = \frac{a_w W + a_{cp}(100 - W)}{100} \quad (10.4)$$

де  $a_w$  – температуропровідність води при температурі знежиреного молока, м<sup>2</sup>/с;

$a_{cp}$  – розрахункова температуропровідність сухих речовин знежиреного молока, рівна  $11,0 \cdot 10^8$ , м<sup>2</sup>/с.

### 10.1.2. Незбиране молоко.

Теплоємність в Дж/(кг·К) молока при  $278 < T < 353$  К

$$c = 418,2 + 20,82T - 0,0308T^2 \quad (10.5)$$

при  $303 < T < 353$  К та різного вмісту жиру

$$c = 3932 + 1,51(T - 273) - [22,78 - 0,0624(T - 273)]Ж \quad (10.6)$$

Залежність теплоємності молока від температури та вмісту сухих речовин при  $8 < n < 40$  % та  $313 < T < 353$  К.

$$c = 41,87W + [13,73 + 0,113(T - 273)]n \quad (10.7)$$

Між густиною (градуси ареометра) розбавленого молока  $\rho_p$  та долею доданої в нього води  $D$  встановлена залежність, при  $0 < D < 21$  %

$$\rho_p = \frac{65,23 - D}{2,33} \quad (10.8)$$

Залежність між  $D$  та температурою замерзання молока  $T_z$  (К):

$$D = 99,9 + 1818(T_z - 273). \quad (10.9)$$

Гази, які знаходяться в молоці, помітно впливають на густину. Експериментально встановлено, що густина щойно надоєного молока (вміст газів 7,12 %) дорівнює  $1031,1$  кг/м<sup>3</sup>, а через 2 години вміст газів зменшився до 5,83 %, тому густина збільшилась до  $1031,8$  кг/м<sup>3</sup>.

Стерилізація, пастеризація та гомогенізація не впливають на густину молока (нерозбавленого, нормалізованого та сепарованого).

Таблиця 10.1

#### Формули для визначення густини молока

| $T, \text{ К}$ | $\rho, \text{ кг/м}^3$       | $T, \text{ К}$ | $\rho, \text{ кг/м}^3$       |
|----------------|------------------------------|----------------|------------------------------|
| 293            | $\rho = 1033 - 1,06 \cdot Ж$ | 333            | $\rho = 1018 - 1,06 \cdot Ж$ |
| 303            | $\rho = 1030 - 1,20 \cdot Ж$ | 343            | $\rho = 1013 - 1,79 \cdot Ж$ |
| 313            | $\rho = 1027 - 1,32 \cdot Ж$ | 353            | $\rho = 1007 - 2,10 \cdot Ж$ |
| 323            | $\rho = 1023 - 1,43 \cdot Ж$ |                |                              |

З підвищенням вмісту в молоці знежирених сухих речовин (ЗСР), його

густина в  $\text{кг/м}^3$  збільшується: при  $8,2 < ЗСР < 10,2\%$  та  $T = 283 \text{ К}$

$$\rho = 1005 + 3,14 \cdot ЗСР \quad (10.10)$$

З підвищенням вмісту в молоці знежирених сухих речовин його густина в  $\text{кг/м}^3$  також збільшується: при  $T = 283 \text{ К}$  та  $n = 11 - 16\%$

$$\rho = 1019 + 1,05 \times n \quad (10.11)$$

Густина молока в  $\text{кг/м}^3$  при  $278 < T < 353 \text{ К}$

$$\rho = 934 + 0,965 \cdot T - 22 \cdot 10^{-4} \times T^2 \quad (10.12)$$

Теплопровідність молока на інтервалі  $Ж = 1,6 - 4,0\%$  не залежить від вмісту жиру: при  $278 < T < 353 \text{ К}$ ,  $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$

$$\lambda = 0,29 + 7 \cdot 10^{-4} \cdot T \quad (10.13)$$

Таблиця 10.2

**Температуропровідність молока в  $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$**

| Ж,<br>% | Температура T, К |      |      |      |      |
|---------|------------------|------|------|------|------|
|         | 273              | 293  | 313  | 333  | 353  |
| 1,6     | 12,6             | 13,4 | 14,0 | 14,6 | 15,1 |
| 4,0     | 12,8             | 13,5 | 14,2 | 14,8 | 15,3 |

Динамічна в'язкість ( $\text{Па}\cdot\text{с}$ ) незбираного молока  $\mu$  при  $278 < T < 353 \text{ К}$

$$\ln(\mu \cdot 10^2) = 24,185 - 0,145832T + 1,96 \cdot 10^{-4} T^2 \quad (10.14)$$

Число Прандтля  $Pr$  при  $t = 15^\circ\text{C}$ ,  $Pr = 14,44$

Таблиця 10.3

**Поверхневий натяг  $\sigma$ , Н/м, незбираного молока**

| $t, ^\circ\text{C}$     | 5     | 10    | 15    | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\sigma, \text{ Н / м}$ | 0,047 | 0,046 | 0,045 | 0,043 | 0,043 | 0,043 | 0,042 | 0,041 |

## 10.2. Молочні продукти

### 10.2.1. Згущене молоко.

Питома теплоємність згущеного молока із знежиреного молока (ЗМ), напівжирного молока (ПМ) і незбавленого молока (НМ) з зростанням температури збільшується (таблиця 10.5).



## Формули для визначення теплоємності згущеного молока

| Вид молока | $t, ^\circ\text{C}$ | $\mathcal{J}, \%$ | $n, \%$ | $c, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$       |
|------------|---------------------|-------------------|---------|---|
| ЗМ         | 40 – 70             | 0,26              | 16,24   | $c = 3806 + 1,19 \cdot t$                     |
|            | 0 – 80              | –                 | 20      | $c = 3756 + 3,73 \cdot t - 0,0054 \cdot t^2$  |
|            | 40 – 70             | 0,43              | 27,16   | $c = 3466 + 2,55 \cdot t$                     |
|            | 0 – 80              | –                 | 30      | $c = 3278 + 16,4 \cdot t - 0,13 \cdot t^2$    |
|            | 0 – 80              | –                 | 40      | $c = 2964 + 12,3 \cdot t - 0,02 \cdot t^2$    |
| ПМ         | 40 – 70             | 2,89              | 17,63   | $c = 3697,1 + 1,83 \cdot t$                   |
|            | 40 – 70             | 4,77              | 29,07   | $c = 3433,3 + 2,47 \cdot t$                   |
|            | 40 – 70             | 6,07              | 21,72   | $c = 3605,0 + 2,19 \cdot t$                   |
| НМ         | 0 – 74              | 7,0               | 25,0    | $c = 3558,9 - 0,62 \cdot t + 0,176 \cdot t^2$ |
|            | 40 – 70             | 7,25              | 27,70   | $c = 3424 + 2,83 \cdot t$                     |
|            | 40 – 70             | 10,84             | 39,89   | $c = 3136 + 3,26 \cdot t$                     |

Теплоємність в Дж/(кг·К) згущеного молока із цукром ( $\mathcal{J} = 8,5\%$ ,  $C = 43,5\%$ ,  $W = 43,5\%$ ):

$$c = 2450 + 3,694 \cdot t \quad (10.15)$$

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) згущеного молока без цукру ( $t = 20 - 80$  °С,  $n = 10 - 30\%$ )

$$c\rho = 4,183 \cdot 10^4 \times (64,5 \times n - 9,9 \times t - 3,44 \times nt) \quad (10.16)$$

Густина (кг/м<sup>3</sup>) згущеного молока із ЗМ в залежності від двох визначальних факторів ( $ЗСР = 7,3 - 37,9\%$  і  $t = 10 - 85$  °С)

$$\rho = 1122 + 3,71 \cdot ЗСР - 0,43 \cdot t \quad (10.17)$$

Таблиця 10.5

## Густина згущеного молока з цукром

| Продукт                                    | $T, \text{К}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ |
|--|---------------|------------------------------|
| Пастеризоване молоко                       | 293           | 1029 – 1031                  |
| Молоко із вакуумного апарату               | 293           | 1060 – 1110                  |
| Молоко після всмоктування цукрового сиропу | 313 – 333     | 1060 – 1090                  |
|  | 293           | 1260 – 1290                  |
| Готове згущене молоко з цукром             | 313 – 333     | 1240 – 1270                  |
|  | 293           | 1290 – 1310                  |

Таблиця 10.6

Теплопровідність згущеного молока при  $t = 40\text{ }^\circ\text{C}$ 

| ЗСР, % | Ж, % | $\lambda$ , Вт/(м К) | ЗСР, % | Ж, % | $\lambda$ , Вт/(м К) |
|--------|------|----------------------|--------|------|----------------------|
| 16,2   | 0,23 | 0,590                | 27,1   | 0,42 | 0,567                |
| 16,7   | 2,80 | 0,557                | 27,6   | 4,7  | 0,520                |
|        |      |                      | 27,0   | 7,6  | 0,509                |

Зі збільшенням вмісту ЗСР, наприклад при  $Ж = 10\%$   $ЗСР = 10 - 40\%$ , і  $T = 313\text{ К}$ , теплопровідність в Вт/(м·К) згущеного молока зменшується

$$\lambda = 0,636 - 0,00437 \text{ ОСВ} \quad (10.18)$$

Таблиця 10.7

## Формули для визначення теплопровідності згущеного молока

| Вид молока | Ж, % | ЗСР, % | $\lambda$ , Вт/(м К)  |
|------------|------|--------|---|
| ЗМ         | 0,23 | 16,2   | $\lambda = 0,055 + 0,0021 \cdot T - 73 \cdot 10^{-7} \cdot (T - 273)^2$   |
|            | –    | 20,0   | $\lambda = 0,088 + 0,0015 \cdot T$  |
|            | 0,42 | 27,1   | $\lambda = 0,048 + 0,0020 \cdot T - 71 \cdot 10^{-7} \cdot (T - 273)^2$   |
|            | –    | 30,0   | $\lambda = 0,089 + 0,0014 \cdot T$  |
|            | –    | 40,0   | $\lambda = 0,100 + 0,0013 \cdot T$  |
| ПМ         | 2,8  | 16,7   | $\lambda = -0,052 + 0,0020 \cdot T - 53 \cdot 10^{-7} \cdot (T - 273)^2$  |
|            | 4,7  | 27,6   |   |
| НМ         |      | 10     | $\lambda = 0,144 + 0,0012 \cdot T - 11 \cdot 10^{-7} \cdot (T - 273)^2$   |
|            |      | 10     | $\lambda = 0,248 + 0,0011 \cdot T$  |
|            |      | 20     | $\lambda = 0,214 + 0,0011 \cdot T$  |
|            |      | 5,9    | $\lambda = 0,214 + 0,0011 \cdot T$  |
|            |      | 7,6    | $\lambda = -0,092 + 0,0021 \cdot T - 102 \cdot 10^{-7} \cdot (T - 273)^2$ |
|            |      | 27     | $\lambda = 0,303 + 0,00066 \cdot T$                                       |
|            |      | 7,3    | $\lambda = 0,303 + 0,00066 \cdot T$                                       |
|            |      | 28,7   | $\lambda = 0,0495 + 0,0015 \cdot T - 67 \cdot 10^{-7} \cdot (T - 273)^2$  |
|            |      | 10     | $\lambda = 0,117 + 0,0012 \cdot T$  |
|            |      | 33     | $\lambda = 0,159 + 0,00097 \cdot T - 11 \cdot 10^{-7} \cdot (T - 273)^2$  |
|            | 11,2 | 40     | $\lambda = 0,094 + 0,00077 \cdot T$                                       |
|            | 10   | 50     |   |

Теплопровідність знежиреного молока з цукром ( $C = 43,5\%$ ,  $Ж = 8,5\%$ ,  $W = 43,5\%$ ), Вт/(м К):

$$\lambda = 0,344 + 1,54 \cdot 10^{-3} \cdot t \quad (10.19)$$

Теплопровідність згущеного молока без цукру  
( $20 < t < 80$  °С,  $10 < n < 30$  %)

$$\lambda = 0.588 - 10^{-4} \cdot (10,8 \cdot t + 62 \cdot n + 0.09 \cdot n \cdot t) \quad (10.20)$$

Таблиця 10.8

Температуропровідність згущеного молока  $a \cdot 10^8$  (м<sup>2</sup>/с)

| ЗСР, % | Температура $T$ , К |      |      |      |
|--------|---------------------|------|------|------|
|        | 283                 | 303  | 323  | 343  |
| 16     | 13,3                | 14,2 | 15,0 | 15,7 |
| 20     | 12,5                | 13,1 | 13,7 | 14,3 |
| 30     | 12,5                | 12,5 | 12,9 | 13,6 |

Динамічна в'язкість згущеного молока із цукром залежить від температури пастеризації: при  $t = 85 - 87$ °С  $\mu = 3,3$ , при  $t = 104 - 106$ °С  $\mu = 4,0$ , а при  $t = 110 - 112$ °С  $\mu = 2,7$  Па·с.

Число Прандтля згущеного знежиреного молока при кімнатній температурі  $Pr = 4590$ , а згущеного незбираного з цукром  $Pr = 10500$ .

### 10.2.2. Вершки

Теплоємність в Дж/(кг К) вершків при  $Ж = 30 - 83$  % і  $T = 313 - 363$  К

$$c = 3906 + 1,382 \cdot (T - 273) - [23,86 - 0,0712 \cdot (T - 273)] \cdot Ж \quad (10.21)$$

Таблиця 10.9

Теплофізичні характеристики пастеризованих вершків

| $T$ , К   | $Ж$ , % | $c$ , Дж/(кг К) | $\lambda$ , Вт/(м К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|-----------|---------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| 273 - 275 | 20      | 4145            | 0,336                | 8,0                                |
|           | 35      | 4271            | 0,313                | 7,3                                |
|           | 45      | 4396            | 0,302                | 6,9                                |
| 281 - 283 | 20      | 3873            | 0,348                | 8,9                                |
|           | 35      | 4103            | 0,325                | 8,6                                |
|           | 45      | 4020            | 0,302                | 7,6                                |
| 288 - 290 | 20      | 3768            | 0,360                | 9,6                                |
|           | 35      | 3726            | 0,348                | 6,4                                |
|           | 45      | 3664            | 0,313                | 9,9                                |
| 293 - 295 | 20      | 3643            | 0,383                | 10,6                               |
|           | 35      | 3517            | 0,360                | 10,3                               |
|           | 45      | 3391            | 0,325                | 9,7                                |

Таблиця 10.10

**Формули для визначення теплопровідності вершків  
при  $T = 303 - 353$  К**

| <b>Ж,<br/>%</b> | <b><math>\lambda,</math><br/>Вт/(м К)</b> | <b>Ж,<br/>%</b> | <b><math>\lambda,</math><br/>Вт/(м К)</b> |
|-----------------|---|-----------------|---|
| 10              | $\lambda = -0,030 + 0,0017 \cdot T$       | 45              | $\lambda = -0,134 + 0,0014 \cdot T$       |
| 20              | $\lambda = -0,058 + 0,0016 \cdot T$       | 60              | $\lambda = -0,181 + 0,0013 \cdot T$       |
| 35              | $\lambda = -0,008 + 0,0015 \cdot T$       | 80              | $\lambda = -0,111 + 0,0010 \cdot T$       |

Густина (кг/м<sup>3</sup>) вершків при Ж = 30 – 83 % і T = 313 – 363 К

$$\rho = 1043,5 - 1,17 \cdot Ж - (0,520 + 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot Ж) \cdot (T - 273) \quad (10.22)$$

Зі збільшенням вмісту в вершках жиру від 3,2 до 96 % їх температуропровідність (м<sup>2</sup>/с) при T = 303 К зменшується:

$$a \cdot 10^8 = 13,64 + 0,051 \cdot Ж \quad (10.23)$$

Таблиця 10.11

**Формули для визначення температуропровідності вершків  
при  $T = 303 - 353$  К**

| <b>Ж,<br/>%</b> | <b><math>a,</math><br/>м<sup>2</sup>/с</b> | <b>Ж,<br/>%</b> | <b><math>a,</math><br/>м<sup>2</sup>/с</b> |
|-----------------|--|-----------------|--|
| 10              | $a \cdot 10^8 = 3,5 + 0,032 \cdot T$       | 45              | $a \cdot 10^8 = 3,5 + 0,026 \cdot T$       |
| 20              | $a \cdot 10^8 = 3,0 + 0,032 \cdot T$       | 60              | $a \cdot 10^8 = 3,3 + 0,024 \cdot T$       |
| 35              | $a \cdot 10^8 = 2,2 + 0,032 \cdot T$       | 80              | $a \cdot 10^8 = 0,2 + 0,031 \cdot T$       |

Динамічна в'язкість вершків (Па·с) із 25 < Ж < 40 % при 40 < t < 70 °С

$$\mu = (0,29 \times Ж^2 \times t^{-1,16}) \times 10^{-3} \quad (10.24)$$

при 20 < t < 0 °С

$$\mu = (0,0092 \times Ж^{2,7} \times t^{-0,84}) \times 10^{-3} \quad (10.25)$$

Поверхневий натяг вершків із 10 < Ж < 22 % при зростанні t від 5 до 60 °С знижується від 0,05 до 0,04 Н/м.

### 10.2.3. Масло

Теплоємність масла практично не залежить від його виду.

Таблиця 10.12

#### Теплофізичні характеристики масла

| Масло                              | W,<br>% | c, Дж/(кг·К)<br>при T, К |              |              | $\lambda$ , Вт/(м·К)<br>при T, К |       | $\alpha \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с<br>при T, К |     |
|------------------------------------|---------|--------------------------|--------------|--------------|----------------------------------|-------|--|-----|
|                                    |         | 273 –<br>278             | 283 –<br>288 | 288 –<br>293 | 278                              | 290   | 278  | 290 |
| Несолоне,<br>отримане<br>збиванням | 15,9    | 3094                     | 4421         | 5129         | 0,202                            | 0,230 | 6,7  | 4,7 |
| Солоне,<br>отримане<br>збиванням   | 15,9    | 3266                     | 3948         | 5183         | 0,195                            | 0,206 | 6,7  | 4,3 |
| Любительське                       | 19,2    | 3245                     | 4601         | 4970         | 0,162                            | 0,176 | 5,9  | 4,4 |
| Поточного<br>виробництва           | 16,0    | 3153                     | 4208         | 5200         | 0,195                            | 0,230 | 6,1  | 4,3 |

Теплоємність масла ( $W = 17\%$ ) на інтервалі 303 – 363 К:

$$c = 1941 + 7,61 (T - 273). \quad (10.26)$$

Таблиця 10.13

#### Формули для визначення густини масла

| Масло  | T, К      | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> |
|--|-----------|----------------------------|
| Фасоване<br>поточного приготування                 | 273 – 278 | $\rho = 1488 - 2,0 T$      |
|  | 278 – 283 | $\rho = 2044 - 4,0 T$      |
| Виготовлене в маслоутворювачеві<br>періодичної дії | 278 – 283 | $\rho = 2072 - 4,0 T$      |

Густина солоного масла ( $T = 275\text{--}280$  К) більша, ніж несолоного (відповідно 942 і 938 кг/м<sup>3</sup>).

В результаті трирічного зберігання масла його густина збільшилась від 935 до 952 кг/м<sup>3</sup>, тому що в ньому зменшився вміст повітря.

Теплопровідність масла в Вт/(м·К) в інтервалі 278 – 292 К:

$$\lambda = -0,50 + 0,0025 \cdot T. \quad (10.27)$$

Таблиця 10.14

Густина масла ( $W = 16\%$ ) при  $T = 288\text{ K}$ 

| Масло          | Поточного приготування                   |                                    | Традиційного приготування                |                                    |
|----------------|--|------------------------------------|--|------------------------------------|
|                | вміст повітря,<br>$\text{см}^3/\text{г}$ | $\rho$ ,<br>$\text{кг}/\text{м}^3$ | вміст повітря,<br>$\text{см}^3/\text{г}$ | $\rho$ ,<br>$\text{кг}/\text{м}^3$ |
| Необроблене    | 0,098 – 0,097                            | 869 – 880                          | 0,030 – 0,047                            | 937 – 903                          |
| Гомогенізоване | 0,063 – 0,079                            | 896 – 891                          | 0,089 – 0,0                              | 954 – 937                          |
| Фасоване       | 0,125 – 0,064                            | 888 – 886                          | 0,0 – 0,076                              | 921 – 926                          |

Таблиця 10.15

## Температуропровідність вершкового масла

| Продукт                               | $t$ , °C | $a \cdot 10^6$ , $\text{м}^2/\text{с}$ |
|---------------------------------------|----------|--|
| Масло, вироблене<br>способом Мелешина | 0 – 2    | 0,0508                                 |
|                                       | 18 – 20  | 0,0822                                 |
| Масло, отримане збиванням             | 0 – 2    | 0,0497                                 |
|                                       | 18 – 20  | 0,0614                                 |

Таблиця 10.16

## Залежність в'язкості вершкового масла від тривалості перемішування високожирних вершків у маслоутворювачеві

| Тривалість перемішування, хв | $\mu$ , Па·с |
|------------------------------|--------------|
| 7                            | 0,042        |
| 53                           | 0,048        |
| 75                           | 0,053        |
| 115                          | 0,037        |
| 154                          | 0,03         |
| 192                          | 0,025        |

Жирність вершків 35–40 %, кислотність 13–16°Т, температура пастеризації 95°С, температура сепарування 75°С.

Таблиця 10.17

## Залежність в'язкості вершкового масла від часу його обробки в маслоутворювачеві

| $\tau$ , с | $\mu \cdot 10^4$ , Па·с | $t$ , °C | Проба на термостійкість | Характеристика |                 |
|------------|-------------------------|----------|-------------------------|----------------|-----------------|
|            |                         |          |                         | бал            | консистенція    |
| 60         | 3,6                     | 16       | Зберігає форму          | 21             | Крихтлива       |
| 180        | 2,1                     | 16       | Те саме                 | 25             | Хороша          |
| 360        | 1,4                     | 16       | Розпливається           | 21             | М'яка           |
| 540        | 0,6                     | 16       | Швидко розпливається    | –              | Вазеліноподібна |

$\tau$  – час обробки в зоні кристалізації.

$t$  – температура до якої охолоджувався продукт.

Твердість вершкового масла, Н/см<sup>2</sup>

| Продукт  | Твердість при температурі, °С |        |        |        |        |        |         |         |
|--|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
|  | 17                            | 10     | 5      | 0      | -5     | -9     | -14     | -18     |
| Масло<br>несолоне<br>звичайного<br>виробництва | 0,3638                        | 0,8983 | 1,5553 | 2,9194 | 5,7437 | 7,9767 | 10,4215 | 18,3129 |
| Масло<br>любительське                          | 0,3148                        | 0,6913 | 1,4602 | 2,6811 | 4,8366 | 7,2491 | 9,1565  | 16,9116 |

## 10.2.4. Жир молочний.

Залежність  $c = f(T)$  для молочного жиру визначається його станом. В зоні твердого стану ( $T < 243$  К) теплоємність жиру практично стала і складає 1450 Дж/(кг·К). При плавленні жиру теплоємність різко зростає, досягаючи значення 6400 Дж/(кг·К) при  $T = 279$  °С, а на кривій  $c = f(T)$  спостерігаються ще менш виражені піки, які відповідають плавленню різноманітних груп тригліцеридів. Під час застигання пік теплоємності  $c$  відповідає  $T = 290$  К – відбувається своєрідний гістерезис. При  $T > 310$  К усі тригліцериди знаходяться у рідкому стані.

Теплоємність молочного жиру в Дж/(кг·К) при  $T < 350$  К:

$$c = 1750 + 7,1 \cdot t. \quad (10.28)$$

Таблиця 10.19

Густина молочного жиру в кг/м<sup>3</sup>

| Охолодження | Температура $T$ , К |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 273                 | 278   | 283   | 285   | 288   | 293   | 298   | 303   | 313   |
| Швидке      | 961,8               | 955,0 | 946,4 | 944,4 | 940,2 | 929,9 | 921,9 | 914,4 | 903,6 |
| Ступінчате  | 955,2               | 950,5 | 941,9 | –     | 934,3 | 926,9 | 922,1 | 914,3 | 903,6 |

Густина жиру коров'ячого молока: в інтервалі 293 – 303 К

$$\rho = 1319 - 1,34 \cdot T; \quad (10.29)$$

в інтервалі 303 – 343 К

$$\rho = 1126,6 - 0,71T. \quad (10.30)$$

Таблиця 10.20

**Температурний коефіцієнт об'ємного розширення жиру коров'ячого молока**

| <i>T</i> , К                      | 303 – 313 | 313 – 323 | 323 – 333 | 333 – 373 |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $\beta \cdot 10^3, \text{K}^{-1}$ | 0,78      | 0,79      | 0,79      | 0,80      |

Температурний коефіцієнт об'ємного розширення, що викликаний зміною агрегатного стану жиру, дорівнює  $18,24 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ .

Теплопровідність жиру коров'ячого молока в Вт/(м·К):

до  $T = 288 \text{K}$

$$\lambda = 0,037 + 0,000470 \cdot T; \quad (10.31)$$

при  $T = 288 - 363 \text{K}$

$$\lambda = 0,216 - 0,00155 \cdot T. \quad (10.32)$$

Таблиця 10.21

**Теплопровідність молочного жиру**

| <i>W</i> , % | Склад повітря, % | $\lambda$ , Вт/(м·К) |
|--------------|------------------|----------------------|
| 0,3          | 0,1              | 0,163                |
| 14,5         | 0,1              | 0,208                |
| 16,9         | 6,5              | 0,190                |
| 15,3         | 10,0             | 0,173                |

Температуропровідність жиру коров'ячого молока в  $\text{м/с}^2$  при  $T = 288 \text{K}$  має мінімальне значення –  $2,5 \cdot 10^{-8} \text{м/с}^2$ .

В інтервалі  $36 - 80 \text{°C}$ :

$$a \cdot 10^8 = 10,58 - 0,0351 \cdot t + 0,000078 \cdot t^2. \quad (10.33)$$

Динамічна в'язкість молочного жиру із температурою плавлення  $31,5 \text{°C}$  в межах  $35 - 100 \text{°C}$  в  $\text{Па} \cdot \text{с}$ :

$$\mu = 9046 \cdot 10^4 \cdot \exp(-0,0283 \cdot t). \quad (10.34)$$

### 10.2.5. Сухе молоко.

Теплоємність сухого нерозбавленого молока ( $T = 308 - 313 \text{K}$ ) і сухого знежиреного молока ( $T = 291 - 303 \text{K}$ ), які отримані розпорозувальною сушкою,



відповідно дорівнюють 1382 – 1507 і 1172 – 1340 Дж/(кг·К).

Таблиця 10.22

**Формули для визначення теплоємності сухого молока**

| Сухе молоко  | Спосіб сушки     | W,<br>% | Ж,<br>% | T,<br>К | c,<br>Дж/(кг·К)            |
|--------------|------------------|---------|---------|---------|----------------------------|
| Нерозбавлене | Розпорошувальний | 3,0     | 18      | 294–358 | $c = 1219 + 0,95 \cdot T$  |
|              | Вальцьований     | 3,5     | 18      | 294–358 | $c = 1280 + 0,83 \cdot T$  |
| Знежирене    | –                | 2,2     | –       | 253–313 | $c = -3103 + 15,0 \cdot T$ |

Таблиця 10.23

**Насипна густина цільного сухого молока  $\rho_n$ , кг/м<sup>3</sup>**

| Сухе молоко | Жирність Ж, % |     |     |     |     |
|-------------|---------------|-----|-----|-----|-----|
|             | 1             | 2   | 5   | 10  | 26  |
| Цільне      | 239           | 186 | 147 | 108 | 100 |
| Знежирене   | 268           | 237 | 233 | 192 | 136 |

Таблиця 10.24

**Насипна густина цільного сухого молока  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>**

| Сухе молоко | Жирність Ж, % |      |      |      |
|-------------|---------------|------|------|------|
|             | 2,5           | 5    | 10   | 15   |
| Цільне      | 1050          | 1040 | 1200 | 1280 |
| Знежирене   | 1115          | 1113 | 1113 | 1200 |

Таблиця 10.25

**Густина і теплопровідність сухого молока**

| Сухе молоко    | Спосіб сушки   | W, % | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $\rho_n$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) |
|----------------|----------------|------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Нерозбавлене   | Піносушка      | 3,9  | –                             | 450                             | –                       |
|                | Розпорошене    | 4,2  | –                             | 610                             | –                       |
|                | «              | 2,4  | –                             | 440                             | 0,211                   |
|                | «              | 3,11 | 1233                          | 609                             | –                       |
| Знежирене      | «              | 4,0  | –                             | 550                             | 0,258                   |
|                | Пінорозпилення | 3,71 | 1292                          | 606                             | –                       |
|                | Барабанний     | –    | –                             | 172                             | 0,185                   |
| Швидкорозчинне | –              | 3,2  | –                             | 466                             | 0,247                   |
|                |                | 4,5  | –                             | 332                             | –                       |
|                |                | 3,2  | –                             | 304                             | 0,182                   |

Таблиця 10.26

**Формули для визначення теплопровідності  
сухого нерозбавленого молока при  $T = 308 - 388$  К**

| Сухе молоко         | W, % | Ж, % | $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | $\lambda$ , Вт/м·К                 |
|---------------------|------|------|------------------------------|------------------------------------|
| Розпилюючої сушки   | 3,0  | 18   | 540                          | $\lambda = -1,95 + 0,0076 \cdot T$ |
|                     |      |      | 628                          | $\lambda = -2,35 + 0,0091 \cdot T$ |
|                     |      |      | 660                          | $\lambda = -2,02 + 0,0083 \cdot T$ |
|                     |      |      | 526                          | $\lambda = -2,32 + 0,0087 \cdot T$ |
| Висушене на вальцях | 3,5  | 18   | 613                          | $\lambda = -2,44 + 0,0093 \cdot T$ |
|                     |      |      | 659                          | $\lambda = -2,2 + 0,0088 \cdot T$  |

Для знежиреного сухого молока ( $\rho_n = 580$  кг/м<sup>3</sup>) в інтервалі  $T = 314 - 339$  К теплопровідність в Вт/(м·К):

$$\text{при } W = 4,2 \% \quad \lambda = -1,65 + 0,0066 \cdot T \quad (10.35)$$

$$\text{при } W = 5,8 \% \quad \lambda = -0,78 + 0,0041 \cdot T \quad (10.36)$$

$$\text{при } W = 6,9 \% \quad \lambda = -1,08 + 0,0051 \cdot T \quad (10.37)$$

З підвищенням вологості ( $W = 2,4 - 15$  %) нерозбавленого сухого молока ( $T = 333$  К,  $\rho_n = 440$  кг/м<sup>3</sup>) теплопровідність в Вт/(м·К) збільшується:

$$\lambda = 0,172 + 0,024 \cdot W \quad (10.38)$$

Таблиця 10.27

**Теплопровідність сухого молока  $a \cdot 10^8$  в м<sup>2</sup>/с при  $T = 333$  К**

| Сухе молоко  | Густина $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> |      |      |      |
|--------------|--------------------------------------|------|------|------|
|              | 450                                  | 500  | 600  | 700  |
| Нерозбавлене | 22,0                                 | 24,0 | 26,6 | —    |
| Знежирене    | 28,0                                 | 26,3 | 25,0 | 23,9 |

### 10.2.6. Сир (творог)

Таблиця 10.28

**Формули для визначення теплоємності і густини сиру при  $T = 283 - 353$  К**

| Сир                   | ЗСР, % | Ж, % | $c$ , Дж/(кг·К)           | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>                              |
|-----------------------|--------|------|---------------------------|---|
| Із знежиреного молока | 19,0   | —    | $c = 4033 - 0,45 \cdot T$ | $\rho = 1111 - 0,2 \cdot T - 0,0088 \cdot (T - 273)^2$  |
| Із жирного молока     | 24,0   | 46,0 | $c = 3760 + 0,17 \cdot T$ | $\rho = 1111 - 0,32 \cdot T - 0,0092 \cdot (T - 273)^2$ |

Таблиця 10.29

## Теплофізичні характеристики сиру

| Сир                   | $T, K$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $a\cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|-----------------------|--------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Із знежиреного молока | 291    | 1050                  | 3903                             | 0,53                                  | 13,0                               |
|                       | 292    | 1015                  | 3810                             | 0,44                                  | 11,0                               |
| Із жирного молока     | 326    | 982                   | 3815                             | 0,53                                  | 14,1                               |

## 10.2.7. Сир (бринза).

В інтервалі 286 – 276 К для сиру  $\rho = 1094 \text{ кг/м}^3$  і  $\lambda = 0,27 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

ТФХ жирного сиру:  $\rho = 1080 \text{ кг/м}^3$ ,  $c = 2428 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda = 0,35 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  
 $a = 13,3\cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Таблиця 10.30

## Температуропровідність сиру та бринзи

| Продукт                  | W,<br>% | Ж,<br>% | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $a\cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ при $T, K$ |      |      |             |       |      |
|--------------------------|---------|---------|-----------------------|---|------|------|-------------|-------|------|
|                          |         |         |                       | нагрівання                                    |      |      | охолодження |       |      |
|                          |         |         |                       | 286   | 300  | 310  | 305         | 295   | 278  |
| Бринза: "Витоша"         | 42      | 29      | 1080                  | 9,3   | 10   | 11,3 | 10,1        | 9,4   | 8,62 |
| "Балканська"             | 38      | 34      | 1070                  | 8,8   | 9,55 | 11   | 9,6         | 8,9   | 8,03 |
| Сир з коров'ячого молока | 50,2    | 25      | 1075                  | 10,3  | 11,1 | 11,8 | 10,9        | 10,38 | 9,7  |
| Сир з овечого молока     | 48,5    | 27      | 1065                  | 9,95  | 10,7 | 11,4 | 10,4        | 9,85  | 9,1  |

## 10.2.8. Казеїн. Сироватка. Лактоза.

Таблиця 10.31

Густина казеїну  $\rho, \text{кг/м}^3$  (рН = 7)

| Казеїн             | Температура $T, K$ |      |      |      |      |      |
|--------------------|--------------------|------|------|------|------|------|
|                    | 293                | 298  | 303  | 308  | 313  | 323  |
| Коров'ячого молока | –                  | 1290 | 1268 | 1255 | 1291 | 1349 |
| Молока буйволиці   | 1359               | 1292 | 1246 | 1245 | 1270 | 1316 |

Таблиця 10.32

**Дійсна, фізична і насипна густина казеїну, сироватки і лактози**

| Суша луска | $\rho_d$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> |
|------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Казеїн     | 1370                         | 1120                         | –                            |
| Сироватка  | 1560                         | 950                          | 570                          |
| Лактоза    | 1475                         | 1360                         | –                            |

Теплопровідність сироватки в Вт/(м·К) в інтервалі 293 – 363 К:

$$\lambda = 5,221 - 3,185 \cdot 10^{-2} \cdot T + 5,53 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 \quad (10.39)$$

Таблиця 10.33

**ТФХ сироватки**

| Матеріал       | $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|----------------|------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| Суша сироватка | 570                          | 1717            | 0,13                 | 14,4                               |
| Сироватка      | 1027                         | 4082            | 0,54                 | 12,8                               |

Таблиця 10.34

**Формули для визначення теплоємності водного розчину лактози**

| CP,<br>% | T,<br>К   | $c$ ,<br>Дж/(кг·К)       |
|----------|-----------|--------------------------|
| 5        | 288 – 363 | $c = 3812 + T$           |
| 10       | 288 – 363 | $c = 3559 + 1,4 \cdot T$ |
| 20       | 303 – 363 | $c = 9700 + 3,7 \cdot T$ |
| 30       | 323 – 363 | $c = 1670 + 6,2 \cdot T$ |
| 40       | 338 – 363 | $c = 1028 + 7,5 \cdot T$ |

Таблиця 10.35

**Густина 5% – ного розчину лактози**

| T, К                       | 283  | 293  | 303  | 313  | 323  | 343  | 353 | 363 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | 1020 | 1018 | 1015 | 1012 | 1007 | 1003 | 997 | 991 |

Таблиця 10.36

**Теплопровідність водного розчину лактози в Вт/(м·К)**

| CP, % | Температура T, К |      |       |       |       |       |
|-------|------------------|------|-------|-------|-------|-------|
|       | 293              | 303  | 313   | 323   | 343   | 363   |
| 10    | 0,595            | 0,61 | 0,629 | 0,657 | 0,723 | 0,808 |
| 20    | –                | –    | 0,613 | 0,639 | 0,702 | 0,778 |
| 30    | –                | –    | –     | 0,616 | 0,673 | 0,745 |
| 40    | –                | –    | –     | –     | 0,642 | 0,702 |

### 10.3. Енергетична цінність молока та молочних продуктів

Таблиця 10.37

#### Енергетична цінність молока та молочних продуктів

| Продукт            | Ж,<br>% | Ец,<br>кДж/кг | Продукт                 | Ж,<br>% | Ец,<br>кДж/кг |
|--------------------|---------|---------------|-------------------------|---------|---------------|
| Молоко             |         |               | Молоко сухе             | 25      | 19,87         |
| Пастеризоване      | 3,2     | 2,43          |                         | 1       | 14,6          |
| Знежирене          | 0,05    | 1,3           | Молоко згущене          | 15      | 17,74         |
| Білкове            | 1       | 2,13          |                         | 7,9     | 5,65          |
| Стерилізоване      | 3,5     | 2,55          | З цукром                | 9,5     | 6,78          |
|                    | 3,2     | 2,13          |                         | 8,5     | 13,18         |
| Ацидефільне        | 3,2     | 3,47          | Масло вершкове          | 82,5    | 11,3          |
| Пряжене            | 6       | 3,51          | Несолоне                |         |               |
| Вершки             | 10      | 4,94          |                         | 82,5    | 31,3          |
|                    | 20      | 8,58          |                         | 78      | 29,66         |
|                    | 35      | 14,1          | Топлене                 | 72,5    | 27,66         |
| Сметана            | 10      | 4,88          | Сири тверді             | 98      | 37,1          |
|                    | 20      | 8,62          | Голландський            |         |               |
|                    | 25      | 10,38         | Російський              | 27,3    | 15,1          |
|                    | 30      | 12,26         | Рокфор                  | 30      | 15,52         |
| Сир кисло-молочний | 18      | 9,45          | Розсольні               |         |               |
|                    | 9       | 6,52          | Бринза із молока корови | 30,3    | 15,19         |
|                    | 0,6     | 3,6           | Бринза із молока вівці  | 20,1    | 10,88         |
| Маса сиркова       | 23      | 14,22         | Сулугуні                | 25      | 12,47         |
| Кефір              | 3,2     | 2,48          | Плавлені                | 22      | 11,92         |
|                    | 1       | 2,05          | Російський              | 27      | 14,2          |
|                    | 0,05    | 1,26          | Новий                   | 19      | 11,3          |
| Ряжанка            | 6       | 3,56          |                         |         |               |

## РОЗДІЛ 11. КАРТОПЛЯ ТА ПРОДУКТИ З НЕЇ, КРОХМАЛЬ

### 11.1. Картопля свіжа

Густина бульби залежить не тільки від вмісту в них сухих речовин і вологи, але і від вмісту газів. У бульбах масова частка внутрішньотканевих газів складає 0,04 – 0,09. Так в тканинах картоплі сорту Лорх вона складає 0,056. Тому при однаковій масовій частці сухих речовин  $n$  густина бульб різна (таблиця 11.1).

Таблиця 11.1

Густина свіжих бульб при  $T = 274 \text{ К}$

| Сорт           | $n$   | $P, \%$ | $\rho_{\phi}, \text{ кг/м}^3$ |
|----------------|-------|---------|-------------------------------|
| Домодедовський | 0,154 | 6,9     | 1017                          |
| Весна          | 0,150 | 2,9     | 1058                          |
| Гатчинський    | 0,168 | 3,7     | 1060                          |
| Нєвський       | 0,182 | 3,7     | 1068                          |

Фізичну густину бульб, зазвичай, виражають як функцію масової частки сухої речовини або вологи, а вміст газів в них не вказують. Густина ( $\text{кг/м}^3$ ) при  $0,10 < n < 0,35$  і  $T \approx 283 \text{ К}$

$$\rho_{\phi} = 987 + 465 \cdot n \quad (11.1)$$

Формула, що виражає залежність густини ( $\text{кг/м}^3$ ) бульб від масової частки сухої речовини і вмісту газів  $\Gamma$ , має вигляд

при  $0,10 < n < 0,30$  і  $0 < \Gamma < 1,7\%$ :

$$\rho_{\phi} = \frac{100 - \Gamma}{0,1 - 0,0355n} \quad (11.2)$$

Результати дослідження густини показали, що вона не однакова у картоплі різних сортів і помітно менше в серцевинній частині (таблиця 11.2). Визначається це тим, що у зовнішніх шарах бульби міститься в 1,5 – 3,0 разів більше сухої речовини, ніж в серцевині.

Об'ємна маса бульб мало залежить від їх розмірів. Так, при зменшенні останніх в 3 – 5 разів об'ємна маса збільшилась тільки на 7%. При наявності в шарі великих і дрібних бульб їх об'ємна маса на 15 – 20% більша, ніж об'ємна маса бульб з приблизно однаковими розмірами. Об'ємна маса картоплі складає

від 650 до 770 кг/м<sup>3</sup>. Її можна визначити за формулою:

$$\rho_n = [0,253 + 0,01644 \sqrt{\left(\frac{1}{L} - 1\right)}] \times \rho_\phi, \quad (11.3)$$

де:  $L$  – визначальний розмір.

Шпаруватість шару бульб складає від 0,40 до 0,42.

Таблиця 11.2

**Густина (кг/м<sup>3</sup>) свіжих бульб і їх частин**

| Сорт                  | Бульба | Частини  |          |           |
|-----------------------|--------|----------|----------|-----------|
|                       |        | зовнішня | проміжна | серцевина |
| Merimack              | 1102,9 | 1108,9   | 1098,2   | 1071,7    |
| Red La Sodo           | 1073,1 | 1072,7   | 1083,6   | 1062,3    |
| Середнє для 14 сортів | 1085,5 | 1088,0   | 1088,9   | 1067,4    |
| Green Mountain        | 1093,0 | 1095,7   | 1091,6   | 1071,3    |
| Sebago                | 1061,1 | 1060,8   | 1066,3   | 1050,8    |
| Середнє для 15 сортів | 1072,5 | 1073,1   | 1076,4   | 1061,4    |

Теплоємність картоплі зазвичай виражають через масову частку води (таблиця 11.3).

Таблиця 11.3

**Теплоємність свіжих бульб**

| $W$  | $c, \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $W$  | $c, \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ |
|------|--|------|--|
| 0,74 | 3350                                     | 0,78 | 3576                                     |
| 0,75 | 3475                                     | 0,80 | 3643                                     |

У картоплі ранніх і осінніх сортів ТФХ відрізняються мало (таблиця 11.4).

Таблиця 11.4

**ТФХ свіжих бульб різних термінів дозрівання**

| Картопля | $W$   | $\rho_\phi, \text{ кг}/\text{м}^3$ | $c, \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $\lambda, \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ |
|----------|-------|------------------------------------|--|---|--------------------------------------|
| Рання    | 0,797 | 1034                               | 3620                                     | 0,59  | 15,8                                 |
| Осіння   | 0,812 | 1076                               | 3660                                     | 0,57  | 14,5                                 |

Значення теплоємності бульб практично не залежить від їх сорту.

Коефіцієнт температуропровідності ( $a \cdot 10^8$ , м<sup>2</sup>/с) сирих і підігрітих бульб

| Бульба    | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> |        |        |        |        |        |        |
|-----------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|           | 1037,5                       | 1045,7 | 1047,7 | 1048,3 | 1048,9 | 1051,4 | 1051,7 |
| Сира      | 13,5                         | 12,4   | 9,7    | 10,1   | 9,6    | 14,1   | 12,5   |
| Підігріта | 13,7                         | 14,4   | 10,6   | 10,4   | 10,4   | 14,9   | 13,3   |

ТФХ свіжих бульб, наведені в літературі, помітно відрізняються (таблиця 11.6)

Таблиця 11.6.

## ТФХ свіжих бульб (за даними різних джерел)

| $W$   | $\rho_f$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $c$ ,<br>Дж/(кг·К) | $c\rho$ ,<br>кДж/(м <sup>3</sup> ·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|-------|---------------------------------|--------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| 0,70  | —                               | —                  | 4354                                 | 0,63                    | 14,5                                  |
| 0,793 | 1065                            | 3600               | 3843                                 | 0,442                   | 11,53                                 |
| —     | 1004                            | 3460               | 3474                                 | 0,54                    | 15,5                                  |
| 0,798 | 1080                            | 3790               | 4093                                 | 0,52                    | 12,7                                  |
| 0,800 | 1000                            | 3600               | 3600                                 | 0,50                    | 13,9                                  |
| 0,815 | 1055                            | 3770               | 3977                                 | 0,59                    | 15,0                                  |
| 0,750 | 986                             | 3771               | 3718                                 | 0,58                    | 15,6                                  |
| —     | —                               | —                  | —                                    | —                       | 17,0                                  |

**Картопля при зберіганні.** В процесі зберігання бульб масова частка вологи в них зменшується, а вміст газів збільшується. Тому теплопровідність і температуропровідності картоплі із збільшенням терміну зберігання зменшуються :

при  $1 < \tau < 10$  місяці і  $T = 333$  К

$$\lambda = 0,66 - 0,00116 \cdot \tau \quad (11.4)$$

$$a \cdot 10^8 = 16,9 - 0,19 \cdot \tau \quad (11.5)$$

При зберіганні в контейнері бульб, що продуваються повітрям, теплопровідність їх шару тим більша, чим більша швидкість руху повітря (таблиця 11.7).



**Теплопровідність шару бульб  
при  $T = 282\text{ К}$  і зберіганні в контейнері КС–00**

| $v, \text{ м/с}$ | $\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $\psi^*$ | $v, \text{ м/с}$ | $\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $\psi^*$ |
|------------------|--|----------|------------------|--|----------|
| 0                | 0,30                                   | 1,0      | 0,25             | 1,85                                   | 2,30     |
| 0,15             | 0,84                                   | 2,8      | 0,40             | 6,1                                    | 7,6      |

\* Коефіцієнт, що показує, у скільки разів теплопровідність шару більша при наявності вимушеної конвенції повітря.

**Тепломасообмінні характеристики картоплі.** Транспіраційний коефіцієнт  $k_t = \varepsilon_g \beta$  для картоплі залежить від багатьох факторів: як і  $\varepsilon_g$  для м'яса (див. 5.1.1) – від швидкості та температури повітря, від стану та товщини шкірки, а також швидкості дифузії води із середини бульби до поверхні. Крім того, коефіцієнт масовіддачі  $\beta$  є такою складною функцією температури та швидкості повітря. В дослідях величина  $k_t$  змінювалась від 2 до  $171 \text{ м}^2/(\text{кг}\cdot\text{с}\cdot\text{МПа})$ , а в середньому дорівнювала 44, що близько до теоретично визначеної величини  $k_t = 42,7 \text{ м}^2/(\text{кг}\cdot\text{с}\cdot\text{МПа})$ .

Безпосередньо визначена випарна здатність молоді картоплі складає  $\varepsilon_g = 0,1$ , а зрілої  $\varepsilon_g = 0,012$ .

Теплота дихання картоплі  $q$ , Дж/(кг·год), овочів та фруктів :

$$q = q_0 \exp(b \cdot t), \quad (11.6)$$

де:  $q_0$  – теплота дихання при  $0^\circ\text{C}$ ,  $b$  – температурний коефіцієнт.

Середні значення для картоплі  $q_0 = 10$ ;  $b = 0,062$ .

Теплота, що виділяється внаслідок окислення компонентів картоплі, лише на 2% відрізняється від теплоти дихання і складає в середньому  $51 \text{ Дж(кг}\cdot\text{год)}$ .

### 11.1.1. Картопля при варінні і нагріванні.

Теплоємність бульб при варінні у воді збільшується, тому що збільшується їх температура і підвищується вологість. Останнє викликано тим, що вода, яка нагріває, частково витісняє гази, які містяться в бульбах. Тому, коли масова частка води в свіжій картоплі складає 0,75, то у вареній – 0,80, а її

теплоємність відповідно 3517 і 3543 Дж/(кг·К).

Теплопровідність і коефіцієнт температуропровідності картоплі при варінні залежить від багатьох факторів, в тому числі: 1) наявності або відсутності шкірки (таблиця 11.8); 2) способу варіння (таблиця 11.9); 3) способу очищення бульб від шкірки (таблиця 11.10).

Таблиця 11.8

**ТФХ картоплі при варінні в киплячій воді**

| Сорт               | Бульби  |                 |                |  |           |                 |                |  |
|--------------------|---------|-----------------|----------------|--|-----------|-----------------|----------------|--|
|                    | очищені |                 |                |  | неочищені |                 |                |  |
|                    | W       | c,<br>Дж/(кг·К) | λ,<br>Вт/(м·К) | a·10 <sup>8</sup> ,<br>м <sup>2</sup> /с | W         | c,<br>Дж/(кг·К) | λ,<br>Вт/(м·К) | a·10 <sup>8</sup> ,<br>м <sup>2</sup> /с |
| Лорх               | 0,800   | 3600            | 0,58           | 25,2                                     | 0,812     | 3600            | 0,61           | 16,3                                     |
| Берліхінген        | 0,792   | 3500            | 0,60           | 15,3                                     | 0,793     | 3500            | 0,65           | 16,2                                     |
| Приєкуль-<br>ський | 0,816   | 3600            | 0,62           | 15,7                                     | 0,800     | 3600            | 0,66           | 16,7                                     |
| Передовик          | 0,801   | 3600            | 0,62           | 15,8                                     | 0,798     | 3500            | 0,64           | 16,3                                     |

Значення теплопровідності і температуропровідності очищених від шкірки бульб менше, ніж неочищених, тому що шкірка перешкоджає масообміну, який направлений назустріч тепловому потоку. ТФХ картоплі практично не залежать від їх сорту (таблиця 11.8).

Таблиця 11.9

**ТФХ картоплі при W = 0,77 – 0,80 і різних видах варіння**

| Варіння                           | ср, кДж/(м <sup>3</sup> ·К) | λ, Вт/(м·К) | a·10 <sup>8</sup> , м <sup>2</sup> /с |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------|---------------------------------------|
| У воді, яка:<br>нагрівається      | 3829                        | 0,67        | 17,5                                  |
| кипить                            | 4000                        | 0,64        | 16,0                                  |
| У вологій насиче-ній водяній парі | 3831                        | 0,59        | 15,4                                  |

Таблиця 11.10

**ТФХ очищеної картоплі при варінні в киплячій воді**

| Спосіб<br>очищення | Характеристика<br>зразка | W     | c,<br>Дж/(кг·К) | λ,<br>Вт/(м·К) | a·10 <sup>8</sup> ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|--------------------|--------------------------|-------|-----------------|----------------|--|
| Механічний         | Сульфітований            | 0,777 | 3517            | 0,57           | 14,7                                     |
| Вогневий           | »                        | 0,771 | 3517            | 0,605          | 15,55                                    |
| Механічний         | Несульфітований          | 0,790 | 3601            | 0,57           | 14,7                                     |

Значення теплопровідності і температуропровідності картоплі при варінні у воді, що нагрівається і кипить, більші, ніж при варінні іншими способами, тому що масообмін вологи із внутрішній шарів до зовнішніх, який перешкоджає поширенню тепла в бульбах, у цьому випадку незначний. Теплопровідність і температуропровідність картоплі мінімальні при варінні у вологій насиченій водяній парі. Пояснюється це тим, що при такому варінні поверхневі шари бульб підсушуються, викликаючи рух вологи із центральних шарів назустріч тепловому потоку.

При нагріванні бульб ( $W = 0,815$ ) від 275 до 305 К їх теплопровідність дорівнює 0,564 Вт/(м·К).

З підвищенням температури картоплі в процесі варіння його теплопровідність збільшується (таблиця 11.11).

Таблиця 11.11

**ТФХ картоплі під час варіння**

| Показник                           | Температура |           |           |
|------------------------------------|-------------|-----------|-----------|
|                                    | 293 – 313   | 323 – 343 | 343 – 363 |
| $W$                                | 0,752       | 0,712     | 0,632     |
| $c\rho$ , кДж/(кг <sup>3</sup> ·К) | 3990        | 3632      | 4530      |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,49        | 0,56      | 0,65      |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 12,28       | 15,42     | 14,35     |

При нагріванні теплопровідність бульб (при  $283 < T < 333$  К) визначається формулою

$$\lambda = - 0,896 + 0,00525 \cdot T \quad (11.7)$$

Експериментально встановлено, що з підвищенням температури бульб до 343 К температуропровідність збільшується, а при її подальшому підвищенні – зменшується (таблиця 11.11).

Зазначена залежність температуропровідності картоплі визначається тим, що при  $T = 343$ К закінчується процес клейстеризації крохмалю. Після цього температуропровідність зменшується. Однак, при  $T > 343$  К температуропровідність нагрітих бульб більша, ніж у свіжих.

Температуропровідність бульб при нагріванні ( $293 < T < 343$  К,  $W = 0,78$  і  $\rho_{\phi} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>)

$$a \cdot 10^8 = -7,3 + 0,0751 \cdot T \quad (11.8)$$

Дані, про вплив подрібнення картоплі на її теплопровідність, суперечливі. За одними даними, подрібнення практично не впливає на теплопровідність, а результати інших дослідів дозволяють зробити висновок, що теплопровідність подрібнених бульб більша, ніж цілих (таблиця 11.12).

Таблиця 11.12

**ТФХ варених цілих і подрібнених бульб**

| Бульба     | W     | $\rho_{\phi}$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | c,<br>Дж/(кг·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|------------|-------|--------------------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Ціла       | 0,778 | 1095                                 | 3601            | 0,61                    | 15,4                                  |
| Подрібнена | 0,785 | 985                                  | 3622            | 0,605                   | 17,2                                  |
| Ціла       | –     | 1060                                 | 3230            | 0,54                    | 13,6                                  |
| »          | 0,800 | –                                    | –               | 0,605                   | –                                     |
| Подрібнена | 0,835 | –                                    | –               | 0,727                   | –                                     |
| »          | 0,825 | –                                    | –               | 0,779                   | –                                     |

Можна припустити, що сам процес подрібнення бульб не впливає на теплопровідність його частин. Все залежить від того, з якої частини (серцевини, проміжної чи зовнішньої) виготовлений зразок. Варто мати на увазі, що густина різних частин не однакова, а відповідно, відрізняються їх теплопровідність і температуропровідність. Експериментально встановлено, що теплопровідність і температуропровідність зовнішніх шарів більші, ніж центральних.

**11.1.2. Картопля при обсмажуванні**

Обсмажування супроводжується масообміном, направленим із бульби в середовище, що нагрівається. При температурі олії нижче 373 К масообмін незначний, тому з підвищенням температури олії теплопровідність і коефіцієнт температуропровідності бульби збільшуються. При температурі олії вище 373 К масообмін збільшується, тому теплопровідність і температуропровідність бульб зменшуються (таблиця 11.12).

ТФХ картоплі при обсмажуванні практично не залежать від сорту (таблиця 11.13).

Таблиця 11.13

**ТФХ картоплі при обсмажуванні**

| <i>T</i> , К | Відносний масообмін, % | <i>c<sub>p</sub></i> , кДж/(кг·К) | <i>λ</i> , Вт/(м·К) | <i>a</i> ·10 <sup>8</sup> , м <sup>2</sup> /с |
|--------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|---|
| 333          | 1,5                    | 3182                              | 0,28                | 8,8   |
| 353          | 1,5                    | 3388                              | 0,41                | 12,1  |
| 373          | 4,5                    | 3529                              | 0,42                | 11,9  |
| 393          | 12,5                   | 3599                              | 0,34                | 9,7   |
| 413          | 19,5                   | 3750                              | 0,27                | 7,2   |
| 433          | 25,5                   | 3509                              | 0,20                | 5,7   |
| 453          | 31,5                   | 3404                              | 0,16                | 4,7   |
| 463          | 33,0                   | 3571                              | 0,18                | 4,2   |

Таблиця 11.14

**ТФХ картоплі при обсмажуванні в соняшниковій олії при *T* = 416 К**

| Сорт          | <i>W</i> | <i>ρ<sub>ф</sub></i> , кг/м <sup>3</sup> | <i>c</i> , Дж/(кг·К) | <i>λ</i> , Вт/(м·К) | <i>a</i> ·10 <sup>8</sup> , м <sup>2</sup> /с |
|---------------|----------|--|----------------------|---------------------|---|
| Лорх          | 0,801    | 861                                      | 3559                 | 0,23                | 7,5   |
| Берліхінген   | 0,782    | 976                                      | 3517                 | 0,23                | 6,7   |
| Приєкульський | 0,815    | 1006                                     | 3559                 | 0,24                | 6,7   |
| Передовик     | 0,808    | 1006                                     | 3559                 | 0,24                | 6,7   |

По мірі зменшення масової частки вологи в бульбах, що обсмажуються в соняшниковій олії при постійній температурі, об'ємна теплоємність і теплопровідність зменшуються, а температуропровідність залишається сталою:

$$c_p = 500 + 4250 \cdot W \quad (11.9)$$

$$\lambda = 0,05 + 0,275 \cdot W \quad (11.10)$$

$$a \cdot 10^8 = 7,6 = \text{const} \quad (11.11)$$

**11.1.3. Картопля при охолодженні та заморожуванні**

Густина подрібненої м'якоті свіжої бульби (*n* = 0,15) при охолодженні від 293 до 283 К залежно від сорту складає 1048 – 1101 кг/м<sup>3</sup>, в середньому для 14 сортів – 1070 кг/м<sup>3</sup>.

При охолодженні бульби ( $W = 0,778$ ) від 353 до 303 К при природній конвекції повітря ( $T = 293$  К) ТФХ складають:  $\rho_f - 1115$  кг/м<sup>3</sup>,  $c - 3559$  Дж/(кг·К),  $\lambda - 0,663$  Вт/(м·К),  $a - 16,7 \cdot 10^{-8}$ , м<sup>2</sup>/с. При зниженні температури від 299 до 279 К температуропровідність картоплі складає  $17,7 \cdot 10^{-8}$ , м<sup>2</sup>/с.

Температуропровідність подрібненої м'якоти свіжої бульби ( $n = 0,15$ ) при охолодженні від 293 до 283 К становить  $10,9 \cdot 10^{-8} - 15,0 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с, тобто відрізняється на 38%. При охолодженні картоплі від 293 до 273 К її теплоємність відповідно складає 3546 і 3475 Дж/(кг·К). Значення ТФХ бульби при охолодженні наведені в таблиці 11.15.

Таблиця 11.15

**ТФХ бульби ( $W = 0,795$ ) при охолодженні від 317 до 273 К**

| $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| 1089,2                       | 3510            | 0,570                | 14,9                               |
| 1068,4                       | 3520            | 0,455                | 12,1                               |
| 1068,4                       | 3520            | 0,53                 | 14,2                               |
| 1069,8                       | 3490            | 0,50                 | 13,4                               |

Густина бульб, заморожених із швидкістю 0,2 К/хв, складає 538 кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність картоплі ( $W = 0,685; 0,740; 0,778$ ) після заморожування відповідно дорівнює: 1700, 1760 і 1800 Дж/(кг·К).

Теплоємність бульб при температурі нижче криоскопічної ( $0,83 < W < 0,88$ ).

$$c = 1277 - \frac{39441}{T_v - 273} \quad (11.12)$$

Теплопровідність бульб ( $\rho_f = 977$ , кг/м<sup>3</sup>) при  $T = 260$  К дорівнює 1,09 Вт/(м·К).

Теплопровідність замороженої і подрібненої картоплі залежить від способу упаковки. При  $T = 261$  К і щільній упаковці ( $\rho_n = 970$  кг/м<sup>3</sup>) вона складає 1,089, при  $T = 265$  К і вільній упаковці ( $\rho_n = 580$  кг/м<sup>3</sup>) – 0,419 Вт/(м·К).

В інтервалі температури 255 – 300 К теплопровідність бульб дорівнює 1,056 Вт/(м·К).

#### 11.1.4. Картопля при сушінні

Формула (11.1) дає підставу стверджувати, що істинна густина сухої речовини бульб більша  $1452 \text{ кг/м}^3$ . Її значення відповідно формулі (11.2) складає  $1550 \text{ кг/м}^3$ .

Наведені в літературі значення об'ємної маси сухої картоплі і шпаруватості шару, а також формула адитивності дозволяють розрахувати істинну густина сухої речовини картоплі (Таблиця 10.15).

Таблиця 11.16

**Фізичні показники сухої картоплі і її сухої речовин**

| $W$   | $T, \text{ K}$ | $\rho_n, \text{ кг/м}^3$ | $S, \%$ | $\rho_n, \text{ кг/м}^3$ |                |
|-------|----------------|--------------------------|---------|--------------------------|----------------|
|       |                |                          |         | картоплі                 | сухої речовини |
| 0,023 | –              | 144                      | 90,7    | 1548                     | 1561           |
| 0,023 | 283            | 180                      | 88,2    | 1525                     | 1537           |
| 0,023 | 283            | 330                      | 78,6    | 1542                     | 1555           |
| 0,818 | –              | –                        | –       | 1114                     | 1626           |
| 0,802 | –              | –                        | –       | 1126                     | 1636           |

Таким чином, різні дані, формула (11.2) і показники таблиці 11.16 показують, що істинна густина сухої речовини картоплі при  $T = 283\text{K}$  складає приблизно  $1550 \text{ кг/м}^3$ .

Залежність теплоємності сухої речовини картоплі від температури становить:

при  $273 < T < 313 \text{ K}$

$$c_{c.p.} = 68 + 4,20 \cdot T \quad (11.13)$$

В процесі конвективного сушіння кубиків картоплі і умові безперервної і рівномірної їх усадки густину визначає формула:

при  $0 < W^c < 5,00$  і температурі повітря  $T = 353 \text{ K}$ ).

$$\rho_\phi = 1190 - 12 \cdot W^c \quad (11.14)$$

Густина безусадочних кубиків картоплі при конвективному сушінні

зменшується. Причому до  $W^c = 2,60$  малопомітно, а в період падаючої швидкості сушіння – помітно. Її значення при цьому ( $2,60 < W^c < 5,0$  і  $T = 393$  К) описує формула:

$$\rho_{\phi} = 405 + 290 \cdot W^c \quad (11.15)$$

Зміна густини картоплі при конвективному сушінні описують різні формули, наприклад, при  $0,10 < W < 0,80$  і  $T = 333 - 338$  К

$$\rho_{\phi} = \frac{210}{1 - W} \quad (11.16)$$

В процесі сушіння картопляних гранул, поки  $W^c$  зменшується від 4,00 до 1,00 густина їх збільшується мало, а при меншій масовій частці вологи – помітно (таблиця 11.17).

Таблиця 11.17

**Густина картопляних гранул при сушінні**

| $W^c$                             | 2,00 | 1,60 | 1,20 | 0,80 | 0,40 | 0,20 | 0    |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | 503  | 591  | 712  | 885  | 1138 | 1338 | 1541 |

Теплоємність картоплі при сушінні (при  $0 < W < 1$  і  $T = 293$  К)

$$c = 1381 + 2806 \cdot W, \quad (11.17)$$

де: 1381 – розрахункова теплоємність сухої речовини картоплі

При  $0,10 < W < 0,80$  і  $T = 333 - 338$  К

$$c = 1420 + 2767 \cdot W \quad (11.18)$$

Теплоємність картоплі при сушінні залежно від двох визначальних факторів при  $0 < W < 1$  і  $273 < T < 313$  К

$$c = 68 + 4119 \cdot W + 4,2 \cdot T - 4,2T \cdot W \quad (11.19)$$

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) моноліту картоплі при  $0 < W < 1$  і  $283 < T < 293$  К:

$$c\rho = 2204 + 3504 \cdot W - 1520 \cdot W^2 \quad (11.20)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) сухої картоплі залежно від об'ємної маси при  $125 < \rho_n < 275$  кг/м<sup>3</sup>,  $W = 0,023$  і  $T = 283$  К

$$\lambda \cdot 10^4 = 256 + 0,603 \cdot \rho_{\phi} + 0,000559 \cdot \rho_{\phi}^2 \quad (11.21)$$



Залежність теплопровідності сухої картоплі від температури:

при  $248 < T < 313$  К,  $W = 0,022$ ,  $\rho_n = 250$  кг/м<sup>3</sup>

$$\lambda = 0,0426 + 0,0001546 \cdot T \quad (11.22)$$

при  $248 < T < 313$  К,  $W = 0,025$ ,  $\rho_n = 138$  кг/м<sup>3</sup>

$$\lambda = 0,0355 + 0,0001546 \cdot T \quad (11.23)$$

при  $293 < T < 343$  К,  $W = 0,78$ ,  $\rho_\phi = 1000$  кг/м<sup>3</sup>

$$\lambda = -0,42 + 0,0033 \cdot T \quad (11.24)$$

Залежність теплопровідності сухої картоплі від масової частки вологи:

при  $0,016 < W < 0,070$ ,  $T = 283$  К і  $\rho_n = 240$  кг/м<sup>3</sup>

$$\lambda = 0,041 + 0,07146 \cdot W \quad (11.25)$$

при  $0,10 < W < 0,80$ ,  $T = 333 - 338$  К і умові, що  $\rho_\phi$  змінюється за формулою (11.16)

$$\lambda = \frac{4,115 + 8,97 \times W + 1,86 \times W^2}{1 - W} \quad (11.26)$$

при  $0 < W^c < 5,0$ ,  $T = 348$  К і умові, що  $\rho_\phi$  змінюється за формулою (11.15)

$$\lambda = 0,367 + 0,103 \cdot W^c \quad (11.27)$$

Таблиця 11.18

**ТФХ бульб ( $\rho_\phi = 1140 - 1155$  кг/м<sup>3</sup>) в процесі сушіння**

| Показники                          | Масова частка вологи |              |              |              |
|------------------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|
|                                    | <b>0,885</b>         | <b>0,796</b> | <b>0,595</b> | <b>0,253</b> |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,605                | 0,422        | 0,391        | 0,337        |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 12,1                 | 9,8          | 9,0          | 11,4         |
| $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)  | 5000                 | 4306         | 4344         | 2956         |

Таблиця 11.19

**ТФХ бульб ( $\rho_\phi = 1085 - 1105$  кг/м<sup>3</sup>) в процесі сушіння**

| Показники                          | Масова частка вологи |              |             |             |
|------------------------------------|----------------------|--------------|-------------|-------------|
|                                    | <b>0,891</b>         | <b>0,843</b> | <b>0,78</b> | <b>0,59</b> |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,658                | 0,485        | 0,427       | 0,248       |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 13,1                 | 10,55        | 8,1         | 10,0        |
| $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)  | 5023                 | 4597         | 5265        | 2480        |

Залежність температуропровідності сухої картоплі від температури (при

$248 < T < 313$  К,  $W = 0,022$  і значеннях  $\rho_n$ , наведених в таблиці 11.16, описує формула:

$$a \cdot 10^8 = a_0 + 0,0051 \cdot (T - 273) \quad (11.28)$$

Значення  $a_0$  наведені в таблиці 11.20.

Таблиця 11.20

Значення  $a_0 = f(\rho_n)$

| $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>       | 180   | 225   | 250   | 275   | 300   | 325   |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 15,89 | 14,92 | 13,31 | 12,81 | 12,53 | 12,33 |

Зі зменшенням масової частки вологи в бульбї температуропровідність зменшується.

при  $0,10 < W < 0,80$ ,  $T = 333 - 338$  К і зміні  $\rho_\phi$  за формулою (11.16)

$$a \cdot 10^8 = 13,8 + 3,2 \cdot W \quad (11.29)$$

при  $0,50 < W < 0,80$ ,  $T = 293$  К і умові, що при  $W = 0,50$ ,  $\rho_\phi = 1066$ , а при  $W = 0,80$   $\rho_\phi = 942$  кг/м<sup>3</sup>

$$a \cdot 10^8 = 8,1 + 10 \cdot W \quad (11.30)$$

при  $0 < W^c < 5,0$ ,  $T = 348$  К і зміні  $\rho_\phi$  по формулі 11.14

$$a \cdot 10^8 = 8,7 + 8,5 \cdot W^c \quad (11.31)$$

при  $0,14 < W^c < 2,0$ ,  $T = 343$  К і значеннях  $\rho_\phi$ , наведених в таблиці 11.17,

$$a \cdot 10^8 = 10,25 + 4,375 \cdot W^c \quad (11.32)$$

Теплопровідність картоплі ( $W = 0,022$ ) при  $T = 293$  К і  $\rho_n = 250$  кг/м<sup>3</sup> складає 0,0458 Вт/(м·К).

Густина свіжих бульб картоплі сорту Ірландська дорівнює 1048 кг/м<sup>3</sup>, а питома теплоємність при температурі вище і нижче криоскопічної відповідно складає 3266 і 2010 Дж/(кг·К). При охолодженні м'якоті від 300 до 255 К ТФХ дорівнюють:  $\rho_\phi = 1049$  кг/м<sup>3</sup>,  $c = 8793$  Дж/(кг·К) і  $a = 12,1 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

## 11.2. Вироби із картоплі

**Салат і гарнір.** ТФХ картопляного салату при  $T = 305$  К дорівнюють:  $\rho_\phi = 1010$  кг/м<sup>3</sup>,  $c = 3308$  Дж/(кг·К). При  $T = 275 - 344$  К  $a = 14,4 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Таблиця 11.21

**Теплопровідність картопляного салату**

| <b><i>T</i>, К</b>                    | <b>260</b> | <b>265</b> | <b>275</b> | <b>344</b> |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| <b><math>\lambda</math>, Вт/(м·К)</b> | 1,09       | 0,41       | 0,481      | 0,483      |

Таблиця 11.22

**ТФХ замороженого картопляного гарніру**

| <b>Показники</b>                   | <b><i>T</i>, К</b> |            |            |            |            |            |            |            |
|------------------------------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                                    | <b>268</b>         | <b>263</b> | <b>258</b> | <b>253</b> | <b>248</b> | <b>243</b> | <b>238</b> | <b>233</b> |
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup>  | 1017               | 1008       | 1005       | 1003       | 1002       | 1002       | 1001       | 1001       |
| $c$ , Дж/(кг·К)                    | 15400              | 5560       | 3580       | 2830       | 2410       | 2170       | 2000       | 1880       |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,983              | 1,227      | 1,304      | 1,314      | 1,325      | 1,380      | 1,415      | 1,438      |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 6,28               | 21,89      | 36,22      | 46,31      | 54,89      | 63,45      | 70,64      | 76,11      |

**Пюре.** Теплопровідність пюре при температурі вище і нижче криоскопічної відповідно дорівнює: 0,488 і 1,090 Вт/(м·К).

Температуропровідність пюре при температурі вище і нижче криоскопічної із збільшенням масової частки вологи збільшуються.

Таблиця 11.23

**Температуропровідність ( $a \cdot 10^8$ , м<sup>2</sup>/с) картопляного пюре**

| <b><i>T</i>, К</b> | <b>Масова частка вологи</b> |             |             |             |
|--------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                    | <b>0,70</b>                 | <b>0,75</b> | <b>0,80</b> | <b>0,85</b> |
| 263                | 29,7                        | 36,4        | 51,4        | 54,4        |
| 288                | 8,3                         | 10,0        | 10,3        | 11,4        |

ТФХ пюре ( $W = 0,80$ ) рівні  $\rho_{\phi} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>,  $c = 3600$  Дж/(кг·К),  $\lambda = 0,524$  Вт/(м·К) і  $a = 14,5 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с. Температуропровідність моноліту пюре ( $W = 0,80$ ) при  $T = 278$  і  $338$  К відповідно складає:  $12,3 \cdot 10^{-8}$  і  $14,5 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

**Крупка (пюре у вигляді крупки).** Еквівалентний діаметр (мм) крупки з підвищенням масової частки вологи (при  $0,10 < W^c < 0,60$ ) збільшується:

$$d_{ек} = 1,85 + 0,460 \cdot W^c \quad (11.33)$$

Об'ємна маса крупки тим більша, чим менше еквівалентний діаметр її частинок, тому що зі зменшенням еквівалентного діаметра знижується пористість шару.

Таблиця 11.24

**Фізичні показники картопляної крупки**

| $d_{ек}$                          | 2,14 | 1,51 | 1,02 | 0,755 | 0,53 | 0,38 | 0,27  | 0,19 | 0,135 | 0,09 | 0,06 |
|-----------------------------------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|------|------|
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | 1150 | 1370 | 1380 | 1400  | 1400 | 1410 | 1410  | 1410 | 1430  | 1430 | 1430 |
| $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>      | 542  | 566  | 568  | 570   | 570  | 601  | 638   | 732  | 770   | 814  | 845  |
| S, %                              | 52,9 | 58,7 | 58,8 | 59,3  | 59,3 | 57,4 | 54,75 | 48,1 | 46,15 | 43,1 | 40,9 |

Із збільшенням товщини шару крупки її об'ємна маса збільшується. При невеликій товщині шару ( $W = 0,08$ ) вона складає 630 – 660 кг/м<sup>3</sup>, а при висоті 1,5 м – 645 – 680 кг/м<sup>3</sup>.

**Пластівці (пюре у вигляді пластівців).** Значення фізичних показників пластівців складають  $\rho_i$  – 1400 і  $\rho_{\phi}$  – 370 кг/м<sup>3</sup>, а об'ємна маса 200 – 300 кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність сухої речовини пластівців при  $T = 363$  і  $356$  К відповідно дорівнює: 1654 і 1892 Дж/(кг·К).

Теплопровідність пластівців ( $\rho_{\phi} = 580$  кг/м<sup>3</sup>) при  $T = 265$  К і вільному пакуванні складає 0,419 Вт/(м·К), при  $T = 263 - 258$  К і  $\rho_{\phi} = 970$  кг/м<sup>3</sup> – 1,09 Вт/(м·К).

**Гранули (пюре у вигляді гранул).** Фізичні показники шару пластинчатих картопляних гранул при вільному засипанні наведені в таблиці 11.25.

Таблиця 11.25

**Фізичні показники картопляних гранул ( $W = 0,84$ )**

| Розмір частинок, мм | Висота шару | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | S, % |
|---------------------|-------------|-----------------------------------|------------------------------|------|
| 10x10x6             | 14          | 974                               | 750                          | 23   |
| 10x10x4             | 16          | 970                               | 650                          | 33   |
| 10x10x2             | 19          | 965                               | 550                          | 43   |
| 10x10x0,5           | 28          | 946                               | 350                          | 66   |

ТФХ гранул :

при  $T = 290 \text{ K}$  і  $0,14 < W^c < 2,0$

$$c = 875 + 1406 \cdot W^c \quad (11.34)$$

$$\lambda = 0,225 + 0,0615 \cdot W^c \quad (11.35)$$

$$a \cdot 10^8 = 4,0 + 6,66 \cdot W^c \quad (11.36)$$

при  $T = 343 \text{ K}$  і  $0,14 < W^c < 2,0$

$$c = 2000 + 1050 \cdot W^c \quad (11.37)$$

$$\lambda = 0,32 + 0,040 \cdot W^c \quad (11.38)$$

$$a \cdot 10^8 = 10,25 + 4,40 \cdot W^c \quad (11.39)$$

**Котлети смажені.** З підвищенням температури котлет їх теплопровідність збільшується.

Таблиця 11.26  
Теплопровідність в Вт/(м·К)  
смажених картопляних котлет

| $W$   | $\rho_\phi$ , кг/м <sup>3</sup> | $T$ , К |       |
|-------|---------------------------------|---------|-------|
|       |                                 | 323     | 333   |
| 0,681 | 664                             | 0,134   | 0,176 |
| 0,655 | 753                             | 0,280   | 0,356 |

ТФХ котлет ( $W = 0,605$ ) дорівнюють:  $\rho_\phi - 753 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3213 \text{ Дж/(кг·К)}$  і  $a - 17,8 \cdot 10^{-8}, \text{ м}^2/\text{с}$ .

**Чіпси.** З підвищення густини картоплі вихід  $Y_v$  (%) чіпсів збільшується, а здатність вбирати олію  $Y_o$  (%) зменшується.

Залежність  $Y_v$  і  $Y_o$  від густини чіпсів (при  $1060 < \rho_\phi < 1110 \text{ кг/м}^3$ ) описують формули:

$$Y_v = -136,73 + 0,15582 \cdot \rho_\phi \quad (11.40)$$

$$Y_o = 329,11 - 0,2661 \cdot \rho_\phi \quad (11.41)$$

Таблиця 11.27  
ТФХ картоплі з соусом

| $T$ , К | $W$   | $\rho_\phi$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|---------|-------|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| 291     | 0,815 | 1027                            | 3630            | 0,55                 | 15,0                               |
| 273     | 0,815 | 1055                            | 3770            | 0,59                 | 15,0                               |

**Картопля фрі.** Теплоємність картоплі при температурі вище і нижче криоскопічної відповідно дорівнює 3433 і 1800 Дж/(кг·К).

**Суп.** Теплоємність картопляного супу в інтервалі 273 – 373 К складає 3935 Дж/(кг·К). Температуропровідність картопляного супу з м'ясом в процесі стерилізації в автоклаві при  $T = 393$  К дорівнює  $16,0 \cdot 10^{-8}$ , м<sup>2</sup>/с.

**Тушкована картопля.** Температуропровідність тушованої картоплі з м'ясом в процесі стерилізації в автоклаві при  $T = 393$  К дорівнює  $19,0 \cdot 10^{-8}$ , м<sup>2</sup>/с.

**Сік.** Густина картопляного соку при  $T = 293$  К і  $T = 323$  К відповідно дорівнює 1430 і 1418 кг/м<sup>3</sup>.

**Суспензія.** Формули для визначення густини картопляної суспензії в залежності від виду рідини наведені в таблиці 11.28.

Таблиця 11.28

**Густина картопляної суспензії при  $T = 293 - 333$  К**

| Рідина                | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup>   |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Вода                  | $\rho_{\phi} = 1346 - 0,95 \cdot T$ |
| Молоко:               |                                     |
| знежирене             | $\rho_{\phi} = 1228 - 0,60 \cdot T$ |
| з жирністю 3,2%       | $\rho_{\phi} = 1255 - 0,70 \cdot T$ |
| Вершки (жирністю 10%) | $\rho_{\phi} = 1465 - 1,40 \cdot T$ |

**11.3. Крохмаль з картоплі та інших продуктів**

Істинна густина сухих речовин крохмалю і густина повітряно-сухого крохмалю від його виду практично не залежать і відповідно складають 1630 і 1520 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 11.29

**Істина густина сухих речовин крохмалю**

| Крохмаль    | $\rho_{н}$ , кг/м <sup>3</sup> | Крохмаль     | $\rho_{н}$ , кг/м <sup>3</sup> |
|-------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|
| Картопляний | 1633 – 1648                    | Житній       | 1620                           |
| Маїсовий    | 1623                           | Пшеничний    | 1629                           |
| Рисовий     | 1620                           | Кукурудзяний | 1591 – 1623                    |

Таблиця 11.30

**Густина повітряно-сухого крохмалю**

| <b>Крохмаль</b>    | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | <b>Крохмаль</b> | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| Картопляний        | 1500 – 15003                      | Рисовий         | 1511 – 1512                       |
| Пшеничний          | 1528 – 1542                       | Бататовий       | 1518                              |
| Восковидного зерна | 1480                              | Тапіоку         | 1521                              |

Густина крохмалю залежить від розмірів зерен або бульб, із яких він отриманий. Так, густина ячмінного крохмалю з великих зерен складає 1526, а з дрібних 1144 кг/м<sup>3</sup>, а картопляного крохмалю – відповідно 1547 і 1064 кг/м<sup>3</sup>.

Якщо густина кристалічної частини крохмалів різних видів однакова і складає 1590 кг/м<sup>3</sup>, то густина аморфної частини їх різняться (таблиця 11.31).

Таблиця 11.31

**Густина аморфної частини крохмалю**

| <b>Крохмаль</b>    | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | <b>Крохмаль</b>   | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> |
|--------------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Целюлозний         | 1470                              | Бататовий         | 1468                              |
| Картопляний        | 1488                              | Тапіоку           | 1466                              |
| Восковидного зерна | 1484                              | Восковидного рису | 1486                              |
| Пшеничний          | 1460                              | Кукурудзяний      | 1456                              |

Об'ємна маса крохмалю залежить від ряду факторів – масової частки вологи, способу укладки, температури та ін. При  $W \approx 0,20$  вона складає близько 550 – 650 кг/м<sup>3</sup>.

Залежність густини в кг/м<sup>3</sup> крохмалю від масової частки вологи при  $0 < W < 0,7$ :

$$\rho = \rho_0 + Z \cdot W \quad (11.42)$$

де:  $\rho_0$  і  $Z$  залежать від виду крохмалю (таблиця 11.32).

Таблиця 11.32

**Значення  $\rho_0$  і  $Z$  в формулі (11.42)**

| <b>Крохмаль</b> | $\rho_0$ | $Z$   | <b>Крохмаль</b>    | $\rho_0$ | $Z$   |
|-----------------|----------|-------|--------------------|----------|-------|
| Картопляний     | 1519     | 0,333 | Кукурудзяний       | 1514     | 0,332 |
| Бататовий       | 1518     | 0,347 | Восковидного зерна | 1515     | 0,333 |
| Тапіоку         | 1520     | 0,343 | Восковидного рису  | 1518     | 0,317 |
| Пшеничний       | 1512     | 0,303 |                    |          |       |

Густина гелю картопляного крохмалю ( $W = 0,342$ ), висушеного сублімацією, складає  $109 \text{ кг/м}^3$ , а пористість 93%.

Коефіцієнт об'ємного теплового розширення крохмалю складає: при  $T = 288 - 290 \text{ К} - 0,3169 \cdot 10^{-3}$ , при  $296 - 298 \text{ К} - 0,3957 \cdot 10^{-3}$ , при  $288 - 298 \text{ К} - 0,3989 \cdot 10^{-3}$ , при  $T = 293 \text{ К} - 0,35 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ .

Таблиця 11.33

**Густина препарату крохмалю**

| Препарат крохмалю  | W крохмалю | $\rho_{\phi}$ , $\text{кг/м}^3$ |
|--------------------|------------|---------------------------------|
| Генна Лоосдорфська |            |                                 |
| ячменю             | 0,127      | 1820                            |
| солоду             | 0,127      | 1803                            |
| Вінницький 43      |            |                                 |
| ячменю             | 0,114      | 1827                            |
| солоду             | 0,124      | 1818                            |

Густина в  $\text{кг/м}^3$  суспензії крохмалю при  $1,0 < m < 5,0 \text{ г/100 мл}$  при  $T = 313$ :

$$\rho = 995,987 + 2,775 \cdot (m-1) \quad (11.43)$$

Питома теплоємність сухої речовини нативного і клейстеризованого картопляного крохмалю практично однакова. При  $T = 293 \text{ К}$  вона відповідно складає 1214 і 1231 Дж/(кг·К).

Теплоємність сухої речовини крохмалю :

при  $283 < T < 323 \text{ К}$

$$c_{с.р.} = 481 + 2,51 \cdot T \quad (11.44)$$

при  $273 < T < 313 \text{ К}$

$$c_{с.р.} = -142 + 4,815 \cdot T \quad (11.45)$$

при  $233 < T < 333 \text{ К}$  картопляний і рисовий крохмаль

$$c_{с.р.} = 18 + 3,56 \cdot T \quad (11.46)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) картопляного крохмалю практично не залежить від його форми і описується формулами:

нативний при  $0,012 < W < 0,146$  і  $T = 293 \text{ К}$

$$c = 1214 + 2973 \cdot W \quad (11.47)$$



клеїстеризований при  $0,003 < W < 0,1336$  і  $T = 293$  К

$$c = 1231 + 2956 \cdot W \quad (11.48)$$

Для визначення теплоємності в Дж/(кг·К) крохмалю залежно від температури запропоновані формули:

для картопляного нативного при  $123 < T < 283$  К

$$c = 116 + 3,125 \cdot T \quad (11.49)$$

для товарного крохмалю при  $283 < T < 323$  К

$$c = 380 + 2,9 \cdot T \quad (11.50)$$

для картопляного крохмалю при  $W = 0,05$  і  $273 < T < 313$  К

$$c = -319 + 5,875 \cdot T \quad (11.51)$$

при  $W = 0,20$  і  $273 < T < 313$  К

$$c = -552 + 8,08 \cdot T \quad (11.52)$$

при  $W = 0,50$  і  $273 < T < 313$  К

$$c = 1550 + 4,825 \cdot T \quad (11.53)$$

Для крохмалю, повністю насиченого водою:

при  $273 < T < 303$  К

$$c = -1476 + 10,47 \cdot T \quad (11.54)$$

Теплоємність залежно від двох визначальних факторів:

при  $273 < T < 313$  К і  $0 < W < 0,30$

$$c = -145 + 4,825T + 2250 \cdot W + 5,15 \cdot T \cdot W \quad (11.55)$$

при  $273 < T < 313$  К і  $0,30 < W < 0,50$

$$c = -936 + 8,70 \cdot T + 4880 \cdot W - 7,75 \cdot T \cdot W \quad (11.56)$$

Таблиця 11.34

**ТФХ сухих речовин картопляного крохмалю ( $\rho_{с.р} = 650$  кг/м<sup>3</sup>)**

| ТФХ                                      | Температура, К |       |       |       |       |       |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | 243            | 253   | 263   | 293   | 313   | 333   |
| $\lambda_{с.р.},$ Вт/(м·К)               | 0,110          | 0,109 | 0,100 | 0,115 | 0,120 | 0,125 |
| $a_{с.р.} \cdot 10^8,$ м <sup>2</sup> /с | 14,0           | 12,7  | 12,0  | 9,9   | 10,0  | 10,1  |
| $c\rho_{с.р.},$ кДж/(м <sup>3</sup> ·К)  | 786            | 858   | 833   | 1162  | 1200  | 1189  |

Таблиця 11.35

**Теплопровідність гелю сухої речовини картопляного крохмалю  
( $T = 314 \text{ К}$ ) в різних середовищах**

| $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | Середовище |        |        |        |
|--|------------|--------|--------|--------|
|  | Повітря    | Азот   | Гелій  | Вакуум |
| Середовища                                   | 0,0273     | 0,0271 | 0,1542 | -      |
| Гелю крохмалю                                | 0,0394     | 0,0391 | 0,1495 | 0,0091 |

Таблиця 11.36

**Теплопровідність в  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$   
картопляного крохмалю ( $\rho_n = 650 \text{ кг}/\text{м}^3$ )**

| $T, \text{К}$ | Масова частка вологи |       |      |
|---------------|----------------------|-------|------|
|               | 0,30                 | 0,40  | 0,50 |
| 293           | 0,20                 | 0,23  | 0,24 |
| 313           | 0,21                 | 0,23  | 0,24 |
| 333           | 0,22                 | 0,235 | 0,25 |

Таблиця 11.37

**ТФХ картопляного крохмалю при  $T < 273 \text{ К}$**

| $T, \text{К}$ | ТФХ  | Масова частка вологи, $W$ |       |       |       |
|---------------|--|---------------------------|-------|-------|-------|
|               |  | 0,10                      | 0,20  | 0,30  | 0,40  |
| 263           | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | 0,104                     | 0,108 | 0,113 | 0,120 |
|               | $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$          | 9,0                       | 8,1   | 7,7   | 8,1   |
| 253           | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | 0,117                     | 0,121 | 0,125 | 0,140 |
|               | $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$          | 9,5                       | 8,6   | 8,5   | 9,0   |

### 11.3.11. Крохмальна патока

ТФХ патоки  $\rho, \lambda, c$  і  $a$  в діапазоні температур  $15 - 75 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$\rho = (1445 - 0,555 \cdot t), \text{ кг}/\text{м}^3 \quad (11.57)$$

$$\lambda = 1,163 \cdot (0,31 + 0,0001 \cdot t), \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}) \quad (11.58)$$

$$c = 4186,8 \cdot (0,61 - 0,0005 \cdot t), \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}) \quad (11.59)$$

$$a \cdot 10^8 = 2,7778 \cdot (3,56 - 0,007 \cdot t), \text{ м}^2/\text{с} \quad (11.60)$$

Таблиця 11.38

**Залежність динамічної в'язкості в  $\text{Па}\cdot\text{с}$  патоки від температури**

| Вміст         |                  | $\mu$ , при температурі, $^\circ\text{C}$ |      |     |      |
|---------------|------------------|---|------|-----|------|
| сухих речовин | редуючих речовин | 20  | 50   | 70  | 100  |
| 80            | 38               | 22,5                                      | 1,50 | 0,4 | 0,12 |
| 81            | 39               | 37,6                                      | 1,75 | 0,5 | -    |
| 82            | 43               | 152,6                                     | 5,70 | 1,0 | 0,20 |

#### 11.4. Енергетична цінність картоплі та продуктів з неї

Таблиця 11.39

##### Енергетична цінність картоплі та продуктів з неї

| Продукт                                | Ец, кДж/кг |
|--|------------|
| Картопля сира                          | 34,7       |
| Картопля сушена                        | 128,4      |
| Пюре (пластівці, крупка)               | 137,2      |
| Картопля хрустка                       | 227,2      |
| Картопля тушкована з м'ясом (консерви) | 50,6       |
| Концентрати:                           |            |
| суп картопляний з м'ясом               | 147,4      |
| суп картопляний без м'яса              | 142,3      |
| картопля тушкована                     | 159,0      |
| картопля тушкована з м'ясом            | 161,9      |
| суп картопляний з білковою пастою      | 143,1      |
| картопля тушкована з білковою пастою   | 149,4      |

## РОЗДІЛ 12. ОВОЧІ, ГРИБИ ТА ВИРОБИ З НИХ

### 12.1. Столовий та кормовий буряк

Таблиця 12.1

Залежність густини  $\rho_f$  столового буряка від частки сухих речовин  $n$

| $n$ , кг/кг | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> |
|-------------|------------------------------|
| 0,115       | 1047                         |
| 0,129       | 1053                         |
| 0,167       | 1061                         |

Подрібнення буряку практично не впливає на теплопровідність і температуропровідність (табл. 12.2).

Таблиця 12.2

ТФХ буряка

| Буряк                  | $W$   | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|------------------------|-------|------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| Столовий (цілий)       | 0,875 | 968                          | 3900            | 0,60                 | 15,9                               |
| Кормовий (подрібнений) | 0,805 | 985                          | 3641            | 0,62                 | 17,3                               |

Під час варіння очищених від шкірки коренеплодів теплопровідність і температуропровідність менші, ніж неочищених (табл.12.3), оскільки шкірка гальмує масообмін, за рахунок чого прискорюється нагрівання.

Таблиця 12.3

ТФХ столового буряка сорту Єгипетський під час варіння в киплячій воді

| Буряк      | $W$   | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|------------|-------|------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| Без шкірки | 0,871 | 980                          | 3852            | 0,60                 | 15,9                               |
| Зі шкіркою | 0,817 | 1036                         | 3684            | 0,63                 | 16,5                               |

Вид середовища нагрівання впливає на величини теплопровідності та температуропровідності коренеплодів через масообмін (табл. 12.4).

При нагріванні коренеплодів в воді (від холодного стану) теплообмін практично не ускладнений масообміном, тому значення температуропровідності коренеплодів найбільші.

**Теплопровідність та температуропровідність столового буряка під час варіння**

| Варіння                          | $W$   | $\rho_{\phi}$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $W$   | $\rho_{\phi}$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $a \cdot 10^8$ ,<br>(м <sup>2</sup> /с) |
|----------------------------------|-------|--------------------------------------|-------------------------|-------|--------------------------------------|---|
| У вологій насиченій водяній парі | 0,880 | 994                                  | 0,59                    | 0,880 | 994                                  | 15,4                                    |
| У киплячій воді                  | 0,881 | 1012                                 | 0,62                    | 0,864 | 1030                                 | 15,9                                    |
| У воді (від холодного стану)     | –     | –                                    | –                       | 0,864 | 1030                                 | 16,4                                    |

Формули для визначення ТФХ столового буряка при  $0,874 < W < 0,919$ :

$$\lambda = 0,103 + 0,51 \cdot W, \text{ Вт/(м·К)} \quad (12.1)$$

$$a \cdot 10^8 = 6,3 + 8,9 \cdot W, \text{ м}^2/\text{с} \quad (12.2)$$

Таблиця 12.5

**ТФХ коренеплодів при  $T < 290$  К**

| $T, \text{ К}$ | $W$   | $\rho_{\phi}$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $c$ ,<br>Дж/(кг·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|----------------|-------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Столовий буряк |       |                                      |                    |                         |                                       |
| 303            | 0,70  | 937                                  | 3559               | 0,26                    | 7,8                                   |
| 293            | 0,78  | 863                                  | 3350               | 0,35                    | 12,1                                  |
| –              | 0,871 | 1053                                 | 3830               | 0,48                    | 18,0                                  |
| Кормовий буряк |       |                                      |                    |                         |                                       |
| 333            | 0,871 | 1030                                 | 3852               | 0,60                    | 15,9                                  |

Насіння. ТФХ шару насіння столового буряка сорту Бордо 237 ( $W = 0,094$ ) при  $T = 303\text{К}$  дорівнюють:  $\rho_n - 236 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 1702 \text{ Дж/(кг·К)}$ ,  $\lambda - 0,062 \text{ Вт/(м·К)}$ ,  $a - 15,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Відварний буряк. ТФХ відварного буряка ( $W = 0,49$ ) дорівнюють:  $\rho_{\phi} - 675 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3768 \text{ Дж/(кг·К)}$ ,  $\lambda - 0,40 \text{ Вт/(м·К)}$ ,  $a - 14,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ . З підвищенням температури теплопровідність звареного буряка збільшується (табл. 12.6).

Таблиця 12.6

**Теплопровідність відвареного буряка  
( $W = 0,849$ ;  $\rho_{\phi} = 674,9 \text{ кг/м}^3$ )**

| $T, \text{ К}$              | 313  | 323  | 333  | 343  |
|-----------------------------|------|------|------|------|
| $\lambda, \text{ Вт/(м·К)}$ | 0,25 | 0,29 | 0,33 | 0,37 |

### 12.1.1. Енергетична цінність столового буряка та виробів з нього

Таблиця 12.7

#### Енергетична цінність столового буряка та виробів з нього

| Продукт                      | Ец, кДж/кг |
|------------------------------|------------|
| Буряк свіжий                 | 2010       |
| Сік буряковий                | 2470       |
| Буряк квашений               | 880        |
| Буряк сушений                | 11630      |
| Консерви:                    |            |
| Салат з буряка               | 1670       |
| Буряк з яблучним пюре        | 1460       |
| Ікра з буряка                | 2130       |
| Суп-пюре з буряків           | 3600       |
| Буряк з чорносливом          | 4600       |
| Буряк солодкий з чорносливом | 3140       |
| Буряк натуральний            | 1340       |
| Напівфабрикати:              |            |
| Буряк в молочному соусі      | 2800       |
| Буряк в сметанному соусі     | 3890       |

### 12.1.2. Тепломасообмінні характеристики буряка

Таблиця 12.8

#### Випарна здатність буряка

| Продукт             | місяць   | $\epsilon_b$ |
|---------------------|----------|--------------|
| Буряк "Єгипетський" | червень  | 0,45         |
| –                   | березень | 0,25         |
| Буряк суходольний   | жовтень  | 0,30         |
| Буряк поливний      | жовтень  | 0,38         |

Середні значення  $q_o$  та  $b$  у формулі  $q = q_o \exp(b \cdot t)$ , Вт/т для визначення теплоти дихання складають для буряка  $q_o = 16,8$  Вт/т;  $b = 0,117$  1/К.

## 12.2. Морква

### 12.2.1. Морква свіжа

Таблиця 12.9

#### Фізичні показники моркви

| $W$           | $\rho_f, \text{кг/м}^3$ | $\rho_n, \text{кг/м}^3$ |
|---------------|-------------------------|-------------------------|
| 0,836 – 0,908 | 984 – 1107              | 641                     |
| 0,884         | 1045                    | 640                     |
| –             | 970 – 1000              | 650                     |

Теплоємність моркви в Дж/(кг·К) при  $T = 293 \text{ К}$  та  $0 < W < 1$

$$c = 1373 + 2814 \cdot W, \quad (12.3)$$

Для визначення теплопровідності моркви запропоновані формули:

при  $0,85 < W < 0,90$  та  $T = 296 \text{ К}$

$$\lambda = -1,62 + 2,3 \cdot W, \quad (12.4)$$

при  $0,84 < W < 0,90$ , сорт Pierwszy Zbior

$$\lambda = 0,193 + 0,44 \cdot W, \quad (12.5)$$

при  $0,84 < W < 0,89$ , сорт Perfekcya

$$\lambda = 0,101 + 0,54 \cdot W. \quad (12.6)$$

Значення теплопровідності коренеплодів, приведені в літературі та визначені за формулами (12.4 – 12.6), суттєво відрізняються. Це викликано різною пористістю і масовою часткою вологи в зразках, а також тим, що зразки виготовляли з різних частин коренеплоду.

Експериментально встановлено, що густина серцевини більша від поверхневих шарів коренеплоду. Отже і теплопровідність серцевини більша від поверхневих шарів (табл. 12.10).

Таблиця 12.10

#### Теплопровідність в Вт/(м·К) моркви сорту Нантська 4 ( $T = 296 \text{ К}$ )

| Частина коренеплоду | $W$   |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|
|                     | 0,810 | 0,866 | 0,880 |
| Поверхневий шар     | 0,27  | 0,30  | 0,38  |
| Серцевина           | 0,33  | 0,40  | 0,44  |

Для визначення температуропровідності в м<sup>2</sup>/с наведено формули:

при  $0,841 < W < 0,900$ , сорт Pierwszy Zbiór

$$a \cdot 10^8 = 6,7 + 8,7 \cdot W, \quad (12.7)$$

при  $0,842 < W < 0,892$ , сорт Perfekcya

$$a \cdot 10^8 = 6,1 + 8,9 \cdot W. \quad (12.8)$$

**Зберігання.** Теплопровідність шару моркви залежить від швидкості руху повітря під час її зберігання в контейнерах КС-200 місткістю 500 кг, в повітряному середовищі (табл.12.11).

Таблиця 12.11

**Теплопровідність шару моркви  
( $T = 282$  К) при зберіганні в контейнерах**

| $w$ , м/с            | 0    | 0,15 | 0,30 | 0,40 |
|----------------------|------|------|------|------|
| $\lambda$ , Вт/(м·К) | 0,31 | 0,71 | 1,83 | 2,10 |

**12.2.2. Варіння і нагрівання**

В процесі варіння масова частка вологи поверхневого шару коренеплоду зростає, а вміст газів – зменшується, тому ТФХ моркви збільшуються. В цьому можна пересвідчитись, порівнюючи ТФХ свіжих (табл.12.12) та варених (табл.12.13) коренеплодів.

Теплоємність коренеплодів ( $W = 0,875$  та  $0,920$ ) при нагріванні від 277 до 305 К та від 273 до 373 К відповідно дорівнює 3894 та 3768 Дж/(кг·К).

Таблиця 12.12

**ТФХ моркви різних сортів**

| Сорт               | $W$   | $\rho_{\phi}$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $c$ ,<br>Дж/(кг·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|--------------------|-------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Нантська 4         | 0,874 | 1031                                 | 3840               | 0,440                   | 11,2                                  |
| Гардуолес          | 0,881 | 1034                                 | 3860               | 0,475                   | 11,9                                  |
| НДІОГ № 336        | 0,881 | 1034                                 | 3860               | 0,455                   | 11,4                                  |
| Консервована       | 0,885 | 1032                                 | 3870               | 0,460                   | 11,6                                  |
| Шантенє 2461       | 0,885 | 1026                                 | 3870               | 0,465                   | 11,7                                  |
| Лосиноострівська13 | 0,902 | 1022                                 | 3920               | 0,500                   | 12,5                                  |
| Середнє            | 0,885 | 1030                                 | 3870               | 0,46                    | 11,7                                  |



## ТФХ вареної моркви

| Сорт               | Очищена |                 |                         |                                       | Неочищена |                 |                         |                                       |
|--------------------|---------|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|-----------|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|
|                    | W       | c,<br>Дж/(кг·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с | W         | c,<br>Дж/(кг·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
| Нантська           | 0,879   | 3900            | 0,60                    | 15,9                                  | –         | –               | –                       | –                                     |
| Лосиноострівська 5 | 0,907   | 3900            | 0,61                    | 16,2                                  | 0,905     | 3900            | 0,62                    | 16,5                                  |

Теплопровідність моркви залежить від способу варіння (табл. 12.14). Її значення при варінні у вологій насиченій водяній парі менше, ніж у воді, оскільки у першому випадку поверхневі шари коренеплодів підсушуються, що викликає рух вологи назустріч тепловому потоку.

Таблиця 12.14

Теплопровідність та температуропровідність моркви ( $W = 0,835 - 0,895$ ) при варінні

| Варіння                          | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|----------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Від холодного стану води         | 0,59                    | 14,6                                  |
| В киплячій воді                  | 0,61                    | 16,1                                  |
| У вологій насиченій водяній парі | 0,60                    | 15,6                                  |

Таблиця 12.15

## ТФХ вареної моркви

| Коренеплід  | W     | $\rho_{\phi}$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | c,<br>Дж/(кг·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|-------------|-------|--------------------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Цілий       | 0,835 | 1080                                 | 3743            | 0,59                    | 14,6                                  |
| Подрібнений | 0,835 | 985                                  | 3743            | 0,62                    | 17,0                                  |

В процесі варіння збільшується теплопровідність як поверхневого шару, так і серцевини коренеплоду (табл. 12.16).

Таблиця 12.16

## Теплопровідність моркви сорту Нантська

| Частина коренеплоду | До варіння |                                      | Після варіння |                                      | $\lambda$ в Вт/(м·К) при T, K |      |      |      |
|---------------------|------------|--------------------------------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|
|                     | W          | $\rho_{\phi}$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | W             | $\rho_{\phi}$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | 293                           | 313  | 333  | 353  |
| Поверхневий шар     | 0,87       | 950 – 1000                           | 0,91          | 990 – 1040                           | 0,35                          | 0,52 | 0,55 | 0,56 |
| Серцевина           | 0,89       | 910 – 940                            | 0,90          | 950 – 1030                           | 0,46                          | 0,48 | 0,50 | 0,52 |

Теплопровідність серцевини коренеплоду сорту Нантська в Вт/(м·К) в залежності від температури при  $293 < T < 363$  К та  $W = 0,89$ :

$$\lambda = 0,181 + 0,00097 \cdot T. \quad (12.9)$$

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с:

при  $308 < T < 368$  К, сорт Нантська

$$a \cdot 10^8 = 3,8 + 0,033 \cdot T, \quad (12.10)$$

при  $293 < T < 363$  К, сорт Нантська

$$a \cdot 10^8 = -16,75 + 0,098 \cdot T, \quad (12.11)$$

при  $308 < T < 368$  К, сорт Лосиноострівська 5

$$a \cdot 10^8 = -0,70 + 0,0407 \cdot T. \quad (12.12)$$

### 12.2.3. Обжарювання

Справжня густина сухих речовин обжареної моркви становить 1450 – 1570 кг/м<sup>3</sup>, густина – 350 – 560 кг/м<sup>3</sup>, пористість – 69 – 76%.

Таблиця 12.17

**ТФХ моркви в залежності від температури масла**

| Показник                           | Т масла, К |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|
|                                    | 303        | 353  | 373  | 393  | 413  | 433  | 453  |
| $c_p$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)    | 3796       | 3813 | 3865 | 3981 | 3871 | 3816 | 3667 |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,41       | 0,45 | 0,46 | 0,43 | 0,36 | 0,29 | 0,22 |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 10,8       | 11,8 | 11,9 | 10,8 | 9,3  | 7,6  | 6,0  |

Таблиця 12.18

**ТФХ моркви при обжарці**

| Обжарювання, хв. | W     | $c_p$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|------------------|-------|---------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 40               | 0,890 | 4940                            | 0,65                 | 13,2                               |
| 45               | 0,865 | 5150                            | 0,53                 | 10,3                               |

### 12.2.4. Сушіння

Справжня густина сухих речовин моркви дорівнює від 1530 до 1610 кг/м<sup>3</sup>.

Експериментальне значення теплоємності сухих речовин моркви становить

– 1424 – 1507 Дж/(кг·К).

ТФХ сухих речовин моркви ( $\rho_n = 1000 - 1050 \text{ кг/м}^3$ ) при нагріванні від 293 до 363 К та охолодженні від 363 до 293 К становлять:  $c - 1298 \text{ Дж/(кг·К)}$ ,  $\lambda - 0,12 \text{ Вт/(м·К)}$  та  $a - 9,1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Фізичні показники моркви, висушеної конвективним способом, приведені в таблиці 12.19. Об'ємна маса мелених коренеплодів ( $W = 0,10 \text{ кг/м}^3$ ) дорівнює  $450 \text{ кг/м}^3$ .

Таблиця 12.19

**Фізичні показники моркви при конвективному сушінні**

| Показник                 | Масова частка вологи |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                          | 0                    | 0,430 | 0,603 | 0,694 | 0,751 | 0,790 | 0,819 | 0,840 | 0,858 | 0,879 | 0,883 |
| $\rho_i, \text{ кг/м}^3$ | 1530                 | 1471  | 1443  | 1411  | 1386  | 1346  | 1318  | 1289  | 1257  | 1229  | 1200  |
| $\rho_n, \text{ кг/м}^3$ | 1200                 | 1174  | 1137  | 1115  | 1085  | 1067  | 1052  | 1044  | 1033  | 1030  | 1030  |
| S, %                     | 21,6                 | 20,2  | 21,2  | 21,0  | 21,7  | 20,7  | 20,2  | 19,0  | 17,8  | 16,2  | 14,2  |

З підвищенням температури теплоємність висушеної моркви при  $286 < T < 300 \text{ К}$  та  $W = 0,0050 - 0,0075$  зростає:

$$c = -1087 + 7,90 \cdot T. \quad (12.13)$$

ТФХ насіння моркви ( $W = 0,079$ ) становить:  $\rho_n - 518 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 1551 \text{ Дж/(кг·К)}$ ,  $\lambda - 0,075 \text{ Вт/(м·К)}$ ,  $a - 9,35 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

ТФХ висушеної моркви ( $W = 0,68$ ) дорівнюють:  $\rho_\phi - 838 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3140 \text{ Дж/(кг·К)}$ ,  $\lambda - 0,30 \text{ Вт/(м·К)}$ ,  $a - 11,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**12.2.5. Охолодження та заморожування**

Теплоємність коренеплодів ( $W = 0,838$ ) при охолодженні від 293 до 273 К становить  $3739 \text{ Дж/(кг·К)}$ . При охолодженні моркви від температури 353 К ( $W = 0,878$ ) в повітрі ( $T = 293 \text{ К}$ ) при вільній конвекції ТФХ коренеплодів дорівнюють:  $\rho_\phi - 988 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3810 \text{ Дж/(кг·К)}$ ,  $\lambda - 0,64 \text{ Вт/(м·К)}$ ,  $a - 17,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Густина моркви, як і інших овочів, при заморожуванні стає меншою. При температурі 253 і 213 К густина коренеплодів відповідно зменшується (у порівнянні з густиною при  $T = 273 \text{ К}$ ) на 2,7 та 3,3 %. Значення теплоємності та

ентальпії коренеплодів при температурі нижче криоскопічної наведені в таблицях 12.20, 12.21.

Таблиця 12.20

**Теплоємність в Дж/(кг·К) моркви при температурі в К, нижчій криоскопічної**

| <i>W</i> | 233  | 238  | 244  | 250  | 255  | 261  | 266  | 271 – 273 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| 0,83     | 1483 | 1675 | 2010 | 2428 | 3056 | 4103 | 8834 | 3936      |
| 0,88     | 1842 | 1968 | 2135 | 2428 | 2973 | 4103 | 8751 | 3894      |
| 0,90     | 1758 | 1800 | 1960 | 2219 | 2721 | 3642 | 7034 | –         |

Таблиця 12.21

**Ентальпія моркви (*W* = 0,875) при температурі, нижчій криоскопічної**

| <i>T, К</i>     | 233 | 244   | 250   | 255   | 261    | 266    | 272    |
|-----------------|-----|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| <i>h, Дж/кг</i> | 0   | 41,87 | 62,80 | 92,11 | 129,80 | 188,41 | 636,42 |

Теплоємність коренеплодів при температурі нижче криоскопічної:

$$c = 167 - \frac{51877}{\bar{T}_v - 273} \quad (12.14)$$

Значення теплопровідності замороженої моркви наведені в таблиці 12.22.

Таблиця 12.22

**Теплопровідність коренеплодів при *T* = 256 К**

| <b>Коренеплід очищений, ошпарений окропом (до замерзання)</b> | <i>ρ<sub>ф</sub></i> , кг/м <sup>3</sup> | <i>λ</i> , Вт/(м·К) |
|---|--|---------------------|
| Цілий   | 630                                      | 0,628               |
| Нарізаний скибочками  | 640                                      | 0,670               |

### 12.2.6. Вироби з моркви

Теплопровідність пюре із моркви ( $\rho_{\phi} = 897 \text{ кг/м}^3$ ) при температурі 266 К дорівнює 1,26 Вт/(м·К). Теплопровідність пасерованої моркви ( $W = 0,802$ ) при густині  $722 \text{ кг/м}^3$  і температурі 323, 333 та 343 К відповідно становить: 0,275; 0,418 та 0,518 Вт/(м·К).

ТФХ пасерованої моркви ( $W = 0,802$ ) дорівнюють:  $\rho_{\phi} = 722 \text{ кг/м}^3$ ,  $c = 3632$

Дж/(кг·К),  $\lambda - 0,57$  Вт/(м·К),  $a - 21,7 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с. Густина морквяного соку ( $T = 293$  К) при  $n = 0,064$  та  $0,166$  відповідно дорівнює  $1025$  та  $1064$  кг/м<sup>3</sup>.

### 12.2.7. Енергетична цінність моркви та виробів з неї

Таблиця 12.23

#### Енергетична цінність моркви та виробів з неї

| Продукт                                       | Ец, кДж/кг |
|---|------------|
| Морква свіжа червона                          | 1380       |
| Морква свіжа жовта                            | 1380       |
| Морква квашена                                | 710        |
| Морква сушена                                 | 11510      |
| Консерви:                                     |            |
| Сік з моркви                                  | 1090       |
| Пюре з моркви з манною крупкою                | 2590       |
| Морква натуральна                             | 1510       |
| Морква пасерована з томатом на свинячому жирі | 5650       |
| Морква в молочному соусі                      | 2590       |
| Морква з чорносливом в молочному соусі        | 4600       |
| Морква тушкована                              | 2910       |
| Морква з чорносливом                          | 3890       |
| Морква з яблучним пюре                        | 1550       |
| Морква з абрикосовим пюре                     | 3220       |

### 12.2.8. Тепломасообмінні характеристики моркви

Випарна здатність моркви Шантане в липні складає  $0,44$ , а в березні  $0,35$ . Енергія дихання моркви  $156$  Дж/(кг·год), а виділяється енергії  $174$  Дж/(кг·год).

Коефіцієнт транспірації  $k_t$  може коливатися в межах  $106 - 3250$ , а середня величина його  $207$  м<sup>2</sup>/(кг·с·МПа).

## 12.3. Інші коренеплоди

### 12.3.1. Бруква

Густина брукви дорівнює: білої ( $W = 0,846 - 0,888$ ) –  $959 - 990$ , чорної ( $W = 0,834 - 0,863$ ) –  $787 - 1080$  кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність брукви при  $0 < W < 1$  та  $T = 293$  К:

$$c = 1373 + 2814 \cdot W. \quad (12.15)$$

Теплоємність брукви ( $W = 0,891$ ) при температурі, нижчій криоскопічної:

$$c = 335 - \frac{45638}{T_v - 273} \quad (12.16)$$

Таблиця 12.24

**ТФХ брукви**

| Бруква | $T, K$    | $W$   | $\rho_\phi,$<br>кг/м <sup>3</sup> | $c,$<br>Дж/(кг·К) | $\lambda,$<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8,$<br>м <sup>2</sup> /с |
|--------|-----------|-------|-----------------------------------|-------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Біла   | –         | 0,869 | 976                               | 3820              | 0,52                   | 13,9                                 |
| Чорна  | –         | 0,846 | 940                               | 3760              | 0,48                   | 13,6                                 |
| -"-    | 321 – 273 | 0,918 | 983,5                             | 3890              | 0,54                   | 14,1                                 |

Енергетична цінність свіжої брукви 1550 кДж/кг.

**12.3.2. Ріпа**

Густина свіжої ріпи дорівнює 830 кг/м<sup>3</sup>, сухої ріпи ( $W = 0,0911$ ) – 1038,2 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 12.25

**Теплоємність ріпи**

| $W$  | <b>0,852</b> | <b>0,900</b> | <b>0,909</b> | <b>0,941</b> |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $c, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ | 37,26        | 3908         | 3890         | 4396         |

Теплоємність ріпи ( $W = 0,909$ ) при температурі нижче криоскопічної складає 1970 Дж/(кг·К).

Таблиця 12.26

**Теплоємність замороженої ріпи**

| $T, K$                                     | $T < T_k$  |            |            |            |            |            |            | $T > T_k$  |            |            |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|  | <b>233</b> | <b>238</b> | <b>244</b> | <b>250</b> | <b>255</b> | <b>261</b> | <b>266</b> | <b>277</b> | <b>283</b> | <b>288</b> |
| $c, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ | 1758       | 1842       | 2010       | 2303       | 2680       | 3517       | 7453       | 4522       | 4438       | 4396       |

ТФХ ріпи ( $W = 0,898$ ) при  $T = 301 K$  дорівнюють:  $\rho_\phi = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $c = 3896 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ,  $\lambda = 0,56 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ,  $a = 14,3 \cdot 10^8 \text{ м}^2/\text{с}$ .

### 12.3.3. Редис

Густина редису ( $W = 0,913 - 0,925$ ) становить  $920 \text{ кг/м}^3$ . Вміст газів в тканинах редису сорту Рожевий з білим кінчиком –  $6,3\%$  від загального об'єму.

Таблиця 12.27

#### Теплоємність весняного редису

| $W$                                      | 0,921 | 0,933 | 0,9334 | 0,936 | 0,936       |
|--|-------|-------|--------|-------|-------------|
| $c, \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | 3960  | 3894  | 3000   | 3978  | 3977 – 2010 |

При температурі, нижчій криоскопічної, теплоємність редису дорівнює  $2010 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ . ТФХ редису ( $W = 0,921$ ) дорівнюють:  $\rho_{\text{ф}} - 920 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3960 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ,  $\lambda - 0,42 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ,  $a - 9,8 \cdot 10^8 \text{ м}^2/\text{с}$ . При нагріванні редису від  $283$  до  $363 \text{ К}$  температуропровідність становить  $16,8 \cdot 10^8 \text{ м}^2/\text{с}$ .

### 12.3.4. Селера

Густина селери при  $W = 0,869$  та  $0,90$  відповідно становить  $840$  та  $1002 \text{ кг/м}^3$ . Об'ємна маса сухого кореня селери ( $W = 0,094$ ) дорівнює  $470 \text{ кг/м}^3$ .

Експериментальні значення теплоємності селери при  $W = 0,883$  і  $0,937$  рівні відповідно  $3810$  і  $3978 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ . Теплопровідність та температуропровідність селери (при  $0,846 < W < 0,902$ ) визначаються за формулами:

$$\lambda = 0,135 + 0,51 \cdot W, \quad (12.17)$$

$$a \cdot 10^8 = 6,1 + 8,8 \cdot W. \quad (12.18)$$

Таблиця 12.28

#### ТФХ селери ( $W = 0,88$ )

| $\rho_{\text{ф}}, \text{ кг/м}^3$ | $c, \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $c\rho, \text{ кДж}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$ | $\lambda, \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ |
|-----------------------------------|--|--|---|--------------------------------------|
| 952                               | 3850                                     | 3665   | 0,51  | 13,9                                 |

### 12.3.5. Петрушка, пастернак, хрін, редька

Експериментальні значення теплоємності кучерявої петрушки ( $W = 0,65$  та  $0,95$ ) при температурі  $273 - 373$  К, відповідно дорівнюють  $3182$  та  $4061$  Дж/(кг·К).

Теплопровідність та температуропровідність петрушки при  $0,796 < W < 0,892$  визначають формули:

$$\lambda = 0,106 + 0,43 \cdot W, \quad (12.19)$$

$$a \cdot 10^8 = 6,1 + 72 \cdot W. \quad (12.20)$$

Об'ємна теплоємність петрушки (при  $0,796 < W < 0,892$ ), Дж/(м<sup>3</sup>·К)

$$c_p = 2737 + 1320 \cdot W. \quad (12.21)$$

Об'ємна маса пастернаку становить  $456 - 520$  кг/м<sup>3</sup>.

При температурі, нижчій криоскопічної, ( $W = 0,786$ )  $c = 1926$  Дж/(кг·К).

При температурі, нижчій криоскопічної, ( $W = 0,734$ )  $c = 1760$  Дж/(кг·К).

Густина дикої редьки становить  $800 - 950$  кг/м<sup>3</sup>. При температурі, нижчій криоскопічної, ( $W = 0,936$ )  $c$  – становить  $2010$  Дж/(кг·К).

Таблиця 12.29

#### Хімічний склад (%) сухих речовин коренеплодів та їх теплоємність

| Коренеплоди | Білки | Жири | Вуглеводи | Крохмаль | Клітковина | Кислоти | Зола | $c_{sp}$ ,<br>Дж/(кг·К) |
|-------------|-------|------|-----------|----------|------------|---------|------|-------------------------|
| Буряк       | 11,7  | –    | 74,5      | –        | 6,2        | 0,7     | 6,9  | 1397                    |
| Морква      | 12,1  | 0,9  | 63,3      | 1,9      | 11,2       | 0,9     | 9,3  | 1377                    |
| Бруква      | 9,7   | 0,8  | 62,6      | 3,2      | 12,2       | 1,6     | 9,7  | 1371                    |
| Ріпа        | 15,6  | –    | 58,3      | 3,1      | 14,6       | 1,0     | 7,3  | 13,95                   |
| Редька      | 16,5  | –    | 58,3      | 2,6      | 13,0       | 0,9     | 8,7  | 1389                    |
| Редис       | 17,6  | –    | 55,9      | 4,4      | 11,8       | 1,5     | 8,8  | 1388                    |
| Петрушка    | 10,0  | –    | 70,7      | 2,7      | 8,7        | 0,7     | 7,3  | 1376                    |
| Селера      | 12,9  | –    | 60,4      | 5,9      | 9,9        | 1,0     | 9,9  | 1413                    |
| Хрін        | 10,9  | –    | 70,9      | –        | 12,2       | –       | 6,1  | 1401                    |
| Пастернак   | 8,5   | –    | 42,7      | 24,3     | 14,6       | 0,6     | 9,4  | 1368                    |

Теплоємність коренеплодів: буряку, ріпи, селери і хрону

$$c = 1401 + 2786 \cdot W, \quad (12.22)$$

моркви, брукви, петрушки і пастернаку

$$c = 1373 + 2814 \cdot W, \quad (12.23)$$



редьки і редису

$$c = 1388 + 2799 \cdot W. \quad (12.24)$$

### 12.3.6. Енергетична цінність коренеплодів

Таблиця 12.30

#### Енергетична цінність коренеплодів

| Продукт            | $E_c$ , кДж/кг |
|--------------------|----------------|
| Бруква свіжа       | 1550           |
| Петрушка (зелень)  | 1880           |
| Петрушка (корінь)  | 1970           |
| Пастернак (корінь) | 1970           |
| Редис              | 840            |
| Редька             | 1420           |
| Ріпа               | 1170           |
| Селера (корінь)    | 1300           |
| Селера (зелень)    | 330            |
| Хрін               | 1340           |

## 12.4. Капустяні овочі

### 12.4.1. Капуста білокачанна

Густина свіжих качанів при  $W = 0,915$  дорівнює 730, сорту Амагер 611 – 550 – 850 кг/м<sup>3</sup>. Об'ємна маса капусти при  $W = 0,915$  становить 400 – 430, сорту Амагер 611 – 390 – 410 кг/м<sup>3</sup>, шпаруватість шару качанів 0,45 – 0,47. Таким чином, між об'ємною масою та густиною капусти справедлива рівність:

$$\rho_n = 0,56 \cdot \rho_f. \quad (12.25)$$

Таблиця 12.31

#### Теплоємність білокачанної капусти

| $W$             | 0,866 | 0,868 | 0,906 | 0,9064 | 0,910 | 0,9102 | 0,90÷0,92 | 0,917 | 0,915 | 0,924 |
|-----------------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-----------|-------|-------|-------|
| $c$ , Дж/(кг·К) | 3730  | 3726  | 3890  | 3894   | 3894  | 3814   | 3894      | 3890  | 3970  | 3936  |

**Нагрівання.** Теплоємність качанів ( $W = 0,97$ ) при нагріванні від 273 до 373 К дорівнює 4103 Дж/(кг·К). В процесі варіння ТФХ капусти більші, ніж свіжої

(табл. 12.32).

Таблиця 12.32

**ТФХ свіжої білокачанної капусти під час варіння**

| $W$    | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|--------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| 0,915* | 3970            | 0,34                 | 12,2                               |
| 0,912  | 3936            | 0,99...1,32          | 26,9...36,0                        |
| 0,910  | 3894            |                      |                                    |
| 0,970  | 4103            |                      |                                    |

\*В чисельнику подані дані свіжих качанів, а в знаменнику – під час варіння.

Таблиця 12.33

**ТФХ білокачанної капусти**

| Показник                           | $T$ , К   |           |           |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                                    | 293 – 313 | 323 – 343 | 343 – 363 |
| $W$                                | 0,901     | 0,902     | 0,892     |
| $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)  | 446,9     | 371,0     | 351,3     |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,8       | 1,15      | 1,30      |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 17,9      | 31,0      | 37,0      |

**Сушіння.** Теплоємність висушених листків капусти ( $W = 0,054$ ) при нагріванні від 300 до 339 К становить 2177 Дж/(кг·К). Температуропровідність качанів при сушінні (при  $0 < W^c < 5$ ):

$$a \cdot 10^8 = L + F \cdot W^c, \quad (12.26)$$

де сталі  $L$  та  $F$  відповідно дорівнюють: при  $T = 309$  К,  $L = 3,2$  та  $F = 0,24$ ; при  $T = 328$  К,  $L = 3,6$  та  $F = 0,43$ .

**Охолодження та заморожування.** ТФХ різних частин качана при охолодженні різні.

Таблиця 12.34

**ТФХ капусти сорту Амагер 611 при охолодженні**

| Частина качана | $W$   | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|----------------|-------|------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| Качан          | 0,157 | 1010                         | 3750            | 0,43                 | 11,4                               |
| Під листям     | 0,110 | 870                          | 2880            | 0,29                 | 8,7                                |
| Основна        | 0,420 | 630                          | 3010            | 0,14                 | 7,3                                |

В процесі заморожування густина качана менша, ніж при температурі

273 К: при  $T = 253$  К – на 2,7% та при  $T = 213$  К – на 3,3%. При температурі нижче криoscopічної теплоємність капусти становить: при  $W = 0,924 - 1970$ , при  $W = 0,910 - 2010$ , при  $W = 0,868 - 1758$  Дж/(кг·К).

#### 12.4.2. Капуста цвітна

При нагріванні від 272 до 277 К ( $W = 0,92$ )  $c = 3056$  Дж/(кг·К).

Таблиця 12.35

#### Теплоємність кольорової капусти

|                     |               |              |               |              |              |              |
|---------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>W</b>            | <b>0,8974</b> | <b>0,907</b> | <b>0,9111</b> | <b>0,917</b> | <b>0,917</b> | <b>0,920</b> |
| <b>c, Дж/(кг·К)</b> | 3810          | 3978         | 3810          | 3890         | 3894         | 3894         |

Таблиця 12.36

#### Теплоємність в Дж/(кг·К) капусти при температурі нижче криoscopічної

| Капуста   | W     | T, К |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|           |       | 233  | 238  | 244  | 250  | 255  | 261  | 266  | 271  |
| Кольорова | 0,920 | 1884 | 2010 | 2177 | 2428 | 2763 | 3433 | 7327 | 3056 |
| Кольорова | 0,907 | 1758 | 1842 | 1968 | 2219 | 2596 | 3224 | 5736 | –    |
| Спаржева  | 0,910 | 1884 | 2010 | 2177 | 2386 | 2721 | 3433 | 6657 | –    |

Теплоємність головок при температурі нижче криoscopічної при  $W = 0,91$

$$c = 716 - \frac{37398}{T_v - 273} \quad (12.27)$$

#### 12.4.3. Інші види капусти

При температурі, нижчій криoscopічної, ( $W = 0,848 - 0,849$ ) теплоємність брюссельської капусти 1926 Дж/(кг·К).

Густина кольрабі 0,875 – 0,885 становить 980 – 1015 кг/м<sup>3</sup>.

При температурі, нижчій криoscopічної, ( $W = 0,901$ )  $c = 1980$  Дж/(кг·К). Теплопровідність кольрабі ( $W = 0,856$ ) при густини 1010 кг/м<sup>3</sup> відповідає 0,50 Вт/(м·К). ТФХ кольрабі ( $W = 0,881$ ) дорівнюють:  $\rho_\phi - 1000$  кг/м<sup>3</sup>,  $c - 3860$  Дж/(кг·К),  $\lambda - 0,49$  Вт/(м·К),  $a - 12,7 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Теплоємність савойської капусти ( $W = 0,91$ ) при температурі, вищій та нижчій криоскопічної, відповідно дорівнює 3890 та 3010 Дж/(кг·К).

Теплоємність спаржевої капусти ( $W = 0,899$ ) становить 3850 Дж/(кг·К).

З підвищенням температури ( $W = 0,907$ ) цей показник збільшується і при температурі 277, 283 та 288 К відповідно дорівнює 3726, 3852 та 3978 Дж/(кг·К).

Таблиця 12.37

**Ентальпія спаржевої капусти ( $W = 0,91$ )**

|                                     |     |      |      |      |       |       |       |
|-------------------------------------|-----|------|------|------|-------|-------|-------|
| <b><math>T, K</math></b>            | 233 | 243  | 253  | 263  | 272   | 283   | 293   |
| <b><math>h, \text{Дж/кг}</math></b> | 0   | 24,0 | 47,5 | 85,0 | 350,0 | 392,0 | 429,0 |

Теплоємність в Дж/(кг·К) спаржевої капусти при температурі, нижчій криоскопічної, визначає формула:

$$c = 754 - \frac{38018}{T_v - 273} \quad (12.28)$$

При температурі, нижчій криоскопічної, ця величина ( $W = 0,899$ ) становить 1970 Дж/(кг·К). Теплопровідність головок, розрізаних на 8–12 частин та ошпарених окропом ( $\rho_\phi = 560 \text{ кг/м}^3$  та  $T = 267 \text{ К}$ ), становить 0,385 Вт/(м·К).

Таблиця 12.38

**Хімічний склад (%) сухих речовин капустияних овочів та їх теплоємність**

| Капуста        | Білки | Вуглеводи | Крохмаль | Клітковина | Кислоти | Зола | $c_{cp}$ , Дж/(кг·К) |
|----------------|-------|-----------|----------|------------|---------|------|----------------------|
| Білокачанна    | 20,8  | 56,6      | 5,8      | 8,1        | 0,6     | 8,1  | 1400                 |
| Червонокачанна | 16,8  | 57,0      | 4,7      | 12,1       | 1,9     | 7,5  | 1378                 |
| Брюссельська   | 31,8  | 41,0      | 3,3      | 10,6       | 4,6     | 8,6  | 1403                 |
| Кольрабі       | 19,9  | 55,3      | 3,5      | 12,1       | 0,7     | 8,5  | 1366                 |
| Кольорова      | 27,2  | 47,8      | 5,4      | 9,8        | 1,1     | 8,7  | 14,03                |

Теплоємність сухої речовини капустияних овочів визначається за формулами:

при  $0 < W < 1$  і  $T = 293 \text{ К}$ :

для білокачанної, брюссельської та кольорової капусти

$$c = 1402 + 2785 \cdot W, \quad (12.29)$$

для червонокачанної капусти та кольрабі

$$c = 1372 + 2815 \cdot W. \quad (12.30)$$

**Насіння.** Фізичні показники насіння капусти ( $W = 0,076$ ) дорівнюють:

$\rho_f - 1090 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_n - 657 \text{ кг/м}^3$ ,  $S - 39,7\%$ . ТФХ шару насіння ( $W = 0,07$ ) сорту зимовка 1474 при  $T = 303 \text{ К}$  становлять:  $\rho_n - 740 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 1163 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda - 0,074 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $a - 8,6 \cdot 10^8 \text{ м}^2/\text{с}$ .

#### 12.4.4. Вироби з капусти

ТФХ щів із квашеної капусти ( $W = 0,881$ ) дорівнюють:  $\rho_f - 694 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3993 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda - 0,23 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $a - 8,3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ . Температуропровідність щів і борщу із квашеної капусти становить  $25 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ . Теплоємність супу із капусти при нагріванні від  $273$  до  $373 \text{ К}$  відповідає  $3768 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ , вареної білокачанної капусти ( $W = 0,97$ ), на тому ж інтервалі температур –  $4103 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

ТФХ тушкованої капусти ( $W = 0,89$ ) при температурі  $348 \text{ К}$  дорівнюють:  $\rho_f - 856 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3974 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda - 0,42 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $a - 12,3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ . З підвищенням температури теплопровідність тушкованої капусти збільшується (табл. 12.39).

Таблиця 12.39

#### Теплопровідність в Вт/(м·К) тушкованої капусти

| W     | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> | T, К  |       |       |       |       |
|-------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |                              | 303   | 313   | 323   | 333   | 343   |
| 0,779 | 892                          | –     | 0,120 | 0,140 | 0,158 | 0,178 |
| 0,890 | 858                          | 0,250 | 0,290 | 0,322 | 0,373 | 0,418 |

#### Енергетична цінність капусти та виробів з неї.

Таблиця 12.40

#### Енергетична цінність капусти та виробів з неї

| Продукт        | $E_c$ , кДж/кг |
|----------------|----------------|
| Капуста:       |                |
| Білокачанна    | 1170           |
| Червонокачанна | 1300           |
| Брюсельська    | 1920           |
| Кольрабі       | 1800           |

| Продукт                                    | Ец,кДж/кг |
|--|-----------|
| Кольорова                                  | 1210      |
| Білокачанна квашена                        | 590       |
| Білокачанна тушкована                      | 3600      |
| Білокачанна свіжа тушкована                | 4350      |
| Білокачанна з м'ясом                       | 5230      |
| Кольорова (консерви)                       | 460       |
| Сушена білокачанна                         | 10420     |
| Сушена кольорова                           | 12380     |
| Консерви обідні:                           |           |
| Капусняк запорізький                       | 8330      |
| Борщ із свіжою капустою                    | 3970      |
| Борщ із квашеною капустою                  | 3850      |
| Щі зі свіжою капустою                      | 3890      |
| Солянка овочева із квашеної капусти        | 5610      |
| Солянка овочево – грибна зі свіжої капусти | 4390      |
| Борщ флотський із м'ясом                   | 4230      |

### Тепломасообмінні характеристики капусти

Таблиця 12.41

#### Тепломасообмінні характеристики капусти

| Характеристика                            | Білокачанна | Брюсельська |
|---|-------------|-------------|
| Випарна здатність                         | 0,38        | –           |
| Коефіцієнт транспірації                   | 0,19        | 3,3         |
| Швидкість випаровування,<br>%/(доба·Мбар) | 0,5 – 1     | 2,8         |

Теплота дихання білокачанної капусти складає при 5°C – 21,4, а при 10°C – 31,6 Вт/т.

## 12.5. Листкові овочі

### 12.5.1. Шпинат

Густина шпинату ( $W = 0,93$ ) дорівнює  $954 \text{ кг/м}^3$ , а пористість – 5%, отже, справжня густина шпинату –  $1004 \text{ кг/м}^3$ . Об'ємна маса листя шпинату 156–188  $\text{кг/м}^3$ .

Таблиця 12.42

**Ентальпія свіжого шпинату ( $W = 0,90$ )**

|                               |      |      |      |      |      |       |       |       |       |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| <b><math>T, K</math></b>      | 243  | 253  | 258  | 263  | 268  | 273   | 278   | 283   | 293   |
| <b><math>h, кДж/кг</math></b> | 16,8 | 33,1 | 48,6 | 62,8 | 88,8 | 362,6 | 386,9 | 402,2 | 444,2 |

Таблиця 12.43

**Теплоємність свіжого шпинату**

|                                  |       |       |        |       |        |       |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| <b><math>W</math></b>            | 0,85* | 0,875 | 0,900* | 0,902 | 0,902* | 0,927 | 0,931 | 0,931 | 0,930 |
| <b><math>c, Дж/(кг·К)</math></b> | 3868  | 3852  | 3936   | 3890  | 3894   | 3936  | 3898  | 3917  | 3936  |

\* Середнє значення на інтервалі 273 – 373 К.

Теплоємність шпинату при температурі, нижчій криоскопічної, становить 2010 Дж/(кг·К). ТФХ свіжого шпинату ( $W = 0,93$ ) становлять:  $\rho_f - 954 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3998 \text{ Дж/(кг·К)}$ ,  $a - 16,1 \cdot 10^8 \text{ м}^2/\text{с}$  та підрахункова теплопровідність – 0,61 Вт/(м·К).

Теплопровідність запакованого замороженого шпинату ( $T = 253 \text{ К}$ ) при різних видах упаковки становить 1,25–1,80 Вт/(м·К).

**12.5.2. Салат**

Густина в  $\text{кг/м}^3$  качана салату зі збільшенням його об'єму  $V$  при  $100 < V < 2650 \text{ см}^3$  зменшується:

$$\rho_f = 519 - 0,0957 \cdot V. \quad (12.31)$$

Таблиця 12.44

**Теплофізичні характеристики салату**

| <b>Зразок</b> | <b><math>W</math></b> | <b><math>\rho_f, \text{кг/м}^3</math></b> | <b><math>c, \text{Дж/(кг·К)}</math></b> | <b><math>\lambda, \text{Вт/(м·К)}</math></b> | <b><math>a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}</math></b> |
|---------------|-----------------------|---|---|--|---|
| Насіння       | 0,079                 | 529                                       | 1370                                    | 0,075  | 10,3  |
| Салат         | 0,955                 | 500                                       | 4070                                    | 0,10   | 4,97  |

Експериментальні значення теплопровідності качанного салату – 0,147 Вт/(м·К). Зі збільшенням густини качанного салату його температуропровідність зменшується (табл. 12.45).

Таблиця 12.45

**Температуропровідність качанного салату сорту Lettuce**

|                                     |     |     |     |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|
| $\rho_f, \text{кг/м}^3$             | 475 | 494 | 577 |
| $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ | 7,1 | 4,4 | 3,4 |

Теплоємність салату при температурі, нижчій криоскопічної, дорівнює 2010 Дж/(кг·К).

**12.5.3. Щавель**

Об'ємна маса свіжого щавлю дорівнює 130 кг/м<sup>3</sup>. При нагріванні щавлю ( $W = 0,92$ ) від 273 до 373 К його теплоємність дорівнює – 4020 Дж/(кг·К).

Таблиця 12.46

**Хімічний склад сухих речовин листкових овочів та їх теплоємність**

| Овочі  | Хімічний склад, % |           |            |         |      | $c_{cp}, \text{Дж/(кг·К)}$ |
|--------|-------------------|-----------|------------|---------|------|----------------------------|
|        | Білки             | Вуглеводи | Клітковина | Кислоти | Зола |                            |
| Салат  | 28,3              | 41,5      | 9,4        | 1,9     | 18,9 | 1346                       |
| Шпинат | 38,2              | 30,3      | 6,6        | 1,3     | 23,7 | 1334                       |
| Щавель | 15,1              | 53,5      | 10,1       | 7,1     | 14,1 | 1345                       |

Теплоємність в Дж/(кг·К) листових овочів при  $0 < W < 1$  и  $T = 293 \text{ К}$

$$c = 1342 + 2845 \cdot W. \quad (12.32)$$

**12.5.4. Десертні овочі**

**Спаржа.** Об'ємна маса спаржі становить 375–520 кг/м<sup>3</sup>. Теплоємність в Дж/(кг·К) при  $0 < W < 1$  і  $T = 293 \text{ К}$ :

$$c = 1400 + 2787 \cdot W, \quad (12.33)$$

Таблиця 12.47

**Ентальпія замороженої спаржі ( $W = 0,926$ )**

|                    |     |       |       |       |        |        |        |        |
|--------------------|-----|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| $T, \text{К}$      | 233 | 244   | 250   | 255   | 261    | 266    | 272    | 277    |
| $h, \text{кДж/кг}$ | 0   | 33,50 | 58,62 | 79,55 | 108,86 | 154,92 | 422,89 | 711,91 |

Теплоємність спаржі при температурі нижче криоскопічної становить: при  $W = 0,93$  – 2010, при  $W = 0,94$  – 1970 Дж/(кг·К).



**Ревінь.** Теплоємність в Дж/(кг·К) ревеню при  $0 < W < 1$  і  $T = 293$  К

$$c = 1317 + 2870 \cdot W, \quad (12.34)$$

Теплоємність замороженого ревеню при  $W = 0,949$  становить 2010, а при  $W = 0,94$  – 1970 Дж/(кг·К).

**Артишок.** При масовій частці вологи 0,84 у артишоці густина його дорівнює  $912 \text{ кг/м}^3$ , а пористість – 9%. Отже, справжня густина артишоку ( $W = 0,84$ ) становить  $1002 \text{ кг/м}^3$ .

Таблиця 12.48

**Теплоємність артишоку при  $T \approx 293$  К**

|                     |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|
| <b>W</b>            | 0,795 | 0,837 | 0,90* |
| <b>c, Дж/(кг·К)</b> | 3480  | 3640  | 3890  |

\* На інтервалі 273 – 373 К

При температурі нижче криоскопічної теплоємність артишоку ( $W = 79,5$ – $0,837$ ) дорівнює: 1884–1842 Дж/(кг·К).

Таблиця 12.49

**Хімічний склад сухих речовин десертних овочів та їх теплоємність**

| <b>Овочі</b> | <b>Хімічний склад, %</b> |                  |                 |                   |                |             | <b><math>c_{cp}</math><br/>Дж/(кг·К)</b> |
|--------------|--------------------------|------------------|-----------------|-------------------|----------------|-------------|--|
|              | <b>Білки</b>             | <b>Вуглеводи</b> | <b>Крохмаль</b> | <b>Клітковина</b> | <b>Кислоти</b> | <b>Зола</b> |  |
| Ревінь       | 10,6                     | 43,9             | –               | 15,1              | 15,1           | 15,1        | 1317                                     |
| Спаржа       | 25,7                     | 36,5             | 12,2            | 16,2              | 1,3            | 8,1         | 1400                                     |

**12.5.5. Цибульні овочі**

**Цибуля ріпчаста.** Дійсна густина при  $0 < W < 1$  і  $T = 293$  К

$$\rho_i = 1610 - 612 \cdot W. \quad (12.35)$$

Ріпчаста цибуля характеризується великою пористістю. Вміст газів у ньому (% від загального об'єму голівки) становить 18,8–19,4, а в ріпчастій цибулі сорту Арзамаський доходить до 32,3%. В такому разі густина ріпчастої цибулі набагато менша дійсної. Так, при  $W = 0,843$ – $0,883$  його густина дорівнює 936–1096, а при  $W = 0,866$ – $0,940$   $\text{кг/м}^3$ .

Таблиця 12.50

**Теплоємність свіжої ріпчастої цибулі**

|                     |      |       |       |             |       |
|---------------------|------|-------|-------|-------------|-------|
| <b>W</b>            | 0,80 | 0,804 | 0,856 | 0,80 – 0,89 | 0,900 |
| <b>c, Дж/(кг·К)</b> | 3601 | 3655  | 3790  | 3810        | 3894  |

В інтервалі температур 273–373 К теплоємність ріпчастої цибулі при  $W = 0,80$  та  $0,90$  дорівнює відповідно 3600 та 3890 Дж/(кг·К).

Теплоємність ріпчастої цибулі ( $W = 0,875$ ) при температурі нижче криоскопічної становить 2010 Дж/(кг·К).

Зі збільшенням пористості ріпчастої цибулі його теплопровідність та температуропровідність зменшуються (табл. 12.51).

Таблиця 12.51

**Теплофізичні характеристики ріпчастої цибулі при  $\Pi = 12,8 - 13,9\%$** 

| <b>Сорт</b>                      | <b>W</b> | <b><math>\rho_f</math>, кг/м<sup>3</sup></b> | <b><math>\Pi</math>, %</b> | <b>c, Дж/(кг·К)</b> | <b><math>\lambda</math>, Вт/(м·К)</b> | <b><math>a \cdot 10^8</math>, м<sup>2</sup>/с</b> |
|----------------------------------|----------|--|----------------------------|---------------------|---------------------------------------|---|
| Макої                            | 0,867    | 944  | 12,8                       | 3820                | 0,35                                  | 9,7   |
| Карательський<br>(урожай 1979р.) | 0,871    | 940  | 13,0                       | 3830                | 0,33                                  | 9,2   |
| Карательський<br>(урожай 1980р.) | 0,871    | 930  | 13,9                       | 3830                | 0,31                                  | 9,1   |
| Середнє                          | 0,870    | 938  | 13,2                       | 3827                | 0,33                                  | 9,3   |

Теплопровідність шару ріпчастої цибулі збільшується з підвищенням швидкості руху повітря, що охолоджує (табл.12.52).

Таблиця 12.52

**Теплопровідність шару голівок ріпчастої цибулі (маса 440 кг) при зберіганні в контейнері ( $T = 279$  К)**

|                                       |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|
| <b>w, м/с</b>                         | 0    | 0,1  | 0,6  | 0,8  | 2,0  |
| <b><math>\lambda</math>, Вт/(м·К)</b> | 0,28 | 0,28 | 0,46 | 0,73 | 0,54 |

ТФХ шару насіння цибулі сорту Данилівська 301 ( $W = 0,088$ ) при  $T = 303$  К дорівнюють:  $\rho_f - 527$  кг/м<sup>3</sup>,  $c - 1122$  Дж/(кг·К),  $\lambda - 0,059$  Вт/(м·К),  $a - 10,1 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с. ТФХ пасерованої цибулі ( $W = 0,906$ ) при  $T = 348$  К дорівнюють:  $\rho_f - 819$  кг/м<sup>3</sup>,  $c - 3931$  Дж/(кг·К),  $\lambda - 0,44$  Вт/(м·К),  $a - 13,7 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Теплопровідність пасерованої цибулі збільшується з підвищенням

температури та масової частки вологи (табл.12.53).

Таблиця 12.53

**Теплопровідність в Вт/(м·К) пасерованої цибулі**

| $W$   | $T, K$ |       |       |
|-------|--------|-------|-------|
|       | 323    | 333   | 343   |
| 0,850 | 0,333  | 0,343 | 0,352 |
| 0,906 | 0,342  | 0,386 | 0,422 |

**Цибуля-порей.** При нагріванні цибулі-порею ( $W = 0,92$ ) від 273 до 373 К його теплоємність дорівнює 3980 Дж/(кг·К).

Теплоємність цибулі-порею ( $W = 0,882$ ) при температурі нижче криоскопічної становить 1926 Дж/(кг·К).

Таблиця 12.54

**Теплоємність свіжої цибулі-порею**

|                |       |      |       |
|----------------|-------|------|-------|
| $W$            | 0,882 | 0,92 | 0,937 |
| $c, Дж/(кг·К)$ | 3768  | 3972 | 4015  |

**Часник.** Дійсна густина сухих речовин часнику становить 1386 кг/м<sup>3</sup>. Зі збільшенням масової частки вологи в часнику вона зменшується (табл.12.55).

Таблиця 12.55

**Фізичні показники часнику**

| Показник         | Масова частка вологи |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  | 0                    | 0,187 | 0,315 | 0,405 | 0,476 | 0,533 | 0,578 | 0,615 | 0,645 | 0,672 | 0,695 |
| $\rho_i, кг/м^3$ | 1386                 | 1353  | 1319  | 1286  | 1251  | 1219  | 1184  | 1151  | 1117  | 1084  | 1050  |
| Цілі частки      |                      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| $\rho_n, кг/м^3$ | 933                  | 963   | 981   | 1000  | 1006  | 1007  | 1007  | 1007  | 1003  | 993   | 978   |
| $S, \%$          | 32,7                 | 28,8  | 25,6  | 22,2  | 19,6  | 17,4  | 14,9  | 12,5  | 10,2  | 8,4   | 6,9   |
| Скибочки         |                      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| $\rho_n, кг/м^3$ | 1318                 | 1281  | 1241  | 1200  | 1167  | 1137  | 1107  | 1074  | 1048  | 1022  | 1000  |
| $S, \%$          | 4,9                  | 5,3   | 5,9   | 6,7   | 6,7   | 6,7   | 6,5   | 6,7   | 6,2   | 5,7   | 4,8   |

Густина часток часнику ( $W = 0,616-0,634$ ) становить 936–1096 кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність в Дж/(кг·К) часнику при  $0 < W < 1$  та  $T = 293$  К:

$$c = 1420 + 2767 \cdot W. \quad (12.32)$$

Таблиця 12.56

**Теплоємність часнику**

|                     |       |       |       |      |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| <b>W</b>            | 0,605 | 0,615 | 0,615 | 626  | 0,742 | 0,910 |
| <b>c, Дж/(кг·К)</b> | 3140  | 3144  | 3140  | 3140 | 3308  | 3890  |

Теплоємність часнику при температурі нижче криоскопічної становить: при  $W = 0,742 - 1758$ , при  $W = 0,910\% - 2010$  Дж/(кг·К).

ТФХ часнику ( $W = 0,626$ ) дорівнюють:  $\rho_\phi - 964$  кг/м<sup>3</sup>,  $c - 3140$  Дж/(кг·К),  $\lambda - 0,51$  Вт/(м·К),  $a - 16,9 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Таблиця 12.57

**Хімічний склад сухих речовин цибульних овочів та їх теплоємність**

| <b>Овочі</b>                | <b>Хімічний склад, %</b> |                  |                 |                   |                |             | <b><math>c_{cp}</math>,<br/>Дж/(кг·К)</b> |
|-----------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|-------------------|----------------|-------------|---|
|                             | <b>Білки</b>             | <b>Вуглеводи</b> | <b>Крохмаль</b> | <b>Клітковина</b> | <b>Кислоти</b> | <b>Зола</b> |   |
| Цибуля:<br>зелена<br>(перо) | 16,9                     | 55,8             | –               | 11,7              | 2,6            | 13,0        | 1363                                      |
| порей                       | 22,9                     | 55,7             | –               | 11,4              | 0,8            | 9,2         | 1396                                      |
| ріпчаста                    | 13,1                     | 73,1             | –               | 5,4               | 0,8            | 7,7         | 1396                                      |
| Часник                      | 21,6                     | 63,8             | 6,6             | 2,6               | 0,3            | 5,0         | 1420                                      |

Теплоємність в Дж/(кг·К) цибулі при  $0 < W < 1$  та  $T = 293$  К:

$$\text{цибуля зелена} \quad c = 1363 + 2824 \cdot W, \quad (12.33)$$

$$\text{цибуля порей та ріпчаста} \quad c = 1396 + 2791 \cdot W. \quad (12.34)$$

### 12.5.6. Енергетична цінність листових, десертних, цибульних овочів та виробів з них

Таблиця 12.58

#### Енергетична цінність листових, десертних, цибульних овочів та виробів з них

| <b>Продукт</b>               | <b>Ец, кДж/кг</b> |
|------------------------------|-------------------|
| Шпинат свіжий                | 880               |
| Шпинат – пюре                | 790               |
| Шпинат з молоком             | 3770              |
| Шпинат з м'ясом та картоплею | 2760              |
| Салат свіжий                 | 590               |
| Щавель свіжий                | 1170              |

| Продукт                | <i>E<sub>c</sub></i> , кДж/кг |
|------------------------|-------------------------------|
| Спаржа свіжа           | 880                           |
| Спаржа біла (консерви) | 790                           |
| Ревінь черешковий      | 670                           |
| Цибуля ріпчаста        | 1800                          |
| Цибуля зелена (перо)   | 920                           |
| Цибуля порей           | 1670                          |
| Цибуля ріпчаста сушена | 11420                         |
| Соус з цибулі          | 3310                          |
| Часник свіжий          | 4440                          |
| Черемша                | 1420                          |

Випарна здатність цибулі ріпчастої змінюється в межах 0,03–0,1, коефіцієнт транспірації та відносна швидкість випаровування – 0,05 та 0,02 % (доба·Мбар), а теплота дихання при 5°C – 15,4 Вт/т.

## 12.6. Гарбузові овочі

### 12.6.1. Гарбуз

Густина гарбуза ( $W = 0,905–0,906$ ) становить від 942 до 861 кг/м<sup>3</sup>.

При температурі нижче криоскопічної теплоємність гарбуза ( $W = 0,900–0,905$ ) дорівнює 1970 Дж/(кг·К). Теплопровідність гарбуза в інтервалі 273–288 К складає від 0,47 до 0,52 Вт/(м·К). Температуропровідність гарбуза при 320 К становить  $17,1 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

ТФХ гарбуза ( $W = 90,5\%$ ) становить:  $\rho_{\phi} = 954$  кг/м<sup>3</sup>,  $c = 3920$  Дж/(кг·К),  $\lambda = 0,47$  Вт/(м·К),  $a = 12,6 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

В процесі охолодження гарбуза ( $\rho_{\phi} = 700$  кг/м<sup>3</sup>) в воді при коефіцієнті тепловіддачі 36,16 та 24,59 Вт/(м<sup>2</sup>·К) температуропровідність відповідно становить  $2,55 \cdot 10^{-8}$  та  $2,30 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Густина в кг/м<sup>3</sup> та теплоємність в Дж/(кг·К) пюреподібного продукту із гарбуза з рисом при  $293 < T < 353$  К

$$\rho_{\phi} = 1348 - 0,46 \cdot T, \quad (12.35)$$

$$c = 3503 + 0,450 \cdot T. \quad (12.36)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) пюреподібного продукту із гарбуза з рисом

при  $293 < T < 353 \text{ К}$

$$\lambda = \frac{0,508 \times 10^{-4} \times \rho_{\phi}^{3/4}}{\alpha} \quad (12.37)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт асоціації води, який з підвищенням  $T$  від 293 до 353 К майже лінійно зменшується від 1,16 до 1,008.

### 12.6.2. Кабачки

Справжня густина сухих речовин свіжих кабачків становить 1650–1665 кг/м<sup>3</sup>. Справжня густина в кг/м<sup>3</sup> свіжих кабачків при  $0 < W < 1$  та  $T = 293 \text{ К}$

$$\rho_i = 1657 - 659 \cdot W. \quad (12.38)$$

Густина свіжих кабачків значно менша справжньої, оскільки в них є багато газів (об'ємних 12,5–16,4%). Пористість кабачків становить 9 – 13%, причому в серцевині вона більша ніж в поверхневих шарах. Густина свіжих кабачків дорівнює 852–987 кг/м<sup>3</sup>.

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) моноліту кабачків при  $0 < W < 1$  та  $T = 293 \text{ К}$ :

$$c_p = 2295 + 3733 \cdot W - 1841 \cdot W^2. \quad (12.39)$$

Таблиця 12.59

#### Теплофізичні характеристики свіжих кабачків

| $W$   | $T, \text{ К}$ | $\rho_{\phi}, \text{ кг/м}^3$ | $c_p, \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{К)}$ | $\lambda, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ | $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ |
|-------|----------------|-------------------------------|---|--|--------------------------------------|
| 0,877 | 299            | 950                           | 3401                                    | 0,50                                     | 14,7                                 |
| 0,936 | 296            | 970                           | 3354                                    | 0,53                                     | 15,8                                 |
| 0,944 | –              | –                             | 3852                                    | 0,60                                     | 15,5                                 |
| 0,949 | 320            | 995                           | 4000                                    | 0,68                                     | 17,1                                 |
| 0,949 | –              | 904                           | 3652                                    | 0,33                                     | 8,9                                  |

В результаті обжарки кабачків справжня густина їх сухих речовин зменшується до 1550–1600 кг/м<sup>3</sup>, густина – до 210–290 кг/м<sup>3</sup>, а пористість підвищується до 80–87%.

Таблиця 12.60

**Теплофізичні характеристики кабачків в процесі обжарки**

| $\tau$ , хв | $W$   | $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|-------------|-------|-----------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 30          | 0,930 | 4522                              | 0,640                | 14,1                               |
| 45          | 0,925 | 4480                              | 0,617                | 13,7                               |

Температуропровідність кабачків, нарізаних кружками з овочевим фаршем в томатному соусі та ікри із кабачків при стерилізації в автоклаві ( $T = 393$  К) становить  $13,0 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Таблиця 12.61

**Температуропровідність кабачкової ікри**

| $T$ , К                            | 333  | 348  | 358  | 368  | 378  | 388  | 393  |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 13,3 | 14,0 | 14,7 | 15,1 | 15,0 | 15,0 | 15,0 |

**12.6.3. Огірки**

Густина огірків в певній мірі визначається вмістом в них газів, який становить 14,8–18,3% від загального об'єму. Густина огірків ( $W = 0,957–0,969$ ) коливається від 904 до 945 кг/м<sup>3</sup>. Об'ємна маса огірків становить 624–650 кг/м<sup>3</sup>. Шпаруватість шару огірків дорівнює приблизно 30%. Теплоємність в Дж/(кг·К) парникових огірків при  $0 < W < 1$  та  $T = 293$  К

$$c = 1332 + 2855 \cdot W. \quad (12.40)$$

В процесі охолодження в воді огірків ( $\rho_\phi = 960$  кг/м<sup>3</sup>) при коефіцієнті тепловіддачі 55,58 та 51,51 Вт/(м<sup>2</sup>·К) температуропровідність їх відповідно дорівнює  $61,0 \cdot 10^{-8}$  і  $53,3 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Таблиця 12.62

**ТФХ м'якоті огірка**

| ТФХ                                | Температура, К |       |       |       |
|------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|
|                                    | 298            | 318   | 338   | 358   |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,415          | 1,015 | 1,615 | 2,215 |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 6,8            | 19,0  | 35,2  | 57,8  |
| $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)  | 6110           | 5350  | 4590  | 3830  |

Теплоємність в Дж/(кг·К) огірків при температурі нижче криоскопічної при

$W = 0,96$ :

$$c = 1001 - \frac{28756}{\bar{T}_v - 273} \quad (12.41)$$

Таблиця 12.63

**Ентальпія в кДж/кг огірків**

| W     | T, K |       |       |       |        |        |        |        |        |        |
|-------|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|       | 233  | 243   | 253   | 263   | 268    | 273    | 278    | 283    | 288    | 293    |
| 0,954 | 0    | 20,93 | 42,71 | 69,92 | 104,26 | 394,83 | 419,54 | 435,87 | 455,96 | 476,48 |
| 0,960 | 0    | 19,8  | 41,3  | 70,0  | —      | —      | —      | —      | —      | —      |

Таблиця 12.64

**Формули для визначення ТФХ огірків огородніх та парникових залежно від температури при  $25 < t < 80$  °C**

| ТФХ                               | Формула                                    |
|-----------------------------------|--|
| $c\rho$ , МДж/(м <sup>3</sup> ·К) | $c\rho = 0,11 - 0,032(t - 25) \pm 0,605$   |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)              | $\lambda = 0,415 + 0,03(t - 25) \pm 0,035$ |

ТФХ шару насіння огірків сорту В'язниківський 37 ( $W = 0,075$ ) дорівнює:  $\rho_\phi - 575$  кг/м<sup>3</sup>,  $c - 1624$  Дж/(кг·К),  $\lambda - 0,088$  Вт/(м·К),  $a - 9,5 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

**12.6.4. Дині**

Густина дині ( $W = 0,863-0,890$ ) становить від 985 до 1072 кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність дині ( $W = 0,890$  та  $0,927$ ) при температурі нижче криоскопічної відповідно 1928 і 2010 Дж/(кг·К). Теплоємність в Дж/(кг·К) дині при температурі нижче криоскопічної:

$$c = 544 - \frac{46601}{\bar{T}_v - 273} \quad (12.42)$$

Таблиця 12.65

**ТФХ дині**

| W     | T, K | $\rho_\phi$ , кг/м <sup>3</sup> | c, Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|-------|------|---------------------------------|--------------|----------------------|------------------------------------|
| 0,928 | 301  | 930                             | 3981         | 0,57                 | 15,4                               |

Теплопровідність мускатної дині дорівнює 0,571 Вт/(м·К).



### 12.6.5. Кавуни

Густина кавунів ( $W = 0,833 - 0,933$ ) становить  $910 \text{ кг/м}^3$ .

Таблиця 12.66

#### Теплоємність медових кавунів ( $W = 0,926$ )

|  |      |      |      |      |      |      |      |           |
|--|------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| <b><math>T, \text{ К}</math></b>         | 233  | 238  | 244  | 250  | 255  | 261  | 266  | 271 – 273 |
| <b><math>c, \text{ Дж/(кг·К)}</math></b> | 2010 | 2093 | 2219 | 2428 | 2847 | 3936 | 7746 | 3852      |

ТФХ кавунів ( $W = 0,913$ ) дорівнюють:  $\rho_{\phi} - 910 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3940 \text{ Дж/(кг·К)}$ ,  $\lambda - 0,50 \text{ Вт/(м·К)}$ ,  $a - 13,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Об'ємна маса насіння кавуна становить  $460 - 470 \text{ кг/м}^3$ , а густина кавунового масла при  $T = 283 \text{ К} - 914 - 926 \text{ кг/м}^3$ .

Таблиця 12.67

#### Хімічний склад (%) сухих речовин гарбузових овочів та їх теплоємність

| Овочі           | Білки | Жири | Вуглеводи | Крохмаль | Клітковина | Кислоти | Зола | $c_{\text{ср}}$<br>Дж/(кг·К) |
|-----------------|-------|------|-----------|----------|------------|---------|------|------------------------------|
| Гарбуз          | 10,6  | –    | 47,9      | 21,3     | 12,8       | 1,1     | 6,4  | 1390                         |
| Кабачки         | 8,1   | 4,0  | 77,0      | –        | 4,0        | 1,3     | 5,4  | 1411                         |
| Кавуни          | 6,3   | –    | 82,9      | –        | 4,5        | 0,9     | 5,4  | 1397                         |
| Дині            | 5,2   | –    | 82,7      | –        | 5,2        | 1,7     | 5,2  | 1395                         |
| Огірки:         |       |      |           |          |            |         |      |                              |
| грунтові        | 15,7  | –    | 56,9      | 2,0      | 13,7       | 2,0     | 9,8  | 1380                         |
| парникові       | 18,9  | –    | 45,9      | 2,7      | 13,5       | –       | 18,9 | 1332                         |
| Насіння огірків | 33,6  | 35,0 | 2,3       | 9,7      | 12,1       | –       | 5,1  | 1489                         |

Теплоємність в Дж/(кг·К) гарбуза, кабачків, кавуна, дині та ґрунтових огірків при  $0 < W < 1$  та  $T = 293 \text{ К}$  визначають за формулою:

$$c = 1385 + 2802 \cdot W. \quad (12.43)$$

### 12.6.6. Енергетична цінність гарбузових овочів та виробів з них

Теплота дихання огірків складає при  $50^{\circ}\text{C}$   $35,6$ , а при  $100^{\circ}\text{C}$  –  $116,6 \text{ Вт/т}$ .  
Випарна здатність огірків на рівні  $0,4$ .

**Енергетична цінність гарбузовиховочів та виробів з них**

| <b>Продукт</b>                                | <b>Ец, кДж/кг</b> |
|---|-------------------|
| Гарбуз свіжий                                 | 1210              |
| Соус гарбузовий                               | 4520              |
| Гарбуз нарізаний в гарбузовому пюре із цукром | 3600              |
| Гарбуз з рисом                                | 4140              |
| Пюре з гарбуза, яблук та айви                 | 3140              |
| Сік гарбузово – абрикосовий                   | 2090              |
| Кабачки свіжі                                 | 1130              |
| Ікра з кабачків                               | 5100              |
| Кабачки кружальцями в томатному соусі         | 4900              |
| Пюре із кабачків з молоком                    | 3180              |
| Кабачки в молочному соусі                     | 2760              |
| Огірки свіжі ґрунтові                         | 630               |
| Огірки свіжі парникові                        | 420               |
| Огірки солоні                                 | 790               |
| Диня свіжа                                    | 1630              |
| Сік з дині                                    | 2220              |
| Кавун свіжий                                  | 1590              |
| Сік з кавуна                                  | 2130              |

**12.7. Томатні овочі****12.7.1. Томати. Свіжі томати**

Фізичні показники томатів наведені в таблиці 12.69.

Таблиця 12,69

**Фізичні показники свіжих томатів ( $W = 0,913$ )**

| $\rho_i, \text{кг/м}^3$ | $\rho_f, \text{кг/м}^3$ | $P, \%$ | $\rho_n, \text{кг/м}^3$ | $S, \%$ |
|-------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|
| 1026                    | 990                     | 3,50    | 300                     | 69,8    |

Густина томатів сорту Сливовидний становить  $962 \text{ кг/м}^3$ , коли вміст газів складає 6,1мл на 100г.

Теплопровідність шару свіжих томатів становить  $0,28 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

Таблиця 12.70

**ТФХ свіжих томатів**

| $W$   | $\rho_f, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $a\cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|-------|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 0,942 | 1023                    | 4020                             | 0,57                                  | 13,9                               |
| 0,947 | 990                     | 3980                             | 0,55                                  | 13,9                               |
| 0,88  | 999                     | 3745                             | 0,52                                  | 13,9                               |

**Томати при зберіганні.**

Таблиця 12.71

**Зміни (%) густини томатів при зберіганні**

| Сорт       | Термін зберігання, діб |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            | 0                      | 20    | 40    | 60    | 90    | 120   | 150   | 210   |
| Донецький  | 100                    | 102,8 | 105,0 | 104,7 | 103,9 | 104,5 | 104,2 | 102,3 |
| Консервний | 100                    | 102,8 | 102,5 | 103,9 | 103,9 | 102,1 | 102,9 | 102,6 |
| Машинний   | 100                    | 103,1 | 106,0 | 105,3 | 106,7 | 103,3 | 103,2 | 101,9 |

**Томати при сушінні.** Справжня густина в  $\text{кг/м}^3$  сухої речовини томатів при  $293 < T < 353 \text{ К}$

$$\rho_{c,p}^i = 1618 - 0,50 \cdot T. \quad (12.44)$$

Теплоємність в  $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$  сухої речовини томатів при  $293 < T < 353 \text{ К}$

$$c_{c,p} = 461 + 30 \cdot T. \quad (12.45)$$

Теплопровідність в  $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$  моноліту сухої речовини томатів при  $293 < T < 353 \text{ К}$

$$\lambda_{c,p}^i = -0,87 + 0,0009 \cdot T. \quad (12.46)$$

Температуропровідність ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) моноліту сухої речовини томатів при  $293 < T < 353 \text{ К}$

$$a_{c,p}^i = 0,8425 + 0,0275 \cdot T. \quad (12.47)$$

Об'ємна теплоємність в  $\text{кДж/(м}^3\cdot\text{К)}$  моноліту сухої речовини томатів при  $293 < T < 353 \text{ К}$

$$c\rho_{c,p} = 751,4 + 4,64 \cdot T - 0,00162 \cdot T^2. \quad (12.48)$$

**Томати при нагріванні.** При температурі  $343 \text{ К}$  ТФХ томатів ( $W = 0,884$ ) дорівнюють:  $c - 3741 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda - 0,52 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $a - 13,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Температуропровідність томатів ( $W = 0,60-0,70$ ) при нагріванні від  $298$  до

338 К становить  $12,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ . При нагріванні від 273 до 373 К теплоємність томатів ( $W = 0,97$ ) дорівнює  $4103 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

**Томати при охолодженні та заморожуванні.** При охолодженні томатів від 299 до 279 К температуропровідність дорівнює:  $17,7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ . Густина заморожених томатів ( $940 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) менша ніж свіжих. Теплоємність томатів при температурі нижче криоскопічної дорівнює: при  $W = 0,947$  та  $0,941$  –  $2010 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

Таблиця 12.72

**ТФХ томатів ( $W = 0,94$ ) при варінні в воді**

| Спосіб варіння               | $\rho_f, \text{ кг}/\text{м}^3$ | $c, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ | $\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ | $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ |
|------------------------------|---------------------------------|--|---|--------------------------------------|
| Від холодної води до кипіння | 933                             | 4023                                       | 0,62  | 16,55                                |
| В киплячій воді              | 933                             | 4023                                       | 0,56  | 15,0                                 |

Теплоємність в  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  томатів при температурі нижче криоскопічної при  $W = 0,95$ :

$$c = 854 - \frac{36351}{T_v - 273} \quad (12.49)$$

При температурі нижче криоскопічної ТФХ томатів ( $W = 0,88$ ) дорівнюють:

$$c\rho = 1905 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}),$$

$$\lambda = 2,16 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}),$$

$$a = 11,35 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}.$$

### 12.7.2. Томатопродукти

Середнє значення густини свіжого томатного соку становить  $1064,3 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Густина в  $\text{кг}/\text{м}^3$  томатопродуктів на широкому інтервалі температур при  $292 < T < 403 \text{ К}$  та  $0,07 < n < 0,37$ :

$$\rho = 1143 + 475 \cdot n - 0,50 \cdot T \quad (12.50)$$

Теплоємність в  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  томатопродуктів при  $T = 293 \text{ К}$  і  $0 < n < 1$

$$c = 4187 - 2822 \cdot n \quad (12.50)$$

Отримані дані свідчать про те, що при  $n < 0,43$  об'ємна теплоємність

томатопродуктів з підвищенням температури зменшується і тим помітніше, чим менша масова частка сухих речовин. При  $n = 0,43$  об'ємна теплоємність томатопродукту від температури не залежить. І нарешті, при  $n > 0,43$  об'ємна теплоємність томатопродуктів з підвищенням температури збільшується і тим помітніше чим більша масова частка сухої речовини.

Теплопровідність томатопродуктів в Вт/(м·К):

при  $n = 0,04 - 0,30$ ,  $T = 293 - 353$  К

$$\lambda = -0,032 + 0,00205 \cdot T - 0,404 \cdot n, \quad (12.51)$$

при  $n = 0,048 - 0,80$ ,  $T = 293 - 423$  К

$$\lambda = 0,475 - 0,961 \cdot n + 0,0528 \cdot T + 0,00142 \cdot n \cdot T. \quad (12.52)$$

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с томатопродуктів:

при  $0,05 < n < 0,40$  та  $293 < T < 343$  К

$$a \cdot 10^8 = 5,43 - 4,4 \cdot n + 0,027 \cdot T. \quad (12.53)$$

ТФХ консервованого томатного соку при охолодженні від 318 до 293 К дорівнюють:  $\rho_\phi = 779,4$  кг/м<sup>3</sup>,  $c = 4019$  Дж/(кг·К),  $\lambda = 0,73$  Вт/(м·К),  $a = 23,3 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

**Насіння томатів** сорту Піонер 2761 (в шарі) при  $W = 0,085$  та  $T = 303$  К мають наступні ТФХ:  $\rho_n = 285$  кг/м<sup>3</sup>,  $c = 1315$  Дж/(кг·К),  $\lambda = 0,044$  Вт/(м·К),  $a = 11,8 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

**Томатне масло.** При температурі 283 К густина масла 920 – 929 кг/м<sup>3</sup>.

**Піна томатного концентрату.**

Таблиця 12.73

**Об'ємна маса (кг/м<sup>3</sup>) піни томатопродуктів**

| $n$  | Стабілізатор(сухий яєчний порошок),% |     |     |     |     |     |
|------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|      | 0                                    | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
| 0,30 | –                                    | 650 | 600 | 600 | 605 | –   |
| 0,40 | 980                                  | 750 | 650 | 610 | 605 | 600 |

Зі збільшенням тривалості збивання томатного соку об'ємна маса його піни зменшується (табл.12.74).

Таблиця 12.74

**Об'ємна маса піни томатного соку**

|   |     |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b><math>\tau</math>, год</b>                     | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
| <b><math>\rho_{\phi}</math>, кг/м<sup>3</sup></b> | 878 | 728 | 661 | 622 | 617 | 633 |

**Томатна пульпа.** Характеризується наступними ТФХ при  $T = 299$  К:  $\rho_{\phi} = 892$  кг/м<sup>3</sup>,  $c = 4212$  Дж/(кг·К),  $\lambda = 0,527$  Вт/(м·К),  $a = 14,6 \cdot 10^{-8} - 15,0 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Таблиця 12.75

**Ентальпія томатної пульпи**

|                               |     |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b><math>T</math>, К</b>      | 233 | 244  | 250  | 254  | 261   | 266   | 267   | 269   | 272   | 277   |
| <b><math>h</math>, кДж/кг</b> | 0   | 41,9 | 58,6 | 83,7 | 113,0 | 163,3 | 175,8 | 196,8 | 468,9 | 682,5 |

**Томатне пюре.** Теплопровідність в Вт/(м·К) томатного пюре ( $W = 0,684$ )

$$\lambda = 0,115 + 0,00144 \cdot T. \quad (12.54)$$

Таблиця 12.76

**ТФХ томатного пюре**

| <b><math>T</math>, К</b> | <b><math>W</math></b> | <b><math>\rho_{\phi}</math>, кг/м<sup>3</sup></b> | <b><math>c</math>, Дж/(кг·К)</b> | <b><math>\lambda</math>, Вт/(м·К)</b> | <b><math>a \cdot 10^8</math>, м<sup>2</sup>/с</b> |
|--------------------------|-----------------------|---|----------------------------------|---------------------------------------|---|
| –                        | 0,700                 | 1137  | 3342                             | 0,475                                 | 12,5  |
| 273                      | 0,684                 | 1151  | 3747                             | 0,508                                 | 11,8  |

**12.7.3. Перець**

Густина свіжого перцю ( $W = 0,904-0,931$ ) дорівнює 1007 кг/м<sup>3</sup>, а об'ємна маса висушеного меленого чорного перцю ( $W = 0,113$ ) – 540 кг/м<sup>3</sup>. Теплоємність зеленого та червоного солодкого перцю рекомендується визначати по формулі 12.56.

Теплоємність свіжого ( $W = 0,924$ ) та чилійського перцю ( $W = 0,120$ ) при температурі нижче криоскопічної відповідно дорівнює 1970 та 1010 Дж/(кг·К).

Теплопровідність в Вт/(м·К) шару меленого червоного перцю при  $W = 0,164$  та  $\rho_n = 473$  кг/м<sup>3</sup>

$$\lambda = 0,00064T - 0,084. \quad (12.54)$$

Теплопровідність шару меленої червоної паприки становить 0,09 Вт/(м·К).

Таблиця 12.77

**Зміни густини паприки в процесі бланшування**

| Середовище  | T, К | Тривалість, хв. |      |      |      |      |
|-------------|------|-----------------|------|------|------|------|
|             |      | 0               | 1    | 2    | 3    | 4    |
| Водяна пара | 388  | 944             | 1048 | 1049 | 1050 | 1052 |
| Вода        | 373  | 944             | 1040 | 1042 | 1048 | 1053 |
| »           | 363  | 944             | 1042 | 1042 | 1052 | 1047 |
| »           | 353  | 944             | –    | 1020 | –    | 1030 |

Температуропровідність консервів «Перець порізаний з фаршем в томатному соусі» та «Перець порізаний з фаршем» відповідно дорівнюють  $12,8 \cdot 10^{-8}$  і  $11,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**12.7.4. Баклажани**

Густина баклажанів при  $W = 0,9355$  дорівнює 1026,8, а при  $W = 0,895\text{--}0,924$  відповідно 796–990  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Об'ємна маса баклажанів ( $S = 42,7\%$ ) становить 410  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Таблиця 12.78

**ТФХ баклажан**

| W     | $\rho_f, \text{кг}/\text{м}^3$ | c, Дж/(кг·К) | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ | $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|-------|--------------------------------|--------------|--|-------------------------------------|
| 0,908 | 903                            | 3654,9       | 0,38   | 10,6                                |
| 0,944 | 716                            | 3022,5       | 0,35   | 11,6                                |
| 0,917 | –                              | 3119,0       | 0,37   | 11,9                                |

Таблиця 12.79

**ТФХ баклажан в процесі обжарки**

| $\tau, \text{хв}$ | W     | $c\rho, \text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ | $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|-------------------|-------|---|--|-------------------------------------|
| 12                | 0,915 | 4350  | 0,63   | 14,4                                |
| 16                | 0,828 | 4950  | 0,59   | 11,8                                |

Консерви з баклажанів характеризуються наступними значеннями температуропровідності: Ікра з баклажанів домашня –  $14,0 \cdot 10^{-8}$ , Ікра з баклажанів «По – черкесски» –  $12,0 \cdot 10^{-8}$ , Баклажани, нарізані кружками –  $13 \cdot 10^{-8}$ , Баклажани з болгарським перцем –  $14 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**Хімічний склад сухої речовини томатних овочів та їх теплоємність**

| Овочі                            | Хімічний склад, % |      |           |          |            |         |      | $c_{ср}$<br>Дж/(кг·К) |
|----------------------------------|-------------------|------|-----------|----------|------------|---------|------|-----------------------|
|                                  | Білки             | Жири | Вуглеводи | Крохмаль | Клітковина | Кислоти | Зола |                       |
| Томати:<br>грунтові              | 8,8               | –    | 57,3      | 4,4      | 11,8       | 7,3     | 10,3 | 1356                  |
| парникові                        | 12,5              | –    | 60,4      | –        | 8,3        | 6,2     | 12,5 | 1352                  |
| Баклажани                        | 7,3               | 1,2  | 56,1      | 11,0     | 15,8       | 2,4     | 6,1  | 1388                  |
| Перець:<br>зелений               | 16                | –    | 56,8      | 1,2      | 18,5       | 1,2     | 6,2  | 1399                  |
| солодкий<br>червоний<br>солодкий | 14,3              | –    | 62,6      | –        | 15,4       | 1,1     | 6,6  | 1399                  |

Теплоємність в Дж/(кг·К) томатних овочів.

при  $0 < W < 1$  та  $T = 293$  К для томатів:

$$c = 1354 + 2833 \cdot W, \quad (12.55)$$

для баклажанів та перцю:

$$c = 1395 + 2792 \cdot W. \quad (12.56)$$

**12.7.5. Енергетична цінність томатних овочів та виробів з них**

Таблиця 12.81

**Енергетична цінність томатних овочів та виробів з них**

| Продукт                                  | $E_c$ , кДж/кг |
|--|----------------|
| Томати свіжі ґрунтові                    | 790            |
| Томати свіжі парникові                   | 590            |
| Сік томатний                             | 750            |
| Томат – пюре                             | 2640           |
| Томат – паста                            | 4020           |
| Соус гострий томатний                    | 3970           |
| Консерви:                                |                |
| Томати зі шкірочкою                      | 420            |
| Томати без шкірочки                      | 920            |
| Суп – пюре томатний                      | 2850           |
| Томати солені                            | 790            |
| Перець свіжий солодкий зелений           | 960            |
| Перець свіжий солодкий червоний          | 1130           |
| Перець фарширований з м'ясом<br>та рисом | 3350           |
| Перець фарширований з овочами            | 4940           |



| Продукт   | Ец, кДж/кг |
|---|------------|
| в сметанному соусі  |            |
| Перець різаний з морською капустою                        | 2930       |
| Баклажани свіжі   | 1000       |
| Ікра з кабачків   | 6440       |
| Баклажани фаршировані овочами                             | 4730       |
| в томатному соусі   |            |
| Баклажани кружальцями з овочевим фаршем в томатному соусі | 7530       |

### 12.7.6. Тепломасообмінні характеристики томатних овочів

Коефіцієнт транспірації томатів складає від 71 до 365, в середньому 140, перцю – 240 мг/(кг·с·МПа).

Випарна здатність томатів зелених сорту Маяк (липень)  $\varepsilon_g = 0,012$ , червоних (серпень)  $\varepsilon_g = 0,028$ , перцю та баклажанів (серпень)  $\varepsilon_g = 0,14$ . Тепло дихання перцю при 5°C складає 51,9, а при 10°C – 73,0 Вт/т.

## 12.8. Бобові овочі

### 12.8.1. Квасоля

Таблиця 12.82

#### Густина в кг/м<sup>3</sup> насіння квасолі

| Сорт     | Фази зрілості |         |       | Сорт     | Фази зрілості |         |       |
|----------|---------------|---------|-------|----------|---------------|---------|-------|
|          | молочна       | воскова | повна |          | молочна       | воскова | повна |
| Робюст   | 1128          | 1225    | 1308  | Оливка   | 1115          | 1223    | 1340  |
| Чудо     | 1123          | 1213    | 1297  | Оливка – | 1155          | 1210    | 1340  |
| Франції  |               |         |       | маслянка |               |         |       |
| Тріумф   | 1163          | 1212    | 1297  | Тепарі   | 1153          | 1217    | 1347  |
| Арабка   | 1165          | 1208    | 1293  |          |               |         |       |
| спаржева |               |         |       |          |               |         |       |
| Самсто   | 1133          | 1205    | 1313  | Середнє  | 1135          | 1210    | 1320  |

Густина насіння квасолі при температурі нижче криоскопічної становить 890 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 12.83

**Густина в кг/м<sup>3</sup> насіння зеленої квасолі в процесі  
бланшування (початкова  $\rho_{\phi} = 900$  кг/м<sup>3</sup>)**

| <b>T, К</b><br><b>агента бланшування</b> | <b>Тривалість, хв</b> |          |          |          |          |          |          |          |           |
|--|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|  | <b>0,5</b>            | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>8</b> | <b>10</b> |
| 383 (пар)                                | 936                   | 1002     | 1024     | 1030     | 1033     | 1030     | –        | –        | –         |
| 372 (вода)                               | 945                   | 994      | 1024     | 1030     | 1031     | 1030     | –        | –        | –         |
| 363 >>                                   | –                     | –        | 968      | –        | 986      | –        | 988      | 990      | 983       |
| 353 >>                                   | –                     | –        | 957      | –        | 963      | –        | 964      | 967      | 966       |

Таблиця 12.84

**ТФХ квасолі при зволоженні**

| <b>ТФХ</b>                         | <b>Масова частка вологи</b> |              |              |              |
|------------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                                    | <b>0,028</b>                | <b>0,045</b> | <b>0,092</b> | <b>0,137</b> |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,139                       | 0,155        | 0,166        | 0,174        |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 12,6                        | 12,4         | 10,8         | 10,3         |
| $c\rho$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)  | 904,0                       | 1250,0       | 1537,0       | 1689,3       |
| $c$ , Дж/(кг·К)                    | 1507                        | 1554         | 1684         | 1808         |
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup>  | 600                         | 804          | 913          | 934          |

Теплоємність в Дж/(кг·К) квасолі при  $0,10 < W < 0,35$  та  $T = 303 - 343$  К:

$$c = 1480 + 2710W. \quad (12.57)$$

Таблиця 12.85

**Теплопровідність виткової квасолі при охолодженні**

| <b>Характеристика квасолі</b>             | <b>T, К</b> | <b><math>\rho_{\phi}</math>, кг/м<sup>3</sup></b> | <b><math>\lambda</math>, Вт/(м·К)</b> |
|---|-------------|---|---------------------------------------|
| Тонко різана на машині                    | 285 – 278   | –   | 0,39                                  |
| Обварена                                  | 262 – 258   | 750   | 0,92                                  |
| Обварена та облита<br>2%-им розчином NaCl | 283 – 278   | –   | 0,50                                  |
| Те ж                                      | 256 – 252   | –   | 1,76                                  |
| Тонко різана вручну та обварена           | 259 – 254   | 660   | 0,80                                  |

Теплоємність в Дж/(кг·К) насіння зеленої квасолі при температурі нижче кріоскопічної:

$$c = 1172 - \frac{21982}{T_v - 273}. \quad (12.58)$$

При температурі нижче кріоскопічної теплоємність стручкової квасолі

( $W = 0,889$ ) дорівнює  $1968 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .

Температуропровідність насіння та шару насіння квасолі ( $W = 0,901$ ) відповідно дорівнює  $19,2 \cdot 10^{-8}$ , та  $10,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Таблиця 12.86

**Температуропровідність ( $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ ) консервів із бобових культур**

| Консерви                | Температура, К |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|
|                         | 333            | 348  | 458  | 368  | 378  | 388  | 393  |
| Квасоля з білком        | 14,7           | 18,9 | 20,4 | 21,2 | 21,4 | 21,1 | 20,9 |
| Пюре з зеленого горошку | 12,8           | 14,3 | 15,0 | 15,3 | 15,0 | 14,5 | 14   |

Температуропровідність пюре з лимської квасолі при  $T = 299 - 395 \text{ К}$  дорівнює  $18,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ , квасолі з овочами і м'ясом  $23,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ , а супу квасолевого з овочами та м'ясом –  $36,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

ТФХ зеленої квасолі з соусом ( $W = 0,839$ ) при  $T = 291 \text{ К}$  дорівнюють:  
 $\rho_f - 1035 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\lambda - 0,59 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ,  $a - 17,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**12.8.2. Горох**

Дійсна густина гороху в  $\text{кг}/\text{м}^3$  при  $0 < W < 1$  і  $T = 293$ :

$$\rho_i = 1321 - 323W. \quad (12.58)$$

Таблиця 12.87

**Густина ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) насіння гороху різних сортів**

| Сорт        | Фази зрілості |         |       | Сорт    | Фази зрілості |         |       |
|-------------|---------------|---------|-------|---------|---------------|---------|-------|
|             | молочна       | воскова | повна |         | молочна       | воскова | повна |
| Вікторія    | 1105          | 1203    | 1373  | Пелюшка | 1123          | 1228    | 1332  |
| Штрубе      |               |         |       | 235     |               |         |       |
| Ірландець   | 1145          | 1223    | 1373  | Капітал | 1138          | 1237    | 1377  |
| В-48        |               |         |       |         |               |         |       |
| Оливковий   | 1117          | 1212    | 1345  | Аляска  | 1120          | 1232    | 1375  |
| гібрид      |               |         |       |         |               |         |       |
| Пелюшка308С | 1140          | 1253    | 1395  | Норд    | 1108          | 1237    | 1385  |

Таблиця 12.88

## Фізичні показники гороху при зволоженні

| ТФХ                               | Масова частка вологи |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|
|                                   | 0,13                 | 0,16 | 0,19 | 0,22 | 0,25 | 0,28 | 0,30 |
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | 1280                 | 1270 | 1255 | 1240 | 1225 | 1210 | 1190 |
| $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>      | 780                  | 760  | 740  | 725  | 717  | 710  | 705  |
| $S$ , %                           | 39,05                | 40,2 | 41,0 | 41,5 | 41,5 | 41,3 | 40,8 |

Таблиця 12.89

Зміна густини (кг/м<sup>3</sup>) насіння гороху  
(початкова  $\rho_{\phi} = 1008$  кг/м<sup>3</sup>) в процесі бланшування в воді при  $T = 373$  К

| Діаметр насіння, мм | Тривалість, хв |      |      |      |      |
|---------------------|----------------|------|------|------|------|
|                     | 1              | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 7 – 8               | 1068           | 1040 | 1042 | 1040 | 1041 |
| 8 – 9               | 1060           | 1055 | 1060 | 1050 | 1050 |
| 9 – 10              | 1060           | 1060 | 1054 | 1064 | 1070 |

Таблиця 12.90

Зміна густини (кг/м<sup>3</sup>) насіння гороху в процесі набухання

| Тривалість, год |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0               | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| 1370            | 1317 | 1265 | 1223 | 1201 | 1185 | 1178 | 1175 | 1173 | 1160 |

Об'ємна маса (кг/м<sup>3</sup>) насіння гороху при великій шпаруватості шару:

при  $0 < W < 0,074$

$$\rho_n = 775 + 54 \cdot W, \quad (12.59)$$

при  $0,074 < W < 0,107$

$$\rho_n = 814 = const, \quad (12.60)$$

при  $0,107 < W < 0,25$

$$\rho_n = 860 - 435 \cdot W. \quad (12.61)$$

Об'ємна маса насіння гороху при температурі нижче криоскопічної становить 420 – 570 кг/м<sup>3</sup>.

Об'ємна маса насіння варено-сушеного гороху ( $W = 0,068$ ) дорівнює 745, а лущеного ( $W = 0,129$ ) – 850 кг/м<sup>3</sup>. Якщо об'ємна маса цілого насіння гороху становить 800, то їх половинок – 700 – 750 кг/м<sup>3</sup>. Об'ємна маса насіння гороху

дорівнює 735 – 900 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 12.91

**Зміна об'ємної маси (кг/м<sup>3</sup>) насіння гороху ( $W = 0,134$  та  $\rho_n = 787$  кг/м<sup>3</sup>) в процесі підсмажування**

| <b><math>T</math>, К<br/>жарової поверхні</b> | <b><math>\tau</math>, хв</b> | <b><math>W</math></b> | <b><math>\rho_n</math>, кг/м<sup>3</sup></b> | <b><math>T</math>, К<br/>жарової поверхні</b> | <b><math>\tau</math>, хв</b> | <b><math>W</math></b> | <b><math>\rho_n</math>, кг/м<sup>3</sup></b> |
|---|------------------------------|-----------------------|--|---|------------------------------|-----------------------|--|
| 373   | 30                           | 0,130                 | 795  | 473   | 30                           | 0,088                 | 770,5  |
|   | 60                           | 0,103                 | 787  |   | 60                           | 0,057                 | 760,5  |
| 423   | 30                           | 0,126                 | 790,5  | 523   | 30                           | 0,052                 | 762,0  |
|   | 60                           | 0,093                 | 780,5  |   | 60                           | 0,040                 | 759,5  |

Теплоємність в Дж/(кг·К) гороху при  $0 < W < 0,129$

$$c = 1231 + 5870 \cdot W, \quad (12.62)$$

при  $0,05 < W < 0,14$

$$c = 1232 + 4650 \cdot W, \quad (12.63)$$

при  $0,10 < W < 0,35$  та  $T = 303 - 343$  К

$$c = 1480 + 2710 \cdot W, \quad (12.64)$$

Теплоємність горошку ( $W = 0,80$ ) при температурі нижче криоскопічної дорівнює: при  $T = 261$  К (не замороженої води – 0,062) – 1758 Дж/(кг·К), при  $T = 255$  К (не замороженої води – 0,0265) – 1800 Дж/(кг·К).

Таблиця 12.92

**Ентальпія гороху  $h$ , кДж/кг**

| <b><math>W</math></b> | <b>Температура, К</b> |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                       | <b>233</b>            | <b>243</b> | <b>253</b> | <b>263</b> | <b>268</b> | <b>273</b> | <b>278</b> | <b>283</b> | <b>293</b> | <b>303</b> |
| 0,758                 | 0                     | 17,6       | 43,5       | 86,7       | 144,9      | 312,3      | 330,3      | 347,1      | 384,4      | 390,2      |

Теплопровідність в Вт/(м·К) насіння гороху при  $0,05 < W < 0,285$ :

$$\lambda = 0,129 + 0,48 \cdot W. \quad (12.64)$$

Таблиця 12.93

**ТФХ окремих насінин гороху при  $T \approx 293$  К**

| <b>ТФХ</b>                         | <b>Масова частка вологи</b> |              |              |              |              |
|------------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                    | <b>0,0515</b>               | <b>0,058</b> | <b>0,115</b> | <b>0,242</b> | <b>0,249</b> |
| $\rho_\phi$ , кг/м <sup>3</sup>    | 1360                        | 1290         | 1360         | –            | –            |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,257                       | 0,267        | 0,304        | –            | –            |
| $c$ , Дж/(кг·К)                    | 1498                        | 1516         | 1678         | –            | –            |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 12,6                        | 13,6         | 13,3         | 6,9          | 6,4          |

Залежність теплопровідності в Вт/(м·К) насіння гороху від температури при  $W = 0,745$ :

$$\lambda = 0,00224 \cdot T - 0,2425 \cdot W. \quad (12.65)$$

Теплопровідність гороху ( $W = 0,70 \div 0,80$  та  $\rho_n = 700$  кг/м<sup>3</sup>), вилущеного та бланшованого при  $T = 273, 263$  та  $253$  К, відповідно становить  $0,29; 0,46$  та  $0,55$  Вт/(м·К). Теплопровідність замороженого гороху ( $\rho_n = 705$  кг/м<sup>3</sup>) при  $T = 261$  К дорівнює  $0,502$  Вт/(м·К).

При бланшуванні насіння гороху в киплячій воді їх температуропровідність дорівнює  $15,0 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Теплоємність горохового супу при його нагріванні від  $273$  до  $373$  К дорівнює  $4103$  Дж/(кг·К). Температуропровідність горохового супу з м'ясом та зеленню дорівнює  $21 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с. ТФХ горохового пюре дорівнюють:  $\rho_\phi - 1089$  кг/м<sup>3</sup>,  $c - 3726$  Дж/(кг·К),  $\lambda - 0,83$  Вт/(м·К),  $a - 20,4 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с. При нагріванні горохового пюре від  $299$  до  $401$  К його температуропровідність дорівнює  $18,2 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с. Температуропровідність гороху з яловичиною та гороху з овочами і м'ясом відповідно дорівнює  $15,0 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с. ТФХ гороху з соусом ( $W = 0,672$ ) при  $T = 291$  К:  $\rho_\phi - 1076$  кг/м<sup>3</sup>,  $a - 17,0 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Таблиця 12.94

### ТФХ гороху

| Зразок        | W     | T, К | $\rho_\phi$ та $\rho_n$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | c,<br>Дж/(кг·К) | $c\rho$ ,<br>кДж/(м <sup>3</sup> ·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|---------------|-------|------|--|-----------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Суха речовина | 0     | 293  | 774  | 1234            |                                      | 0,129                   | 13,5                                  |
| Насіння       | 0,114 | 293  | 1360   | 1678            | 2282                                 | 0,304                   | 13,3                                  |
| Шар насіння   | 0,100 | 293  | 814  | 1818            | 1480                                 | 0,177                   | 12,0                                  |
| >> >>         | 0,114 | 303  | 727  | 1457            | 1060                                 | 0,091                   | 8,6                                   |
| >> >>         | 0,745 | 273  | 1062   | 3810            | 4046                                 | 0,369                   | 9,1                                   |

### 12.8.3. Боби

Густина (кг/м<sup>3</sup>) бобів:

$$\rho_\phi = 1410 - 380 \cdot W. \quad (12.66)$$

Таблиця 12.95

**Зміна фізичних показників бобів при зволоженні**

| Показник                     | Масова частка вологи |      |      |      |       |
|------------------------------|----------------------|------|------|------|-------|
|                              | 0,13                 | 0,17 | 0,21 | 0,25 | 0,29  |
| $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> | 1290                 | 1272 | 1257 | 1235 | 1215  |
| $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | 770                  | 749  | 735  | 725  | 715   |
| $S$ , %                      | 40,3                 | 41,1 | 41,5 | 41,3 | 41,15 |

Ентальпія (кДж/кг) бобів при  $313 < T < 343$  та  $W = 0,115$

$$h = -494,6 + 2,007 \cdot T. \quad (12.67)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) бобів при  $318 < T < 338$  К та  $0 < W < 1$

$$c = -951,6 + 5138 \cdot W + 8,06 \cdot T - 8,06 \cdot T \cdot W. \quad (12.68)$$

Таблиця 12.96

**Ентальпія бобів при температурі нижче криоскопічної**

| $T, K$       | 233  | 243  | 253  | 263  | 265  | 267  | 269  | 273  |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $h$ , кДж/кг | 11,5 | 23,8 | 36,7 | 50,6 | 53,5 | 56,3 | 59,2 | 65,2 |

Теплоємність в Дж/(кг·К) бобів при температурі нижче криоскопічної

$$c = 921 - \frac{28095}{T_v - 273} \quad (12.69)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) шару насіння бобів при  $0 < W < 1$

$$\lambda = 0,14 + 0,52 \cdot W. \quad (12.70)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) шару бобів в залежності від визначальних факторів: при  $0 < W^c < 0,30$  та  $d = 6,5$ мм

$$\lambda = -0,022 + 0,07 \cdot W^c + 0,021d + 0,033 W^c d, \quad (12.71)$$

при  $0 < W^c < 30$  та  $d = 6,5$ мм

$$\lambda = 0,10 + 0,19 W^c + 0,0023 \cdot d + 0,014 W^c \cdot d. \quad (12.72)$$

Таблиця 12.97

**ТФХ бобів**

| Боби        | $W$  | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|-------------|------|------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| Шар насіння | 0    | 763                          | 1344            | 0,140                | 13,6                               |
| Насіння     | 0,10 | 1400                         | 1690            | 0,31                 | 13,2                               |

**Хімічний склад сухої речовини бобових овочів та їх теплоємність**

| Культура           | Хімічний склад, % |      |           |          |            |                        |      | $c_{ср}$<br>Дж/(кг·К) |
|--------------------|-------------------|------|-----------|----------|------------|------------------------|------|-----------------------|
|                    | Білки             | Жири | Вуглеводи | Крохмаль | Клітковина | Органічні<br>і кислоти | Зола |                       |
| Овочеві боби       | 39,5              | 0,7  | 15,1      | 39,5     | 0,7        | 4,6                    | –    | 1452                  |
| Зелений<br>горошок | 24,5              | 1,0  | 31,5      | 33,3     | 4,9        | 0,5                    | 3,9  | 1422                  |
| Квасоля            | 39,6              | –    | 22,8      | 19,8     | 9,9        | 1,0                    | 6,9  | 1427                  |
| Горох              | 26,7              | 1,4  | 7,9       | 54,1     | 6,6        | –                      | 3,2  | 1426                  |
| Квасоля            | 25,9              | 2,0  | 12,9      | 50,5     | 4,5        | –                      | 4,2  | 1423                  |

Теплоємність в Дж/(кг·К) бобових овочів при  $0 < W < 1$  та  $T = 293$  К

$$c = 1430 + 2757 \cdot W. \quad (12.73)$$

**12.8.4. Енергетична цінність бобових овочів та виробів з них**

Таблиця 12.99

**Енергетична цінність бобових овочів та виробів з них**

| Продукт                           | $E_c$ , кДж/кг |
|-----------------------------------|----------------|
| Квасоля зерно                     | 12930          |
| Квасоля стручок                   | 1340           |
| Квасоля (консерви)                | 670            |
| Суп з квасолі з овочами та м'ясом | 5190           |
| Квасоля з овочами та м'ясом       | 5820           |
| Горох зерно                       | 12680          |
| Горох лущений                     | 13510          |
| Горох зелений свіжий              | 3010           |
| Горох зелений сушений             | 13470          |
| Консерви:                         |                |
| Горох з овочами та м'ясом         | 5820           |
| Суп гороховий з м'ясом та зеленню | 5190           |
| Горошок зелений                   | 1720           |
| Пюре з зеленого горошку           | 2050           |
| Боби зерно                        | 2430           |

**12.8.5. Тепломасообмінні характеристики гороху**

Випарна здатність горошку зеленого в стручках, а також зерна гороху складає 0,75. Теплота дихання гороху: при 5°C – 173,4, а при 15°C – 406,5 Вт/т.



## 12.9. Гриби

Густина грибів ( $W = 0,898 - 0,909$ ) рівна  $840 - 986 \text{ кг/м}^3$ .

Таблиця 12.100

**Зміна (%) фізичних показників грибів в результаті миття**

| Гриби        | Свіжі    |                  | Миті     |                  |
|--------------|----------|------------------|----------|------------------|
|              | $\rho_f$ | $u_{\text{воз}}$ | $\rho_f$ | $u_{\text{воз}}$ |
| Свинушки     | 100      | 31,1             | 129      | 19,8             |
| Рижики       | 100      | 20,7             | 117      | 10,1             |
| Чорні грузді | 100      | 21,5             | 124      | 14,3             |

Таблиця 12.101

**Зміна (%) фізичних показників грибів під час бланширування**

| Гриби        | Показник         | при $T=353 \text{ К}$ , хв. |       |       |       | при $T=363 \text{ К}$ , хв. |       |       |
|--------------|------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|
|              |                  | 0                           | 2     | 5     | 10    | 2                           | 5     | 10    |
| Свинушки     | $\rho_f$         | 100                         | 152,2 | 155,5 | 154,4 | 162,7                       | 161,1 | 163,1 |
|              | $u_{\text{воз}}$ | 30,1                        | 5,3   | 5,0   | 3,2   | 0,6                         | 0,5   | –     |
| Чорні грузді | $\rho_f$         | 100                         | 139,0 | 137,8 | 137,7 | 137,9                       | 137,7 | 138,1 |
|              | $u_{\text{воз}}$ | 21,5                        | 1,8   | 0,9   | 0,5   | 0,4                         | 0,4   | –     |

Таблиця 12.102

**Зміна (%) фізичних показників грибів при замочуванні**

| Показник         | Тривалість, год. |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  | 0                | 2     | 4     | 6     | 8     | 12    | 24    | 48    |
| Підгрузок білий  |                  |       |       |       |       |       |       |       |
| $\rho_f$         | 100              | 124,1 | 125,7 | 126,1 | 126,8 | 126,6 | 133,2 | 135,5 |
| $u_{\text{воз}}$ | 38,6             | 20,5  | 18,5  | 17,8  | 17,2  | 16,0  | 12,8  | 8,9   |
| Груздь справжній |                  |       |       |       |       |       |       |       |
| $\rho_f$         | 100              | 113,3 | 115,7 | 118,7 | 117,0 | 118,6 | 123,4 | 111,0 |
| $u_{\text{воз}}$ | 22,7             | 18,4  | 15,8  | 14,7  | 13,5  | 11,4  | 9,3   | 8,2   |
| Свинушки         |                  |       |       |       |       |       |       |       |
| $\rho_f$         | 100              | –     | 129   | –     | 133   | –     | 149   | 149   |
| $u_{\text{воз}}$ | 30,1             | –     | 19,8  | –     | 9,7   | –     | 5,6   | 5,5   |
| Чорні грузді     |                  |       |       |       |       |       |       |       |
| $\rho_f$         | 100              | –     | 124   | –     | 123   | –     | 123   | 123,5 |
| $u_{\text{воз}}$ | 21,5             | –     | 14,3  | –     | 11,7  | –     | 10,4  | 5,1   |

Таблиця 12.103

**Густина ( $\text{кг/м}^3$ ) маслюків при варінні**

| Вік             | Тривалість варіння, хв. |      |      |      |
|-----------------|-------------------------|------|------|------|
|                 | 0                       | 5    | 10   | 15   |
| Молоді          | 830                     | 1150 | 1130 | 1040 |
| Середнього віку | 780                     | 1140 | 1120 | 1000 |
| Старі           | 780                     | 1110 | 990  | 970  |

Таблиця 12.104

## Зміна (%) щільності свинушок при охолодженні

| Вік             | Тривалість, год. |                       |                 |
|-----------------|------------------|-----------------------|-----------------|
|                 | 0                | 0,5 (у холодній воді) | 12 (у маринаді) |
| Молоді          | 100              | 149,2                 | 145,8           |
| Середнього віку | 100              | 163,2                 | 158,7           |
| Старі           | 100              | 157,4                 | 150,4           |

Таблиця 12.105

## Зміна (%) фізичних показників грибів при солінні

| Спосіб засолювання | Тривалість зберігання, діб | Температура зберігання, К | Підгрузок білий |                  | Груздь справжній |                  |
|--------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
|                    |                            |                           | $\rho_{\phi}$   | $u_{\text{воз}}$ | $\rho_{\phi}$    | $u_{\text{воз}}$ |
| Холодний           | 0                          | –                         | 100             | 18,1             | 100              | 15,2             |
|                    | 5                          | 288.293                   | 120,6           | 6,1              | 114,2            | 3,1              |
|                    | 15                         | 288.293                   | 122,6           | 1,2              | 116,0            | 1,1              |
|                    | 40                         | 273.275                   | 124,3           | 1,0              | 116,1            | 0,9              |
|                    | 40                         | 278.280                   | 124,0           | 1,1              | 116,1            | 0,8              |
| Гарячий            | 0                          | –                         | 100             | 1,12             | 100              | 0,91             |
|                    | 5                          | 288.293                   | 106,0           | 1,07             | 102,7            | 0,71             |
|                    | 15                         | 288.293                   | 106,6           | 1,14             | 102,6            | 0,97             |
|                    | 40                         | 273.275                   | 107,0           | 1,09             | 104,3            | 0,87             |
|                    | 40                         | 278.280                   | 107,4           | 1,12             | –                | –                |

Таблиця 12.106

## Зміна (%) фізичних показників грибів при зберіганні

| Показник         | Після закінчення ферментації | Після зберігання при $T = 273 - 275$ К, діб |       |       |       | Після закінчення ферментації | Після зберігання при $T = 278 - 280$ К, діб |       |       |
|------------------|------------------------------|---|-------|-------|-------|------------------------------|---|-------|-------|
|                  |                              | 80  | 140   | 230   | 500   |                              | 80  | 140   | 230   |
| Підгрузок білий  |                              |   |       |       |       |                              |   |       |       |
| $\rho_{\phi}$    | 124,2                        | 124,2                                       | 123,5 | 124,0 | 125,0 | 124,0                        | 124,1                                       | 124,1 | 124,0 |
| $u_{\text{воз}}$ | 1,01                         | 1,05  | 1,11  | 1,03  | 1,00  | 1,08                         | 1,13  | 1,00  | 1,05  |
| Груздь справжній |                              |   |       |       |       |                              |   |       |       |
| $\rho_{\phi}$    | 116,1                        | 116,1                                       | 116,3 | 116,1 | 118,4 | 116,1                        | 116,3                                       | 116,1 | 116,1 |
| $u_{\text{воз}}$ | 0,90                         | 0,86  | 0,92  | 0,87  | 0,90  | 0,81                         | 0,92  | 0,89  | 0,90  |

Таблиця 12.107

## Фізичні показники шляпок грибів

| Гриби        | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho_i$ , кг/м <sup>3</sup> | $\Pi$ , % | Гриби        | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho_i$ , кг/м <sup>3</sup> | $\Pi$ , % |
|--------------|-----------------------------------|------------------------------|-----------|--------------|-----------------------------------|------------------------------|-----------|
| Лисички      | 700                               | 986                          | 29,0      | Моховики     | 530                               | 989                          | 46,4      |
| Білі         | 630                               | 1041                         | 39,5      | Маслюки      | 520                               | 1010                         | 48,5      |
| Підосиновики | 590                               | 941                          | 37,3      | Підберезники | 350                               | 936                          | 62,6      |

Узагальнена формула для визначення теплоємності [Дж/(кг·К)] грибів (окрім груздів) при  $0 < W < 1$  і  $T = 293$  має вигляд:

$$c = 1433 + 2754 \cdot W \quad (12.73)$$

Таблиця 12.108

**Хімічний склад сухих речовин грибів та їх енергетична цінність**

| Гриби свіжі  | Хімічний склад, % |      |           |            |       | $c_{ср}$<br>Дж/(кг·К) | $E_c$ ,<br>кДж/г |
|--------------|-------------------|------|-----------|------------|-------|-----------------------|------------------|
|              | білки             | жири | вуглеводи | клітковина | попіл |                       |                  |
| Білі         | 36,8              | 8,0  | 18,4      | 26,4       | 10,3  | 1429                  | 1,05             |
| »            | 38,4              | 9,5  | 13,9      | 27,5       | 10,7  | 1436                  | 1,05             |
| Підберезники | 27,3              | 9,3  | 38,1      | 21,6       | 7,2   | 1437                  | 1,30             |
| Грузді       | 32,1              | 14,3 | 19,6      | 26,8       | 7,1   | 1463                  | 0,79             |
| Лисички      | 25,4              | 14,3 | 33,3      | 11,1       | 15,9  | 1408                  | 0,92             |
| Маслюки      | 14,5              | 6,4  | 51,6      | 19,3       | 8,1   | 1409                  | 0,79             |
| Опята        | 29,3              | 9,3  | 17,3      | 30,6       | 13,3  | 1402                  | 0,84             |
| Підосиновики | 31,4              | 4,8  | 32,4      | 23,8       | 7,6   | 1431                  | 1,30             |
| Рижки        | 25                | 10,5 | 26,3      | 28,9       | 9,2   | 1428                  | 0,92             |
| Сморчки      | 41,4              | 5,7  | 28,6      | 10,0       | 14,3  | 1412                  | 0,92             |
| Сироїжки     | 28,3              | 5,0  | 33,3      | 23,3       | 10,0  | 1424                  | 0,71             |

Таблиця 12.109

**Теплоємність грибів**

|                 |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $W$             | 0,864 | 0,874 | 0,900 | 0,903 | 0,903 | 0,911 | 0,910 | Свіжі |
| $c$ , Дж/(кг·К) | 3839  | 3840  | 3940  | 3911  | 3920  | 3890  | 3894  | 3936  |

Теплоємність (Дж/(кг·К)) висушених шампінйонів при різних температурах  $306 < T < 373$  К і  $W = 0,0173$

$$c = 1376 + 0,64 \cdot W \quad (12.74)$$

Таблиця 12.110

**ТФХ свіжих грибів**

| $W$   | $\rho_i$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> | $\Pi$ , % | $c$ ,<br>Дж/(кг·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|-------|------------------------------|------------------------------|-----------|--------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| 0,874 | 1065                         | 771                          | 27,6      | 3840               | 0,23                    | 7,7                                   |
| 0,903 | 1050                         | 949                          | 9,6       | 3920               | 0,49                    | 13,2                                  |

ТФХ варених грибів ( $W = 0,894$ ) при  $T = 291$  К:  $\rho_f = 1053$  кг/м<sup>3</sup>,  $c = 3680$  Дж/(кг·К),  $\lambda = 0,62$  Вт/(м·К),  $a = 18 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Енергетична цінність сушених грибів: білі – 8,74, підберезники – 13,35, красноголовці – 12,51 кДж/г.

## РОЗДІЛ 13. ПЛОДИ, ЯГОДИ ТА ВИРОБИ З НИХ

### 13.1. Плоди сім'ячкових культур

#### 13.1.1. Яблука

Свіжі яблука

Таблиця 13.1

Густина свіжих яблук, в  $\text{кг}/\text{м}^3$

| Сорт               | $P$  | $W$   | $\rho_{\phi}$ |
|--------------------|------|-------|---------------|
| Ренет Симеренко    | –    | 0,851 | 840           |
| Білий налив        | 26,3 | –     | 848           |
| Бельфлер-китайка   | –    | 0,854 | 804           |
| Антонівка звичайна | 28,8 | –     | 837           |
| Пепін лондонський  | –    | 0,862 | 889           |
| Пармен зимовий     | 22,5 | –     | 881           |

Теплоємність яблук в  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$  за  $0,858 < W < 0,873$  і  $T = 293 \text{ К}$

$$c = 837 + 3350 \cdot W. \quad (13.1)$$

Таблиця 13.2

Теплопровідність цілих і розрізаних яблук  
в  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , за  $T = 296 \text{ К}$

| Яблука    | Масова частка вологи, $W$ |       |       |       |
|-----------|---------------------------|-------|-------|-------|
|           | 0,860                     | 0,855 | 0,842 | 0,835 |
| Цілі      | 0,59                      | 0,73  | 0,55  | 0,675 |
| Розрізані | 0,76                      | 0,66  | –     | –     |

Таблиця 13.3

Формули залежності ТФХ м'якоті яблук «Слава  
переможцям» від температури  $t$ , коли  $25 < t < 60 \text{ }^\circ\text{C}$

| ТФХ  | Формула   |
|--|---|
| $\lambda$ , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$    | $\lambda = 0,490 + 0,02 \cdot (t - 25) \pm 0,088$ |
| $c\rho$ , $\text{МДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ | $c\rho = 4,05 + 0,016 \cdot (t - 25) \pm 0,25$    |
| $\alpha \cdot 10^6$ , $\text{м}^2/\text{с}$        | $\alpha = 0,121 \pm 0,036$                        |

Таблиця 13.4

Температуропровідність свіжих яблук в  $\text{м}^2/\text{с}$

|                     |           |           |           |      |         |           |      |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|------|---------|-----------|------|
| $T$ , $\text{К}$    | 289 – 273 | 300 – 277 | 301 – 278 | 333  | 286     | 273 – 303 | 293  |
| $\alpha \cdot 10^8$ | 13,0      | 12,0      | 13,7      | 16,1 | 14 – 16 | 13,7      | 14,4 |

Таблиця 13.5

**Теплофізичні характеристики свіжих яблук**  
 ( $\rho_f=800 \text{ кг/м}^3$ ,  $P=23,7\%$ ,  $\rho_n=500 \text{ кг/м}^3$ ,  $S=37,5\%$ )

| Зразок | $T, \text{ К}$ | $c, \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $a\cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ | $h, \text{ кДж/кг}$ |
|--------|----------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------|
| Плід   | 273            | 3800                              | 0,40                                   | 13,1                                | 0                   |
| Шар    |                |                                   | 0,22                                   | 11,7                                |                     |
| Плід   | 283            | 3800                              | 0,41                                   | 13,4                                | 38                  |
| Шар    |                |                                   | 0,23                                   | 12,1                                |                     |
| Плід   | 293            | 3800                              | 0,42                                   | 13,8                                | 76                  |
| Шар    |                |                                   | 0,24                                   | 12,4                                |                     |

**Яблука під час зберігання.**

Густина бланшованих часток яблук збільшується під час зберігання в охолоджену середовищі, тому що їх об'єм зменшується.

Таблиця 13.6

**Густина бланшованих часток яблук під час  
холодильного зберігання**

| Термін зберігання, тижні | 3   | 5   | 7   | 9   | 13  | 18  |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\rho_f, \text{ кг/м}^3$ | 769 | 817 | 823 | 827 | 865 | 901 |

В результаті 135-добового зберігання яблук за  $T = 274 \text{ К}$  їх маса зменшилась на 7,8%, а густина – з 1020 до 780  $\text{кг/м}^3$ . В процесі холодильного зберігання яблук їх теплоємність збільшується (табл. 13.5), що викликано підвищенням в них масової частки вологи.

Таблиця 13.7

**Теплоємність яблук при холодильному зберіганні в Дж/(кг·К)**

| Сорт                    | Місяці |      |      |      |      |      |
|-------------------------|--------|------|------|------|------|------|
|                         | 10     | 11   | 12   | 1    | 2    | 4    |
| Антонівка               | 3722   | 3730 | 3789 | –    | –    | –    |
| Антонівка молода        | 3776   | 3818 | 3860 | –    | –    | –    |
| Середнє із шести сортів | 3757   | 3790 | 3822 | 3841 | 3857 | 3854 |

Теплопровідність яблук збільшується з підвищенням температури під час їх зберігання (табл. 13.8).

Таблиця 13.8

**Формули для визначення  $\lambda$  і  $\alpha$  яблук за умови  
 $\rho_{\phi} = 843 - 847 \text{ кг/м}^3$  і  $T = 272 - 298 \text{ К}$**

| $W$   | $\lambda = f(T), \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $A = f(T), \text{ м}^2/\text{с}$        |
|-------|---|---|
| 0,858 | $\lambda = -0,315 + 0,0025 \cdot T$           | $a \cdot 10^8 = -2,08 + 0,0556 \cdot T$ |
| 0,873 | $\lambda = -0,185 + 0,0021 \cdot T$           | $a \cdot 10^8 = 6,31 + 0,0278 \cdot T$  |

Теплопровідність яблук в  $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , коли  $\rho_{\phi} = 843 - 847 \text{ кг/м}^3$ , і в залежності від величини визначаючих факторів в межах  $272 < T < 298 \text{ К}$  і  $0,858 < W < 0,873$ , виражається формулою

$$\lambda = -1,68 + 1,6 \cdot W + 0,0025 \cdot T \quad (13.2)$$

Яблука під час бланшування. В процесі бланшування в капіляри плодової тканини яблук засмоктується вода, тому їх маса збільшується, а об'єм і пористість зменшується. З цієї причини густина яблук при бланшуванні збільшується, і тим помітніше, чим довший процес і вища температура нагріваючого середовища (табл. 13.9).

Таблиця 13.9

**Густина яблук в  $\text{кг/м}^3$  в процесі їх бланшування  
в воді і насиченій водяній парі**

| Середовище | $T, \text{ К}$ | Тривалість, хв |     |     |     |     |     |     |
|------------|----------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|            |                | 0              | 1   | 2   | 3   | 4   | 6   | 8   |
| Вода       | 353            | 872            | —   | 913 | —   | 923 | 965 | 974 |
| Вода       | 363            | 872            | —   | 935 | —   | 953 | 962 | 978 |
| Вода       | 371            | 872            | 912 | 923 | 967 | 980 | —   | —   |
| Пара       | 383            | 872            | 920 | 948 | 980 | 974 | —   | —   |

Теплоємність яблук в  $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$  за умови  $273 < T < 333 \text{ К}$  і  $n = 0,142$

$$c = 2062 + 4,9 \cdot T, \quad (13.3)$$

а коли  $n = 0,127$

$$c = 1312 + 7,5 \cdot T \quad (13.4)$$

Теплоємність яблук в  $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$  під час бланшування, коли  $0,11 < n < 0,16$  і  $293 < T < 363 \text{ К}$ :

$$c = 4187 - 3819 \cdot n + 3,0 \cdot T \cdot n \quad (13.5)$$

Температуропровідність яблук ( $W = 0,867$  і  $\rho_{\phi} = 796 \text{ кг/м}^3$ ) при

бланшуванні у воді, що нагрівається від 293 до 373 К дорівнює  $16,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ , а в киплячій воді –  $16,2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Таблиця 13.10

**Теплофізичні характеристики яблук при нагріванні від 293 до 363 К**

| Сорт             | Попередня обробка | $\rho_f$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $c$ ,<br>Дж/(кг·К) | $c\rho$ ,<br>кДж/(м <sup>3</sup> ·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Ренет            | Відсутня          | 840                             | 3801               | 3193                                 | 0,46                    | 14,5                                  |
| Симиренко        | Бланшування       | 924                             | 3810               | 3520                                 | 0,47                    | 13,3                                  |
|                  | Вакуумування      | 951                             | 3739               | 3556                                 | 0,50                    | 14,0                                  |
| Бельфлер-китайка | Відсутня          | 804                             | 3788               | 3046                                 | 0,45                    | 14,9                                  |
|                  | Бланшування       | 897                             | 3820               | 3427                                 | 0,45                    | 13,2                                  |
|                  | Вакуумування      | 946                             | 3753               | 3550                                 | 0,48                    | 13,5                                  |

**Яблука при конвективному сушінні.** Дійсна густина (кг/м<sup>3</sup>) яблук при сушінні, коли  $0 < W < 1$  і  $T = 293 \text{ К}$

$$\rho_i = 1520 - 522 \cdot W. \quad (13.6)$$

Запропонувати надійну формулу для визначення густини яблук при сушінні не є можливим. Для орієнтовних розрахунків  $\rho_f$  (кг/м<sup>3</sup>) можна використати при  $0,810 < W < 0,704$  формулу

$$\rho_f = 636 + 102 \cdot \ln W^c. \quad (13.7)$$

Теплоємність яблук в Дж/(кг·К):

при  $0,24 < W < 0,90$  і  $T = 293 \text{ К}$

$$c = 1710 + 2471 \cdot W. \quad (13.8)$$

Теплоємність сухих речовин яблук при  $0 < W < 1$  і  $T = 293 \text{ К}$

$$c = 1395 + 2792 \cdot W. \quad (13.9)$$

Об'ємна теплоємність моноліту яблук в кДж/(м<sup>3</sup>·К) при  $0 < W < 1$  і  $T = 293 \text{ К}$  у вигляді:

$$c\rho = 2608 + 2864 \cdot W - 1285 \cdot W^2 \quad (13.10)$$

Теплопровідність яблук в Вт/(м·К) при сушінні при  $0,24 < W < 0,76$

$$\lambda = 0,033 + 0,0565 \cdot W + 0,411 \cdot W^2. \quad (13.11)$$

Температуропровідність яблук в м<sup>2</sup>/с в процесі сушіння при  $0,24 < W < 0,76$

$$a \cdot 10^8 = 7,24 + 7,02 \cdot W. \quad (13.12)$$

**Яблука під час охолодження і заморожування.** Теплопровідність і температуропровідність яблук при охолодженні набагато менше, ніж при нагріванні.

Таблиця 13.11

**Теплофізичні характеристики яблук сорту Ренет Симиренко при охолодженні від 333 до 293 К**

| Попередня обробка | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|-------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| Відсутня          | 840                          | 0,15                 | 4,7                                |
| Бланшування       | 924                          | 0,19                 | 5,4                                |
| Вакуумування      | 951                          | 0,17                 | 4,9                                |

Спричинено це тим, що при охолодженні яблук водяна пара, яка знаходиться в капілярах плодової тканини, конденсується, і в них створюється вакуум.

Таблиця 13.12

**Формули для визначення теплоємності яблук при температурі нижче криоскопічної**

| $T$ , К            | $c = f(T)$ , Дж/(кг·К)<br>( $W = 0,858$ ) | $c = f(T)$ , Дж/(кг·К)<br>( $W = 0,873$ ) |
|--------------------|---|---|
| $263 < T \leq 272$ | $c = 390,3 - 1,42 \cdot T$                | $c = 406,2 - 1,48 \cdot T$                |
| $258 < T \leq 263$ | $c = -182,6 + 0,76 \cdot T$               | $c = -191,5 + 0,79 \cdot T$               |
| $193 < T \leq 258$ | $c = -0,72 + 0,0118 \cdot T$              | $c = -0,88 + 0,0138 \cdot T$              |

Таблиця 13.13

**Ентальпія (кДж/кг) яблук**

| $W$   | Температура, К |      |      |      |       |
|-------|----------------|------|------|------|-------|
|       | 233            | 243  | 253  | 263  | 272   |
| 0,84  | 0              | 21,8 | 43,6 | 78,3 | 354,9 |
| 0,315 | 22,1           | 57,3 | 94,0 | 118  | 142,6 |

Таблиця 13.14

**Формули для визначення теплопровідності і температуропровідності яблук при  $248 < T < 272$  К**

| $W$   | $\lambda = f(T)$ , Вт/(м·К)        | $a = f(T)$ , м <sup>2</sup> /с        |
|-------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 0,858 | $\lambda = 2,100 - 0,0111 \cdot T$ | $a \cdot 108 = 402,40 - 1,30 \cdot T$ |
| 0,873 | $\lambda = 3,883 - 0,0095 \cdot T$ | $a \cdot 108 = 348,47 - 1,09 \cdot T$ |



## Теплофізичні характеристики яблук

| Зразок     | ТФХ                                | Температура, К |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|------------------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            |                                    | 272            | 271  | 270  | 269  | 268  | 263  | 253  | 243  | 233  |
| Яблуко     | $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,40           | 0,99 | 1,14 | 1,22 | 1,27 | 1,40 | 1,51 | 1,59 | 1,66 |
|            | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 13,0           | 16,3 | 40,6 | 73,7 | 11,3 | 34,6 | 70,1 | 90,9 | 10,6 |
|            | $\rho_\phi$ , кг/м <sup>3</sup>    | 809            | 801  | 802  | 802  | 803  | 803  | 801  | 799  | 799  |
| Шар яблуко | $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,22           | 0,54 | 0,61 | 0,66 | 0,68 | 0,75 | 0,81 | 0,85 | 0,89 |
|            | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 11,7           | 14,1 | 35,0 | 63,4 | 97,5 | 29,7 | 60,1 | 77,8 | 90,5 |
|            | $\rho_\phi$ , кг/м <sup>3</sup>    | 495            | 505  | 498  | 504  | 498  | 501  | 501  | 530  | 501  |

Теплопровідність яблук в Вт/(м·К) в залежності від двох визначальних факторів при  $0,856 < W < 0,873$  і  $248 < T < 272$  К

$$\lambda = -7,488 - 0,0103 \cdot T + 13,3 \cdot W \quad (13.13)$$

**Напівфабрикати і вироби із яблук.** Яблучна м'якоть. Об'ємна теплоємність [кДж/(м<sup>3</sup>·К)] яблучної м'якоті при  $298 < T < 333$  К.

$$c\rho = -867 + 16,5 \cdot T \quad (13.14)$$

Теплопровідність [Вт/(м·К)] яблучної м'якоті:

при  $T > 273$  К,  $\rho_\phi = 1056$  кг/м<sup>3</sup> і  $W = 0,8948$

$$\lambda = 0,04 + 0,00185 \cdot T \quad (13.15)$$

Теплопровідність м'якоті яблук (товщина шару 3,4 мм  $T = 299 \dots 305$  К) при теплових потоках 153 і 260 Вт/м<sup>2</sup> відповідно дорівнює 0,488 і 0,519 Вт/(м·К). Температуропровідність м'якоті яблук при  $T \approx 293$  К складає  $11,1 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

В процесі охолодження і заморожування яблучної м'якоті від 300 до 255 К середні значення теплоємності складають 9211 Дж/(кг·К) і температуропровідності –  $15,0 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Середнє значення теплопровідності замороженої м'якоті яблук, коли  $W = 0,855$ , наявності 26% повітря в об'ємі і нагріванні від 275 до 305 К дорівнює 0,36 Вт/(м·К).

**Яблучне желе.** Теплопровідність яблучного желе ( $W = 0,8193$ ,  $\rho_\phi = 836,4$  кг/м<sup>3</sup>) при температурі 295, 315 і 332 К відповідно дорівнює 0,213; 0,920 і 0,950 Вт/(м·К).

**Яблучна пульпа.** ТФХ яблучної пульпи при  $T = 302 \text{ K}$  дорівнюють:  $\rho_{\phi} - 990 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3420 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ ,  $\lambda - 0,513 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ ,  $a - 15,15 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**Пюре із яблук.** Теплопровідність яблучного пюре при  $295 \text{ K}$  дорівнює  $0,692 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$  а температуропровідність –  $14,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ , об'ємна теплоємність  $4676 \text{ кДж/(м}^3\cdot\text{K)}$ .

ТФХ яблучного пюре при  $T = 302 \text{ K}$  дорівнюють:  $\rho_{\phi} - 990 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3420 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ ,  $\lambda - 0,513 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ ,  $a - 15,2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Таблиця 13.16

**Формули для визначення густини і теплоємності  
пюре із яблук при  $T = 293...353 \text{ K}$**

|                             |                                      |  |
|-----------------------------|--------------------------------------|--|
| Пюре                        | $\rho_{\phi} = f(T), \text{ кг/м}^3$ | $c = f(T), \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ |
| Із яблук і абрикосів        | $\rho_{\phi} = 1244 - 0,467 \cdot T$ | $c = 3211 + 0,251 \cdot T$               |
| Із яблук і вишні            | $\rho_{\phi} = 1178 - 0,282 \cdot T$ | $c = 2026 + 4,30 \cdot T$                |
| Із яблук, гарбузів і моркви | $\rho_{\phi} = 1152 - 0,343 \cdot T$ | $c = 3471 + 0,545 \cdot T$               |
|                             | $\rho_{\phi} = 1232 - 0,59 \cdot T$  |  |

Таблиця 13.17

**Температуропровідність пюре із яблук з цукром**

|  |      |      |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| <b><math>T, \text{ K}</math></b>                       | 333  | 348  | 358  | 368  | 378  | 388  | 393  |
| <b><math>a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}</math></b> | 11,7 | 13,1 | 13,5 | 13,6 | 13,8 | 13,9 | 13,9 |

Таблиця 13.18

**Об'ємна маса ( $\text{кг/м}^3$ ) піни із яблучного пюре ( $n=0,52$ )  
при стабілізаторі сухому білку**

| <b>Стабілізатор (% до сухих речовин)</b> |     |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0  | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |
| 990                                      | 700 | 560 | 500 | 430 | 420 | 420 |

**Яблучне повидло.** Теплопровідність в  $\text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$  повидла при  $T=273 \text{ K}$ ,  $\rho_{\phi}=1294 \text{ кг/м}^3$ ,  $W=0,323$ .

$$\lambda = - 0,367 + 0,00245 \cdot T \quad (13.16)$$

**Яблучний мус.** При масовій частці вологи  $0,40...0,59$  температуропровідність яблучного муса дорівнює  $11,1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**Яблучний компот.** Теплоємність компоту дорівнює  $3726 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ . ТФХ компоту із сушених яблук складають:  $\rho_{\phi} - 1218 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3150 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ ,  $\lambda -$

0,481 Вт/(м·К),  $a = 12,43 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Таблиця 13.19

**Теплофізичні характеристики повидла ( $W=0,325$ )**

| $T, \text{ К}$ | $\rho_f, \text{ кг/м}^3$ | $c, \text{ Дж/(кг·К)}$ | $\lambda, \text{ Вт/(м·К)}$ | $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ |
|----------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 273            | 1294                     | 2261                   | 0,302                       | 10,3                                 |
| 273...293      | 1341                     | 2260                   | 0,31                        | 12,2                                 |

Таблиця 13.20

**Температуропровідність яблучного мусу**

| $T, \text{ К}$ | $W$  | $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ | $T, \text{ К}$ | $W$  | $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ |
|----------------|------|--------------------------------------|----------------|------|--------------------------------------|
| 278            | 0,37 | 10,5                                 | 338            | 0,37 | 11,2                                 |
| 278            | 0,80 | 12,2                                 | 338            | 0,80 | 14,0                                 |

**Яблучний мармелад.** Температуропровідність мармеладу ( $W = 0,45$ ) при  $T = 338 \text{ К}$  складає  $11,1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**Яблучна начинка.** ТФХ яблучної начинки дорівнюють:  $\rho_f = 1417 \text{ кг/м}^3$ ,  $c = 1964 \text{ Дж/(кг·К)}$ ,  $\lambda = 0,27 \text{ Вт/(м·К)}$ ,  $a = 9,81 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**Яблучний соус.** Теплоємність яблучного соусу при  $T = 306 \text{ К}$  дорівнює  $4019 \text{ Дж/(кг·К)}$ , в інтервалі температури  $274...304 \text{ К}$  (при  $W = 0,828$ ) –  $3726 \text{ Дж/(кг·К)}$ .

Таблиця 13.21

**Ентальпія яблучного соусу**

| Характеристика         | Температура, К |       |       |        |        |        |        |
|------------------------|----------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
|                        | 233            | 244   | 250   | 255    | 261    | 266    | 272    |
| Ентальпія, кДж/кг      | 0              | 46,06 | 71,18 | 104,67 | 150,73 | 234,47 | 607,11 |
| Не замороженої води, % | –              | 5     | 7     | 11     | 17     | 28     | 100    |

Ентальпія яблучного соусу ( $W = 0,828$ ) при криоскопічній температурі ( $T_k = 271,48 \text{ К}$ ) дорівнює  $347,74 \text{ кДж/кг}$ .

Таблиця 13.22

**Теплопровідність і коефіцієнт температуропровідності яблучного соусу**

| $W$   | $T, \text{ К}$ | $\lambda, \text{ Вт/(м·К)}$ | $W$  | $T, \text{ К}$ | $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ |
|-------|----------------|-----------------------------|------|----------------|--------------------------------------|
| 0,787 | 295            | 0,549                       | 0,37 | 338            | 11,2                                 |
| 0,788 | 275...308      | 0,515                       | 0,80 | 278            | 12,2                                 |

**Яблучний сироп.** Густина ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) яблучного сиропу при  $293 < T < 343 \text{ K}$ :

$$\rho_{\phi} = 1503 - 0,57 \cdot T \quad (13.17)$$

Таблиця 13.23

**Теплоємність сиропів в Дж/(кг·К)**

| Сироп              | Температура, К |      |      |      |      |      |
|--------------------|----------------|------|------|------|------|------|
|                    | 293            | 303  | 313  | 323  | 333  | 343  |
| Апельсиновий       | 2851           | 2884 | 2917 | 2951 | 3006 | 3040 |
| Яблучна суміш      | 2763           | 2805 | 2847 | 2889 | 2956 | 3023 |
| Черешнево-яблучний | 2755           | 2784 | 2814 | 2847 | 2918 | 2951 |
| Яблучний           | 2784           | 2804 | 2843 | 2860 | 2918 | 2943 |

Теплопровідність в  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  і температуропровідність в  $\text{м}^2/\text{с}$  яблучного сиропу описують формули:

$$\lambda = \frac{0,35 \times 10^{-4} \times (1503 - 0,57 \times T)^{4/3}}{\alpha}, \quad (13.18)$$

$$a = \frac{3,82 \times 10^{-4}}{\alpha \times c}, \quad (13.19)$$

де  $\alpha$  – зменшується від 1, 24 до 0,972 в межах  $273 < T < 373 \text{ K}$ .

**Яблучний порошок.** Теплоємність [ $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ] і теплопровідність [ $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ] яблучного порошку:

при  $0,03 < W < 0,10$  і  $291 < T < 354 \text{ K}$

$$c = 1000 + 3500 \cdot W + 1,6 \cdot T \cdot (1 - W), \quad (13.20)$$

$$\lambda = 0,0256 + 0,603 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_e + 0,559 \cdot 10^{-7} \cdot \rho_e^2 \quad (13.21)$$

**Яблучний сік.** Густина свіжо-віджатого яблучного соку коливається від 1044,3 до 1062,4  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Густина яблучного соку ( $n = 0,11$ ) складає 1043...1047  $\text{кг}/\text{м}^3$ , густина зважених часток в ньому – 1089  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Густина прозорого яблучного соку більша, чим мутного. При  $n = 0,10$  їх значення відповідно дорівнюють 1060 і 1050  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Фізичну густина в  $\text{кг}/\text{м}^3$  при  $0,09 < n < 0,74$  і  $T = 293 \text{ K}$  яблучного соку:

$$\rho_{\phi} = 986 + 498 \cdot n \quad (13.22)$$

Фізичні показники фруктових порошків ( $n=0,90\dots0,97$ )

| Порошок                 | Показник   | Розмір часток, мм |                  |                  |                 |                 |               |
|-------------------------|------------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------|
|                         |            | 1...<br>0,40      | 0,40...<br>0,315 | 0,315...<br>0,20 | 0,20...<br>0,16 | 0,16...<br>0,10 | менше<br>0,10 |
| Яблучний                | $\rho_v^*$ | 600               | 570              | 560              | 550             | 515             | 470           |
|                         | $\rho_n$   | 500               | 470              | 420              | 400             | 340             | 280           |
| Яблучний<br>бланшований | $\rho_v^*$ | 560               | 590              | 590              | 585             | 680             | 590           |
|                         | $\rho_n$   | 460               | 470              | 450              | 440             | 430             | 330           |
| Яблучних вичавок        | $\rho_v^*$ | 615               | 620              | 600              | 540             | –               | –             |
|                         | $\rho_n$   | 500               | 480              | 460              | 350             | –               | –             |
| Мандаринових<br>вичавок | $\rho_v^*$ | 700               | 690              | 710              | 700             | 740             | 735           |
|                         | $\rho_n$   | 610               | 595              | 590              | 570             | 545             | 485           |
| Виноградної<br>кісточки | $\rho_v^*$ | 680               | 700              | 710              | 660             | –               | –             |
|                         | $\rho_n$   | 480               | 490              | 445              | 485             | –               | –             |

\* $\rho_v$  – вібраційна густина визначалась після впливу на ємність з порошком вібрації з амплітудою 5 мм і частотою  $180 \text{ хв}^{-1}$  на протязі 3 хв.

Таблиця 13.25

Теплоємність яблучного соку при  $T=293 \text{ К}$ 

|                 |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| $W$             | 0,26 | 0,50 | 0,78 | 0,87 | 0,87 | 0,92 |
| $c$ , Дж/(кг·К) | 2261 | 3015 | 3559 | 3852 | 3853 | 3978 |

Об'ємна теплоємність в  $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$  яблучного соку при  $0,30 < W < 0,90$ ,  $T = 293 \text{ К}$  і  $\Pi = 0,3\dots1,9\%$

$$c\rho = 2545 + 2813 \cdot W - 1230 \cdot W^2 \quad (13.23)$$

Теплопровідність в  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  яблучного соку при  $0 < n < 0,64$  і  $T = 293 \text{ К}$ :

$$\lambda = B (986 + 498n)^{4/3} / 1,16. \quad (13.24)$$

Постійна  $B$  у формулі (13.24) при  $0 < n < 0,22$  становить  $B \cdot 10^4 = 0,711 - 0,78 n$ ,

при  $0,22 < n < 0,64$   $B \cdot 10^4 = 0,641 - 0,46 \cdot n$ .

Температуропровідність ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) яблучного соку:

при  $0,40 < W < 1$  і  $T = 293 \text{ К}$

$$a \cdot 10^8 = 8,83 + 5,6 \cdot W \quad (13.25)$$

Густина соку в залежності від  $T$ :

при  $273 < T < 363 \text{ К}$  і  $0,12 < n < 0,74$

$$\rho_\phi = 1084 + 600 \cdot n - 0,308 \cdot T - 0,407 \cdot n \cdot T. \quad (13.26)$$

Таблиця 13.26

## Теплоємність [Дж/(кг·К)] яблучного соку

| <i>n</i> | Т, К |      |      |
|----------|------|------|------|
|          | 303  | 323  | 343  |
| 0,08     | 3978 | 3978 | 3978 |
| 0,2      | 3559 | 3601 | 3643 |
| 0,42     | –    | 3224 | 3266 |

Ентальпія в Дж/кг яблучного соку визначається при  $0,1 < n < 0,7$  і  $303 < T < 363$  К

$$h = 4186 \cdot (T - 273) - 2543 \cdot n \cdot (T - 273) + 3,6 \cdot n \cdot (T - 273)^2 \quad (13.27)$$

Теплопровідність яблучного соку ( $n = 0,20 - 0,22$ ) при 303 К складає 0,49 – 0,52, а при 323 К – 0,53 – 0,56 Вт/(м·К), температуропровідність коливається в межах  $13 - 15 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

**Яблучний сік** при  $T < T_{кр}$ . Зі збільшенням масової частки сухих речовин в яблучному соку температура його виморожування знижується:

при  $0,108 < n < 0,3265$

$$T_m = 273,7 - 16,9 \cdot n, \quad (13.28)$$

при  $0,3265 < n < 0,526$

$$T_m = 278,45 - 31,4 \cdot n. \quad (13.29)$$

Густина (кг/м<sup>3</sup>) яблучного соку в залежності від масової частки сухої речовини при температурі виморожування при  $0,108 < n < 0,637$

$$\rho_\phi = 987,5 + 466,5 \cdot n. \quad (13.30)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) замороженого яблучного соку в інтервалі температур 263 – 233 К:

$$\text{при } n = 0,10 \quad c = -984 + 52,6 \cdot T, \quad (13.30)$$

$$\text{при } n = 0,20 \quad c = -6995 + 36,8 \cdot T, \quad (13.31)$$

$$\text{при } n = 0,30 \quad c = -3698 + 21,1 \cdot T, \quad (13.32)$$

$$\text{при } n = 0,40 \quad c = -5500 + 26,3 \cdot T. \quad (13.33)$$

### 13.1.2. Груші

Густина свіжих груш сорту Гімрінська ( вміст газів 6,2 мл на 100 г) дорівнює 1020, а сорту Ботлихська (вміст газів 7,1) – 1012 кг/м<sup>3</sup>. Об’ємна маса свіжих груш дорівнює 350 кг/м<sup>3</sup>. Фізичні характеристики свіжих груш характеризуються наступними показниками:  $\rho_{\phi}$  – 1000 кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_n$  – 600 кг/м<sup>3</sup> і скважистість шару 40%.

Таблиця 13.27

**Густина і пористість груш ( $n=0,125$ ) в процесі бланшування  
( $\rho_{\phi}$  до бланшування 1010 кг/м<sup>3</sup>)**

| Середовище | T, К  | Показник                          | Тривалість, хв |       |      |      |      |      |      |
|------------|-------|-----------------------------------|----------------|-------|------|------|------|------|------|
|            |       |                                   | 1              | 2     | 3    | 4    | 5    | 6    | 8    |
| Вода       | 353   | $P$ , %                           | –              | 10,0  | –    | 9,9  | –    | 8,9  | 8,0  |
|            |       | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | –              | 10,31 | –    | 1045 | –    | 1055 | 1059 |
| Вода       | 363   | $P$ , %                           | –              | 9,1   | –    | 8,0  | –    | 6,1  | 5,6  |
|            |       | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | –              | 1049  | –    | 1053 | –    | 1061 | 1061 |
| Вода       | 371,5 | $P$ , %                           | 8,9            | 8,5   | 8,3  | 7,6  | 5,2  | –    | –    |
|            |       | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | 1030           | 1043  | 1048 | 1053 | 1065 | –    | –    |
| Пара       | 383   | $P$ , %                           | 7,4            | 7,0   | 6,9  | 6,7  | 5,0  | –    | –    |
|            |       | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | 1030           | 1048  | 1056 | 1060 | 1064 | –    | –    |

Таблиця 13.28

**Фізичні показники груш в процесі сушіння**

| Показник                          | Масова частка вологи |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                   | 0                    | 0,413 | 0,585 | 0,678 | 0,739 | 0,778 | 0,808 | 0,831 | 0,849 | 0,863 | 0,875 |
| $\rho_i$ , кг/м <sup>3</sup>      | 1464                 | 1328  | 1236  | 1171  | 1128  | 1100  | 1090  | 1083  | 1085  | 1090  | 1099  |
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | 1144                 | 1130  | 1115  | 1100  | 1086  | 1072  | 1057  | 1043  | 1029  | 1000  | 989   |
| $P$ , %                           | 21,9                 | 14,9  | 9,8   | 6,1   | 3,7   | 2,5   | 3,0   | 3,7   | 5,2   | 8,2   | 10,0  |

Таблиця 13.29

**Теплоємність в Дж/(кг·К) свіжих груш**

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $W$ | 75,8 | 82,5 | 83,8 | 84,7 | 85,1 | 85,3 | 85,8 | 85,8 |
| $c$ | 3584 | 3684 | 3726 | 3810 | 3770 | 3780 | 3827 | 3810 |

Ентальпія груш ( $W=0,838$ ) при криоскопічній температурі ( $T_k = 271,54$  К) дорівнює 349,37 кДж/кг. Теплоємність груш при температурі нижче криоскопічної дорівнює: при  $W = 0,827$  – 1884, при  $W = 0,830$  – 1758 Дж/(кг·К).

Таблиця 13.30

Ентальпія кДж/кг груш при  $T = 233$  К

|                          |      |       |      |      |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b><math>T, K</math></b> | 243  | 253   | 258  | 263  | 268   | 273   | 278   | 283   | 288   | 293   |
| <b><math>h</math></b>    | 22,2 | 48,15 | 67,0 | 90,4 | 149,8 | 341,2 | 360,5 | 378,9 | 398,2 | 417,4 |

Теплоємність груш в Дж/(кг·К) при температурі нижче криоскопічної при  $W = 0,79$

$$c = -1256 - \frac{940316}{T - 273} \quad (13.34)$$

Теплопровідність груші ( $W = 0,868$ ) при  $T = 301$  К і  $\rho_\phi = 1000$  кг/м<sup>3</sup> дорівнює 0,595 Вт/(м·К). Теплопровідність цілої груші ( $W = 0,85$ ) при  $T = 296$  К дорівнює 0,66 Вт/(м·К), а розрізаної ( $W = 0,865$  і 0,840) відповідно 0,92 і 0,86 Вт/(м·К).

Таблиця 13.31

## Теплофізичні характеристики грушок

| $W$   | $\rho_\phi, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|-------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 0,847 | 1010                       | 3810                             | 0,51                                  | 13,4                                |
| 0,851 | 1028                       | 3770                             | 0,53                                  | 13,7                                |
| 0,853 | 983                        | 3780                             | 0,49                                  | 13,2                                |
| 0,868 | 1000                       | 3817                             | 0,595                                 | 15,6                                |

**Грушевий сік.** Теплоємність грушевого соку ( $W = 0,835$ ) при температурі нижче криоскопічної складає 1880 Дж/(кг·К). Теплопровідність грушевого соку при  $T = 293$  К дорівнює 0,476 Вт/(м·К), а при  $W = 0,847$  і  $T = 293$  К – 0,56 Вт/(м·К). Теплопровідність грушевого соку в Вт/(м·К):

при  $0,153 < n < 0,610$  і  $T = 293$  К

$$\lambda = 0,600 - 0,326 \cdot n \quad (13.35)$$

при  $0,153 < n < 0,610$  і  $T = 353$  К

$$\lambda = 0,689 - 0,398 \cdot n \quad (13.36)$$



### 13.1.3. Айва

Таблиця 13.32

Густина айви при різних способах підготовки

| Попередня підготовка                       | Зміни, % |        | Вміст газів в плодах, мл/100 г | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> |                    |
|--|----------|--------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|
|  | маси     | об'єму |                                |                              | до стерилізації              | після стерилізації |
| Без обробки                                | 100      | 100    | 14,3                           | 955                          | 956                          | 1036               |
| Бланшування у воді де (T=363 К) 4 хв       | 100,8    | 94,9   | 1,8                            | 1014                         | 1015                         | 1056               |
| Вакуумування у сиропі (n=0,35) при T=293 К | 109,2    | 98,1   | 1,1                            | 1063                         | 1064                         | 1139               |
| Вакуумування попередньою тепловою обробкою | 104,1    | 95,0   | 0,1                            | 1046                         | 1065                         | 1167               |

Таблиця 13.33

Теплоємність свіжої айви

|                 |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| $W$             | 0,798 | 0,818 | 0,853 | 0,858 |
| $c$ , Дж/(кг·К) | 3567  | 3680  | 3684  | 3790  |

Теплоємність айви ( $W=0,853$ ) при температурі нижче криоскопічної дорівнює 1880 Дж/(кг·К).

Таблиця 13.34

Теплофізичні характеристики айви

| $W$   | $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|-------|------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| 0,818 | 1027                         | 3680            | 0,48                 | 12,8                               |
| 0,858 | 890                          | 3790            | 0,46                 | 13,65                              |

### 13.1.4. Горобина

Теплоємність горобини рекомендується визначати за узагальненою формулою плодів сім'ячкових культур при  $0 < W < 1$  і  $T=293$  К

$$c = 1383 + 2804 \cdot W. \quad (13.37)$$

Таблиця 13.35

**Хімічний склад (%) сухих речовин сім'ячкових плодів та їх теплоємність**

| Плоди       | Білки | Вуглеводи | Крохмаль | Клітковина | Органічні кислоти | Зола | $c_{cp}$ , Дж/(кг·К) |
|-------------|-------|-----------|----------|------------|-------------------|------|----------------------|
| Айва        | 4,7   | 67,7      | 2,4      | 11,8       | 7,1               | 6,3  | 1376                 |
| Груша       | 3,1   | 80,3      | 3,9      | 4,7        | 2,4               | 5,5  | 1387                 |
| Горобина:   |       |           |          |            |                   |      |                      |
| садова      | 7,0   | 62,2      | –        | 15,9       | 10,9              | 4,0  | 1386                 |
| чорноплідна | 7,9   | 63,2      | –        | 14,2       | 6,8               | 7,9  | 1372                 |

$c_{cp}$  – середнє значення теплоємності сухої речовини плодів сім'ячкових плодів.

**13.1.5. Енергетична цінність сім'ячкових плодів та виробів з них**

Таблиця 13.36

**Енергетична цінність сім'ячкових плодів та виробів з них**

| Продукт                                   | Ец, кДж/кг |
|---|------------|
| Яблука свіжі                              | 1920       |
| Яблука сушені                             | 11420      |
| Повидло яблучне                           | 10330      |
| Варення яблучне                           | 10880      |
| Консерви :                                |            |
| Салат закусочний з яблуками               | 3390       |
| Компот з яблук                            | 3850       |
| Яблучний сік                              | 1970       |
| Сік яблучно-шипшиновий з ксилітом         | 2010       |
| Напій яблучно – пектиновий профілактичний | 2590       |
| Соус яблучний                             | 3350       |
| Фруктовий суп з яблук                     | 4560       |
| Млинці з яблуками                         | 8030       |
| Яблука протерті з цукром                  | 4810       |
| Яблука нарізані в яблучному пюре          | 3310       |
| Груші свіжі                               | 1760       |
| Груші сушені                              | 10290      |
| Компот з груш                             | 3100       |
| Варення грушеве                           | 11250      |
| Айва свіжа                                | 1590       |
| Консерви :                                |            |
| Сік айвовий                               | 2180       |
| Сік айвовий з ксилітом                    | 2220       |
| Компот айвовий                            | 3390       |
| Фруктовий суп з айви                      | 4770       |
| Варення з айви                            | 11250      |

### 13.1.6. Тепломасообмінні характеристики сім'ячкових плодів

Випарна здатність яблук «Налив Білий» у червні складає 0,03, «Ренет Симиренко» у листопаді – 0,02, а у березні 0,01; груші «Панна» у серпні та айви у вересні – 0,02.

Теплота дихання в Вт/т при 6 °С яблук – 12,1, груш 9,5, груш при 5°С – 22.

Коефіцієнт транспірації сім'ячкових  $K_t = 0,014 - 0,045 \%$  / (доба·Мбар).

## 13.2. Плоди кісточкових культур

### 13.2.1. Сливи

**Свіжі сливи.** Густина плодів коливається в широких межах і складає від 932 до 1080 кг/м<sup>3</sup>. При вмісті в сливах сорту Ренклод зелений 3,8 мл газів на 100 г їх густина дорівнює 1004 кг/м<sup>3</sup>, а при вмісті в сливах сорту Венгерка італійська газів 4,5 мл на 100 г – 1002 кг/м<sup>3</sup>. З підвищенням висоти (Н) шару плодів їх об'ємна маса (кг/м<sup>3</sup>) при 10 < Н < 60 см збільшується:

$$\rho_H = 678 + 0,7H. \quad (13.37)$$

Таблиця 13.37

**Теплофізичні характеристики свіжих плодів сливи**

| $W$   | $T, K$ | $\rho_f, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|-------|--------|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 0,818 | –      | 980                     | 3680                             | 0,49                                  | 13,6                                |
| 0,795 | –      | 1030                    | 3620                             | 0,55                                  | 14,7                                |
| 0,886 | 299    | 1130                    | 3868                             | 0,55                                  | 12,6                                |

Сливи під час нагрівання. Теплоємність сливи при нагріванні від 273 до 373 К і  $W = 0,28 - 0,35$  становить 2220 Дж/(кг·К). Об'ємна теплоємність в мДж/(м<sup>3</sup>·К), температуропровідність в м<sup>2</sup>/с та теплопровідність в Вт/(м·К) м'якоті сливи сорту Венгерка італійська, коли  $W = 0,85$  під час нагрівання від 298 до 348 К:

$$c_p = 4,60 - 0,02 \cdot (t - 25) \pm 0,156 \quad (13.38)$$

$$a \cdot 10^6 = [8,80 - 0,038 - (t - 25)]^{-1} \pm 0,014 \quad (13.39)$$

$$\lambda = 0,523 \pm 0,26 \quad (13.40)$$

Під час нагрівання у воді ( $T = 373 \text{ K}$ ) плодів сливи сорту Ренклод ( $d = 34,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ) і Венгерка ( $d = 37,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ) їх густина і температуропровідність

відповідно дорівнюють  $1026,7$  і  $1053$   $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $13,9 \cdot 10^{-8}$  і  $34,5 \cdot 10^{-8}$   $\text{м}^2/\text{с}$ .

**Сливи при температурі нижче криоскопічної.** Значення ентальпії плодів приведені в таблиці 13.38.

Таблиця 13.38

**Ентальпія (кДж/кг) плодів кісточкових культур**

| Плоди (без кісточок) | W     | Температура, К |      |      |       |       |       |       |
|----------------------|-------|----------------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|                      |       | 233            | 243  | 253  | 263   | 265   | 268   | 273   |
| Сливи                | 0,803 | 0              | 26,8 | 54,4 | 109,7 | 126,0 | 188,4 | 328,7 |
| Персики              | 0,851 | 0              | 22,2 | 53,6 | 93,4  | 108,0 | 146,5 | 347,5 |
| Черешня              | 0,770 | 0              | 26,8 | 55,4 | 115,1 | 130,6 | 192,6 | 320,3 |

Густина плодів сливи в результаті заморожування зменшується з  $1030$  до  $980$   $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Теплоємність сливи ( $W = 0,857$ ) при температурі нижче криоскопічної складає  $1884$  Дж/(кг·К). Теплопровідність заморожених плодів сливи приведена в таблиці 13.39.

Таблиця 13.39

**Теплопровідність замороженого шару слив**

| Характеристики           | T, К      | $\rho_{\phi}$ , $\text{кг}/\text{м}^3$ | $\lambda$ , Вт/(м·К) |
|--------------------------|-----------|--|----------------------|
| Мілка, тверда, суха      | 260...255 | 570                                    | 0,30                 |
| Велика, щільно упакована | 259...254 | 610                                    | 0,24                 |

**Сливовий сік.** Густина свіже-віджатого соку складає від  $1032,6$  до  $1049,3$   $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Густина ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) замороженого сливового соку при  $0,141 < n < 0,630$

$$\rho_{\phi} = 992 + 477 \cdot n. \quad (13.41)$$

**Вироби з сливи.** ТФХ соусу із чорносливу ( $n = 0,267$ ) з томатом (11,5 %) приведені в таблиці 13.40. Ентальпія зацукрованого сливового повидла приведені у таблиці 13.35.

Таблиця 13.40

**Теплофізичні характеристики соусу із чорносливу**

| Сливи        | T, К | W     | $\rho_{\phi}$ , $\text{кг}/\text{м}^3$ | c, Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , $\text{м}^2/\text{с}$ |
|--------------|------|-------|--|--------------|----------------------|--|
| З кісточками | 291  | 0,581 | 973                                    | 2950         | 0,42                 | 15,0                                   |
| Без кісточок | 273  | 0,608 | 1104                                   | 2900         | 0,55                 | 17,0                                   |

**Ентальпія зацукрованого сливового повидла ( $W=0,338$ )**

|                                      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b><math>T, K</math></b>             | 228  | 233  | 237  | 243  | 247  | 253   | 257   | 263   | 267   | 273   | 283   |
| <b><math>h, \text{кДж/кг}</math></b> | 10,5 | 24,9 | 40,1 | 66,1 | 86,1 | 103,8 | 113,8 | 128,9 | 139,1 | 154,8 | 181,6 |

У відповідності з даними по ентальпії зацукрованого сливового повидла ( $W = 0,338$ ) його теплоємність в Дж/(кг·К) описується формулами :

при  $251 < T < 267 K$

$$c = 2241 + 1,25 T, \quad (13.42)$$

при  $267 < T < 283 K$

$$c = 72 + 9,375 T, \quad (13.43)$$

при  $283 < T < 323 K$

$$c = 1661 + 3,75 T. \quad (13.44)$$

**13.2.2. Вишні**

**Свіжі вишні.** Густина вишні коливається від 970 до 1092 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 13.42

**Фізичні показники вишні**

| $W$   | $\rho_n, \text{кг/м}^3$ | $\rho_\phi, \text{кг/м}^3$ | $P, \%$ |
|-------|-------------------------|----------------------------|---------|
| 0,809 | 1090                    | 1083                       | 0,64    |
| 0,846 | 1073                    | 1053                       | 1,86    |

Об'ємна маса в кг/м<sup>3</sup> плодів в залежності від висоти їх шару при  $15 < H < 55$  см:

$$\rho_n = 694,5 + 1,3 \cdot H. \quad (13.45)$$

Шпаруватість шару вишні в % при  $15 < H < 55$  см:

$$S = 37,8 - 0,1175 \cdot H. \quad (13.46)$$

Теплоємність кислої вишні в Дж/(кг·К) в залежності від масової частки вологи і еквівалентного діаметра, коли  $0,82 < W < 0,91$  і  $26,0 < d_{\text{эк}} < 32,3$  см:

$$c = 1633 + 2135 \cdot W + 83,7 (0,073 + 0,605 \cdot 10^{-6} \cdot d_{\text{эк}}^3) \quad (13.47)$$

Теплопровідність кислої вишні в Вт/(м·К), коли  $0,09 < n < 0,18$ :

$$\lambda \cdot 10^3 = -476 - 156 \cdot n + 0,486 \cdot \rho_\phi + 0,135 \cdot c \quad (13.48)$$

Теплопровідність вишні ( $W = 0,708$ ) при  $\rho_\phi = 1070 \text{ кг/м}^3$  дорівнює  $0,57 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , а при  $W = 0,87 - 0,53 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Теплопровідність вишні ( $\rho_\phi = 1040 \text{ кг/м}^3$ ) в киплячому шарі дорівнює  $1,11 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

Температуропровідність терпкої вишні при  $T = 303 \text{ К}$  складає  $13,2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ . Температуропровідність кислої вишні в  $\text{м}^2/\text{с}$  при  $0,09 < n < 0,18$ :

$$a \cdot 10^8 = 13,7 - 4,1 \cdot n \quad (13.49)$$

Для вишневої м'якоті сорту Любська в діапазоні густини теплових потоків  $150 - 600 \text{ Вт/м}^2$  об'ємна теплоємність в  $\text{мДж/(м}^3\cdot\text{К)}$ , теплопровідність  $[\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}]$  і температуропровідності ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) при  $25 < t < 75^\circ\text{C}$

$$c\rho = 4,36 + 0,025 (t - 25) \pm 0,13 \quad (13.50)$$

$$\lambda = 0,505 \pm 0,044 \quad (13.51)$$

$$a \cdot 10^6 = [8,62 + 0,05 \cdot (t - 25)]^{-1} \pm 0,012 \quad (13.52)$$

В роботі показано, що на ефективні ТФХ плодів впливає рівень густини теплових потоків через продукт. Так,  $\lambda$  м'якоті вишні при  $q = 150 - 200 \text{ Вт/м}^2$  становила  $0,45 - 0,47$ , а при  $q = 500 - 600 \text{ Вт/м}^2$   $\lambda = 0,53 - 0,56 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Цей статистично підтверджений результат не ставить під сумнів відомий закон Фур'є  $q = -\lambda \text{ grad } t$ . Для м'якоті вишні, як і для інших продуктів,  $\lambda$  та інші ТФХ враховують сумарний ефект рушійних сил, цього разу додатковою силою може бути, наприклад, термовологопровідність.

ТФХ вишні ( $W = 0,837$ ) дорівнюють:  $\rho_\phi - 1081 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3790 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda - 0,52 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $a - 15,1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**Вишні при температурі нижче кріоскопічної.** Густина замороженої вишні ( $900 \text{ кг/м}^3$ ) менше, чим свіжої ( $1040 \text{ кг/м}^3$ ). Теплоємність замороженої вишні, коли  $W = 0,82$  і  $0,83$  відповідно дорівнює  $1842$  і  $1884 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

Ентальпія ( $\text{кДж/кг}$ ) вишні ( $W = 0,77$ ) при  $233 < T < 263 \text{ К}$

$$h = -689 + 3,0 \cdot T. \quad (13.53)$$

**Вишневий сік.** Густина свіжого вишневого соку складає від  $1032$  до  $1049 \text{ кг/м}^3$ . Теплоємність вишневого соку ( $W = 0,867$ ) дорівнює  $3852 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

Таблиця 13.43

Густина (кг/м<sup>3</sup>) вишневого соку з 10% цукру

| Т, К | Масова частки сухої речовини |      |      |      |      |      |
|------|------------------------------|------|------|------|------|------|
|      | 0,10                         | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 |
| 293  | 1035                         | 1082 | 1130 | 1179 | 1234 | 1285 |
| 303  | 1032                         | 1078 | 1126 | 1175 | 1229 | 1280 |
| 313  | 1029                         | 1074 | 1121 | 1170 | 1224 | 1273 |
| 323  | 1024                         | 1070 | 1115 | 1164 | 1218 | 1266 |
| 333  | 1020                         | 1065 | 1109 | 1158 | 1212 | 1260 |
| 343  | 1015                         | 1060 | 1103 | 1151 | 1105 | 1253 |
| 353  | 1011                         | 1054 | 1196 | 1144 | 1199 | 1246 |

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) вишневого соку при  $0 < W < 1$  і  $T = 293$  К

$$c\rho = 1947 + 3595 \cdot W - 1350 \cdot W^2 \quad (13.54)$$

Ентальпія вишневого соку ( $W = 0,867$ ) при криоскопічної температурі ( $T_k = 271,71$  К) дорівнює 360,06 кДж/кг.

### Вироби із вишні.

Таблиця 13.44

#### ТФХ виробів із вишні

| Вироби             | W     | T, К | $\rho_\phi$ , кг/м <sup>3</sup> | c, Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|--------------------|-------|------|---------------------------------|--------------|----------------------|------------------------------------|
| Начинка            | –     | –    | 1345                            | 2093         | 0,266                | 9,4                                |
| Пюре               | –     | 299  | 892                             | 4212         | 0,53                 | 14,0                               |
| Пульпа:            |       |      |                                 |              |                      |                                    |
| із серцевини вишні | 0,923 | 300  | 1010                            | 3972         | 0,462                | 11,5                               |
| із краю вишні      | 0,923 | 300  | 1010                            | 3972         | 0,527                | 13,2                               |

### 13.2.3. Черешні

Густина черешні складає: при  $W = 0,702$  – 1072, при  $W = 0,779$  – 1026 кг/м<sup>3</sup>. Об'єм повітря в плодах черешні дорівнює 1,6 – 3,5%. Об'ємна маса черешні 700 кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність плоду черешні ( $W = 0,770$ ) без кісточок дорівнює 3601 Дж/(кг·К). Теплоємність черешні ( $W = 0,82$  і  $0,83$ ) при температурі нижче криоскопічної відповідно дорівнює 1840 і 1884 Дж/(кг·К).

Ентальпія черешні за температури нижче криоскопічної наведена в таблиці 13.45.

Таблиця 13.45

**Теплофізичні характеристики черешні і черешневого соку при  $T = 293 \text{ K}$**

| Продукт | $W$   | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|---------|-------|-----------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| Черешня | 0,750 | 1066                              | 3490            | 0,54                 | 16,5                               |
| Сік     | 0,867 | 1052                              | 3852            | 0,55                 | 13,6                               |

Температуропровідність плодів черешні під час нагрівання в середовищі насиченої водяної пари ( $T = 373 \text{ K}$ ) при їх  $d = 20,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  і об'ємній масі  $902,5 \text{ кг/м}^3$  становить  $16,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**Вироби із черешні.** Густина свіжого соку черешні складає від 1033 до 1070 кг/м<sup>3</sup>. Теплоємність компоту із черешні дорівнює 3624 Дж/(кг·К).

**13.2.4. Персики**

**Свіжі персики.** Густина персиків в залежності від їх вологості, сорту, пористості змінюється від 933 до 1081 кг/м<sup>3</sup>. Пористість персиків дорівнює 1,6...5,2%. Об'ємна маса персиків дорівнює 520...650 кг/м<sup>3</sup>. Шпаруватість шару персиків складає приблизно 42%.

Теплоємність персиків ( $W = 0,851$ ) без кісточок дорівнює 3768 Дж/(кг·К).

**Персики під час нагрівання і охолодження.**

Таблиця 13.46

**Теплофізичні характеристики персиків**

| $W$   | $T$ , К | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |
|-------|---------|-----------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|
| 0,885 | 301     | 930                               | 3858            | 0,58                 | 16,2                               |
| 0,892 | —       | 1027                              | 3890            | 0,50                 | 13,2                               |
| 0,912 | —       | 940 – 960                         | 3936            | 0,50                 | 13,8 – 13,9                        |

Температуропровідність персиків в процесі нагріву при  $272 < T < 300 \text{ K}$  і  $\rho_{\phi} = 940 - 960 \text{ кг/м}^3$ :

$$a \cdot 10^8 = -9,0 + 0,085 \cdot T. \quad (13.55)$$

Під час охолодження шару персиків ( $W = 0,851$ ) повітрям ( $T = 273 \text{ K}$ )



вільної конвекції, ТФХ шару дорівнюють:  $\rho_n - 541,4 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3848 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda - 0,195 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $a - 9,21 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ . При охолодженні м'якоті плодів персиків від 300 до 255 К, ТФХ дорівнюють:  $\rho_\phi - 1041 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 1004,9 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $a - 12,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$  і  $\lambda - 1,25 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

При охолодженні шару плодів персиків висотою 60...65 мм ( $W = 0,881$ ) повітрям вимушеної конвекції ефективні теплопровідність в  $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$  і температуропровідність в  $\text{м}^2/\text{с}$  при  $1 < w < 10 \text{ с}$  і  $T_{нов} = 273 \text{ К}$   $\lambda = 0,60$ ,  $a = 29,0 \cdot 10^{-8}$ .

В процесі охолодження в повітрі від 300 до 277 К температуропровідність цілого персика дорівнює  $13,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**Персики при температурі нижче кріоскопічної.** Густина плодів персиків заморожених ( $950 \text{ кг/м}^3$ ) менша, ніж свіжих ( $1010 \text{ кг/м}^3$ ). Ентальпія персика ( $W = 0,851$ ) при кріоскопічній температурі ( $T_k = 271,59 \text{ К}$ ) дорівнює  $354,25 \text{ кДж/кг}$ .

Теплоємність в  $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$  плодів персиків ( $W = 0,88$ )

$$c = 343 - \frac{11049,5}{\bar{T}_v - 273}, \quad (13.56)$$

де  $\bar{T}_v$  – середня температура по об'єму.

Об'ємна маса ( $\text{кг/м}^3$ ) піни, яка утворюється під час збивання соку із персиків ( $n=0,30$ ),

$$\rho_n = 498 \times e^{0,0027 \times \tau^{0,5}} \quad (13.57)$$

де 498 – початкова об'ємна маса піни;  $\tau$  – тривалість її старіння, хв.

### 13.2.5. Абрикоси

Густина абрикосів дорівнює при масовій частці вологи 0,828 і 0,867 відповідно  $1109$  і  $886 \text{ кг/м}^3$ . Шпаруватість шару абрикосів дорівнює приблизно 42%.

Теплоємність в  $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$  сушених абрикосів при  $W = 0,263$  і  $308 < T < 338 \text{ К}$

$$c = 1676 + 3,0 \cdot T. \quad (13.58)$$

ТФХ плодів абрикосів ( $W = 0,839$ ) дорівнюють:  $\rho_{\phi} - 1036 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3740 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $a - 13,2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $\lambda - 0,51 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . При охолодженні шару плодів абрикосів ( $W = 0,874$ ) повітрям ( $T = 273 \text{ К}$ ) вільної конвекції, ТФХ шару дорівнюють:  $\rho_n - 649,2 \text{ кг/м}^3$ ,  $c - 3828 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda - 0,243 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $a - 9,66 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ . При охолодженні абрикосів ( $W = 0,874$ , висота шару 60...65 мм) повітрям вимушеної конвекції, теплопровідність в  $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$  і температуропровідність в  $\text{м}^2/\text{с}$  при  $1 < w < 10 \text{ м/с}$  і  $T_{нов} = 273 \text{ К}$

$$\lambda = 0,482 + 0,189 \cdot w, \quad (13.59)$$

$$a \cdot 10^8 = 19,1 + 7,621 \cdot w. \quad (13.60)$$

Густина заморожених абрикосів ( $940 \text{ кг/м}^3$ ) менша, ніж свіжих ( $1000 \text{ кг/м}^3$ ). Теплоємність абрикосів ( $W = 0,854$ ) при температурі нижче криоскопічної дорівнює  $1930 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

Теплопровідність шару абрикосів в киплячому шарі ( $\rho_{\phi} = 997 \text{ кг/м}^3$ ) дорівнює  $1,23 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$

Таблиця 13.47

**Ентальпія в кДж/кг абрикосів і вишні**

| Плоди            | W     | Температура, К |      |      |       |       |       |       |       |
|------------------|-------|----------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |       | 253            | 258  | 263  | 268   | 273   | 283   | 293   | 303   |
| Абрикоси і вишні | –     | 0              | 20,5 | 49,8 | 116,0 | 236,1 | 261,3 | 307,3 | –     |
| Абрикоси         | 0,263 | 66,8           | –    | 90,1 | –     | 113,8 | 138,2 | 163,4 | 188,9 |

**13.2.6. Кизил**

Густина кизилу дорівнює  $1094 \text{ кг/м}^3$ , а об'ємна маса ( $\text{кг/м}^3$ ) в залежності від висоти шару при  $15 < H < 55 \text{ см}$

$$\rho_n = 778 + 0,775 \cdot H. \quad (13.61)$$

Насипна шпаруватість кизилу (%) в залежності від висоти шару при  $15 < H < 55 \text{ см}$ :

$$S = 28,89 - 0,0725 \cdot H. \quad (13.62)$$

**Хімічний склад (%) сухих речовин плодів кісточкових культур і  
їх теплоємність**

| Плоди    | Білки | Вуглеводи | Клітковина | Кислоти | Зола | $c_{ср}$<br>Дж/(кг·К) |
|----------|-------|-----------|------------|---------|------|-----------------------|
| Сливи    | 6,1   | 76,1      | 3,8        | 10,0    | 3,9  | 1391                  |
| Абрикоси | 6,3   | 73,9      | 5,6        | 9,1     | 5,0  | 1385                  |
| Персики  | 6,7   | 77,0      | 6,7        | 5,2     | 4,4  | 1397                  |
| Вишні    | 5,5   | 77,9      | 3,4        | 9,0     | 4,1  | 1390                  |
| Черешні  | 7,3   | 82,0      | 2,0        | 5,3     | 3,3  | 1404                  |
| Кизил    | 6,7   | 64,7      | 10,0       | 13,3    | 5,3  | 1377                  |

Теплоємність Дж/(кг·К) плодів кісточкових культур при  $0 < W < 1$  і  $T=293$  К

$$c = 1391 + 2769 \cdot W. \quad (13.63)$$

### 13.2.7. Енергетична цінність кісточкових плодів та виробів з них

Таблиця 13.49

**Енергетична цінність кісточкових плодів та виробів з них**

| Продукт                         | $E_c$ , кДж/кг |
|---------------------------------|----------------|
| Слива свіжа                     | 1800           |
| Слива сушена (чорнослив)        | 11050          |
| Варення зі слив                 | 11840          |
| Консерви:                       |                |
| Пюре зі слив зі ксилітом        | 1460           |
| Пюре зі слив з рисовим борошном | 3310           |
| Сік сливовий                    | 2720           |
| Компот зі сливи Угорка          | 4100           |
| Компот зі сливи Ренклюд         | 3810           |
| Компот сливовий з ксилітом      | 2430           |
| Джем сливовий дієтичний         | 9330           |
| Мідії з чорносливом             | 4440           |
| Пюре із чорносливу              | 4600           |
| Вишня свіжа                     | 2050           |
| Вишня сушена                    | 11970          |
| Консерви:                       |                |
| Компот вишневий                 | 4230           |
| Сік вишневий                    | 2220           |
| Сік вишневий з сорбітом         | 2550           |

| <b>Продукт</b>                         | <b>Ец, кДж/кг</b> |
|--|-------------------|
| Компот вишневий з ксилітом             | 3510              |
| Пюре з яблука і вишні                  | 3770              |
| Черешня свіжа                          | 2180              |
| Консерви:                              |                   |
| Компот з черешень                      | 3510              |
| Черешня в черешневому соку             | 1800              |
| Компот черешневий з ксилітом           | 2510              |
| Сік черешневий                         | 2890              |
| Персики свіжі                          | 1840              |
| Персики сушені                         | 10290             |
| Консерви:                              |                   |
| Компот «Персики половинками»           | 3510              |
| Компот «Персики цілі»                  | 3600              |
| Сік персиковий                         | 2720              |
| Персики в персиковому соку             | 1590              |
| Абрикоси свіжі                         | 1920              |
| Абрикоси сушені (урюк)                 | 11630             |
| Абрикоси сушені (курага)               | 11380             |
| Консерви:                              |                   |
| Компот абрикосовий                     | 3530              |
| Сік абрикосовий                        | 2340              |
| Повидло абрикосове                     | 10130             |
| Пюре з абрикос                         | 3180              |
| Фруктовий суп із абрикос               | 4850              |
| Абрикоси в абрикосовому соку з м'якоті | 1590              |
| Напій абрикосово-молочний              | 2720              |
| Кизил свіжий                           | 1880              |
| Варення з кизилу                       | 11440             |

### 13.2.8. Тепломасообмінні характеристики кісточкових

Таблиця 13.50

#### Випарна здатність

| <b>Продукт</b> | <b>Місяць</b> | <b><math>\varepsilon_k</math></b> |
|----------------|---------------|-----------------------------------|
| Сливи          | серпень       | 0,02                              |
| Абрикоси       | червень       | 0,21                              |
| Персики        | серпень       | 0,25                              |
| Вишня, черешня | червень       | 0,18                              |

Теплота дихання сливи при  $t = 5^\circ\text{C}$  складає 33,5 Вт/т. Коефіцієнт

транспірації сливи  $K_t = 0,11 - 0,12$ , персиків  $K_t = 0,49 - 0,53$ .

### 13.3. Плоди субтропічних культур

#### 13.3.1. Мандарини

При температурі нижче криоскопічної теплоємність мандарин ( $W = 0,873$ ) становить  $2090 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ . Густина мандаринного соку ( $n = 0,127$ ) дорівнює  $1053 \text{ кг}/\text{м}^3$ , а свіжого віджатого соку –  $1035,2 \dots 1047,7 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Дійсна густина ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) мандаринового соку і мандарин при  $0 < W < 1$  і  $T \approx 293 \text{ К}$

$$\rho_i = 1417 - 419 \cdot W. \quad (13.63)$$

Об'ємну теплоємність в  $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$  моноліту мандаринів і мандаринового соку при  $0 < W < 1$  і  $T = 293 \text{ К}$

$$c\rho = 1965 + 3390 \cdot W - 1168 \cdot W^2 \quad (13.64)$$

Фізичні показники порошку із мандаринових вичавок приведені в таблиці 13.24

#### 13.3.2. Лимони

Густина лимонів складає  $930, 1030 \dots 1169 \text{ кг}/\text{м}^3$ , а їх об'ємна маса  $769 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Шпаруватість шару лимонів дорівнює  $17,3 - 42,0\%$ . Теплоємність в  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$  лимонів при  $0 < W < 1$

$$c = 1520 + 2667 \cdot W. \quad (13.64)$$

Теплоємність лимонів ( $W = 0,893$ ) при температурі нижче криоскопічної складає  $1952 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .

Вміст газів в лимонах складає від  $4,2$  до  $30,7\%$  (сорт Новогрузинський). Теплопровідність в  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  шару лимонів, покладених у вигляді прямокутного паралелепіпеда висотою  $14$  і шириною  $50 \text{ см}$  при шпаруватості шару  $42\%$ ,

при тепловому потоці, спрямованому вверху,  $T = 295 \text{ К}$  і  $\Delta T = 0 - 24 \text{ К}$

$$\lambda = 0,240 + 0,0050\Delta T, \quad (13.65)$$

при тепловому потоці, спрямованому вниз,  $T = 295 \text{ К}$  і  $\Delta T = 0 - 24 \text{ К}$

$$\lambda = 0,245 + 0,005\Delta T. \quad (13.66)$$

ТФХ висушеного порошку лимона дорівнюють:  $\rho_n - 664 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $c - 1520 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ,  $\lambda - 0,053 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ,  $a - 4,75 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ . Густина масла лимона при

$T = 293 \text{ K}$  складає 858 – 868, а солодкого лимону – 850 – 865  $\text{кг/м}^3$ .

Таблиця 13.51

**Теплофізичні характеристики лимонів**

| $W$         | $T, \text{ K}$ | $\rho_{\phi}, \text{ кг/м}^3$ | $c, \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ | $\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ | $a\cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ | Прим.             |
|-------------|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------|
| 0,78...0,79 | 98             | –                             | 3735                              | 0,44                                   | –                                   | Плоди<br>морожені |
| 0,881       | –              | 1072                          | 3860                              | 0,58                                   | 14,0                                | –                 |
| 0,918       | 301            | 930                           | 3952                              | 0,525                                  | 14,25                               | –                 |
| 0,899       | 301            | 1000                          | 3898                              | 0,49                                   | 12,6                                | Солодкий<br>лимон |
| 0,93        | 296            | –                             | –                                 | 0,83                                   | –                                   | –                 |
| 0,93        | 313            | –                             | –                                 | –                                      | 10,7                                | –                 |

**Лимонний сік.** Густина свіжого лимонного соку дорівнює 1030...1045,6  $\text{кг/м}^3$ . Густина лимонного соку ( $T \approx 293 \text{ K}$ ) при  $n = 0,0695, 0,118$  і  $0,1433$  складає відповідно 1028, 1048, 1058  $\text{кг/м}^3$ . Дійсна густина ( $\text{кг/м}^3$ ) лимонного соку і лимонів при  $0 < W < 1$  і  $T \approx 293 \text{ K}$  має вигляд

$$\rho_i = 1404 - 406 \cdot W. \quad (13.67)$$

Об'ємна теплоємність в  $\text{кДж/(м}^3\cdot\text{K)}$  лимонного соку і моноліту лимонів у вигляді:

$$c\rho = 1866 + 3482 \cdot W - 1161 \cdot W^2. \quad (13.68)$$

**13.3.3. Апельсини**

З збільшенням товщини шкірки густина ( $\text{кг/м}^3$ ) плоду при  $3,0 < \delta < 9,6 \text{ мм}$

$$\rho_{\phi} = 1054 - 27,45 \cdot \delta. \quad (13.69)$$

Таблиця 13.52

**Густина і теплопровідність плодів апельсин**

| $d_{\text{екв}}, \text{ см}$           | 7,20  | 7,60  | 8,00  | 8,20  | 8,40  | 8,92  | 9,40  |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\rho_{\phi}, \text{ кг/м}^3$          | 895   | 910   | 919   | 881   | 909   | 791   | 890   |
| $\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ | 0,291 | 0,315 | 0,318 | 0,268 | 0,306 | 0,223 | 0,290 |

Об'ємна маса плодів складає 768  $\text{кг/м}^3$ , а шпаруватість шару – від 17,4 до 19,2%. Теплоємність в  $\text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$  плодів при  $0 < W < 1$

$$c = 1520 + 2667 \cdot W. \quad (13.69)$$

Таблиця 13.53

**Ентальпія в кДж/кг плодів апельсинів ( $W = 0,807$ )**

|                          |       |       |       |       |        |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| <b><math>T, K</math></b> | 243   | 253   | 258   | 263   | 273    |
| <b><math>h</math></b>    | 20,10 | 43,96 | 60,26 | 83,32 | 353,38 |

Теплоємність в Дж/(кг·К) плодів при температурі нижче криоскопічної при  $W = 0,81$

$$c = -221,9 - \frac{66992}{T_v - 273}. \quad (13.70)$$

Залежність теплопровідності в Вт/(м·К) плоду від товщини шкірки:

при  $\delta < 7,7$  мм

$$\lambda = 0,495 - 0,0368 \cdot \delta, \quad (13.71)$$

при  $3,0 < \delta < 9,6$  мм

$$\lambda = 0,406 - 0,0209 \cdot \delta. \quad (13.72)$$

Залежність теплопровідності в Вт/(м·К) плоду від його густини при  $3,0 < \delta < 9,6$  мм і  $790 < \rho_\phi < 971$  кг/м<sup>3</sup>

$$\lambda = 0,0076 \cdot \rho_\phi - 0,396. \quad (13.73)$$

Таблиця 13.54

**Теплофізичні характеристики апельсинів**

| <b>Зразок</b> | <b><math>W</math></b> | <b><math>\rho_\phi, \text{кг/м}^3</math></b> | <b><math>c, \text{Дж/(кг·К)}</math></b> | <b><math>\lambda, \text{Вт/(м·К)}</math></b> | <b><math>a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}</math></b> |
|---------------|-----------------------|--|---|--|---|
| Плід          | 0,82                  | 887  | 3676                                    | 0,48   | 14,7  |
| Плід          | 0,85                  | 878  | 3768                                    | 0,415  | 12,5  |
| Плід          | 0,58                  | 980  | 2973                                    | 0,43   | 14,6  |
| Суша речовина | 0                     | 664  | 1520                                    | 0,053  | 4,75  |
| М'якоть       | 0,859                 | 1030   | 3787                                    | 0,58   | 14,9  |

М'якоть апельсинів. Густина м'якоті від 1008 до 1074 кг/м<sup>3</sup>

Таблиця 13.55

**Теплофізичні характеристики м'якоті апельсинів сорту Валенсія**

| <b><math>W</math></b> | <b><math>\rho_\phi, \text{кг/м}^3</math></b> | <b><math>c, \text{Дж/(кг·К)}</math></b> | <b><math>\lambda, \text{Вт/(м·К)}</math></b> | <b><math>a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}</math></b> |
|-----------------------|--|---|--|---|
| 0,851                 | 1011   | 3800                                    | 0,457  | 11,9  |
| 0,891                 | 994  | 3900                                    | 0,469  | 12,1  |
| 0,928                 | 980  | 3990                                    | 0,481  | 12,3  |

**Шкірка апельсинів.** На ТФХ шкірки суттєвий вплив справляє величина пористості ( $P = 39,6 \dots 48,6\%$ ) і відносно мала масова частка вологи (табл. 13.56 і 13.57).

Таблиця 13.56

**Масова частка вологи в елементах плоду апельсина сорту Валенсія**

| Елемент | Мінімум | Максимум | Середнє |
|---------|---------|----------|---------|
| Плід    | 0,831   | 0,899    | 0,865   |
| Шкірка  | 0,684   | 0,816    | 0,751   |
| М'якоть | 0,851   | 0,928    | 0,891   |

Густина шкірки дорівнює  $780 \text{ кг/м}^3$ . Теплоємність шкірки при  $W = 0,684$ ,  $0,751$  і  $0,816$  відповідно складає  $3380$ ,  $3550$  і  $3710 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

Таблиця 13.57

**Теплопровідність шкірки плодів апельсинів сорту Валенсія**

| Показник                               | Зразок |      |       |      |      |      |
|--|--------|------|-------|------|------|------|
|  | 1-й    | 2-й  | 3-й   | 4-й  | 5-й  | 6-й  |
| $T, \text{ К}$                         | 298    | 296  | 296   | 294  | 293  | 294  |
| $\delta, \text{ мм}$                   | 4,09   | 4,19 | 4,27  | 4,01 | 3,10 | 3,30 |
| $\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | 0,24   | 0,20 | 0,215 | 0,20 | 0,23 | 0,22 |

**Апельсиновий сік.** Густина ( $\text{кг/м}^3$ ) соку при  $0 < n < 0,70$  і  $T = 294 \text{ К}$

$$\rho_{\phi} = 994,4 + 307 \cdot n + 282 \cdot n^2 \quad (13.74)$$

Таблиця 13.58

**Ентальпія в кДж/кг апельсинового соку**

|                |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
|----------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $T, \text{ К}$ | 243  | 253  | 258  | 263  | 268   | 273   | 278   | 283   | 293   | 303   |
| $h$            | 16,8 | 38,5 | 55,7 | 75,4 | 118,9 | 356,7 | 376,8 | 400,7 | 437,5 | 479,0 |

Ентальпія апельсинового соку ( $W = 0,890$ ) при криоскопічній температурі ( $T_k = 271,98 \text{ К}$ ) складає  $369,60 \text{ кДж/кг}$ . Теплоємність в  $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$  соку при  $0,3 < W < 1$  і  $T = 298 \text{ К}$

$$c = 1510 + 2679 \cdot W. \quad (13.75)$$



Таблиця 13.59

**Теплофізичні характеристики апельсинового соку**

| $n$   | $T, K$ | $\rho_{\phi}, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$ | $\alpha \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|-------|--------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|
| –     | 255    | 1009                         | 4606                             | 2,39                                  | 51,4                                     |
| –     | 293    | 1043                         | 3894                             | 0,55                                  | 13,6                                     |
| 0,109 | 293    | 1044                         | 3882                             | 0,56                                  | 13,8                                     |

**Апельсиновий сироп.** Густина в  $\text{кг/м}^3$  і теплоємність в  $\text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$  сиропу при  $293 < T < 343 \text{ K}$

$$\rho_{\phi} = 1549 - 0,67T, \quad (13.76)$$

$$c = 1820 + 3,52T. \quad (13.77)$$

Об'ємна теплоємність в  $\text{кДж/(м}^3\cdot\text{K)}$  сиропу при  $293 < T < 343 \text{ K}$

$$c\rho = 2819 + 4,23 \cdot T - 0,00236 \cdot T^2. \quad (13.78)$$

Таблиця 13.60

**Теплопровідність і температуропровідність апельсинового сиропу**

| ТФХ                                      | Температура, K |       |       |       |       |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|
|  | 303            | 313   | 323   | 333   | 343   |
| $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$    | 0,406          | 0,460 | 0,506 | 0,540 | 0,563 |
| $\alpha \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ | 10,4           | 11,75 | 12,8  | 13,5  | 14,1  |

Теплоємність плодів субтропічних культур при  $T = 293 \text{ K}$

$$c = 1387 + 2800 \cdot W. \quad (13.78)$$

**13.3.4. Енергетична цінність субтропічних культур та виробів з них**

Таблиця 13.61

**Енергетична цінність субтропічних культур та виробів з них**

| Продукт             | $E_c, \text{кДж/кг}$ |
|---------------------|----------------------|
| Мандарини свіжі     | 1590                 |
| Консерви:           |                      |
| Сік мандариновий    | 1720                 |
| Компот мандариновий | 3100                 |
| Лимони свіжі        | 1300                 |
| Сік лимоновий       | 1050                 |
| Апельсини свіжі     | 1590                 |
| Сік апельсиновий    | 2300                 |
| Грейпфрути свіжі    | 1460                 |
| Сік грейпфрутовий   | 1300                 |

### 13.3.5. Тепломасообмінні характеристики цитрусових

Випарна здатність апельсинів та мандаринів в березні складає відповідно, 0,07 та 0,1. Теплота дихання апельсинів при  $t = 3,3; 5$  та  $8,9^{\circ}\text{C}$ , дорівнює 13,0; 15,3 та 21 Вт/т. Коефіцієнт транспірації лимонів коливається від 130 до 230 в середньому 186, апельсинів від 25 до 225, в середньому 117 мт/(кг·с·МПа).

## 13.4. Ягоди і продукти із них

### 13.4.1. Виноград

Таблиця 13.62

Густина ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) виноградних грон і їх окремих елементів при  $T=293\text{ K}$

| Сорт винограду | Соки ягід     | Грона         | Ягоди         | Гребни        | Насіння       | Шкірочка  |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|
| Ріслінг        | 1075–<br>1083 | 1071–<br>1086 | 1077–<br>1087 | 1037–<br>1064 | 1130–<br>1190 | 1115–1130 |
| Аліготе        | 1070–<br>1087 | 1065–<br>1090 | 1072–<br>1090 | 1041–<br>1069 | 1160–<br>1190 | 1115–1130 |
| Ркацітелі      | 1075–<br>1087 | 1075–<br>1091 | 1078–<br>1092 | 1043–<br>1076 | 1170–<br>1230 | 1116–1122 |

Теплоємність винограду в інтервалі температур  $273 - 373\text{ K}$  складає  $3768\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ . Ефективні теплопровідність  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$  і температуропровідність  $\text{м}^2/\text{с}$  винограду ( $W = 0,834$ ) висотою шару  $60\dots65\text{ мм}$  при його охолодженні повітрям ( $T = 273\text{ K}$ ) вимушеної конвекції при  $1 < w < 10\text{ м}/\text{с}$

$$\lambda = 0,061 + 0,251 \cdot w, \quad (13.79)$$

$$a \cdot 10^8 = 2,0 + 12,207w. \quad (13.80)$$

Теплоємність ізюму ( $W = 0,245$ ) дорівнює  $1970\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ .

Теплоємність в  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$  винограду при температурі нижче криоскопічної  $W = 0,83$

$$c = -1122 - \frac{104658,2}{T_v - 273}. \quad (13.81)$$

Таблиця 13.63

Теплофізичні характеристики винограду і виробів із нього при  $T \approx 293 \text{ К}$ 

| Продукт | $W$   | $\rho_{\phi}$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $c$ ,<br>Дж/(кг·К) | $c\rho$ ,<br>кДж/(м <sup>3</sup> ·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|---------|-------|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Ягоди   | 0,795 | 1068                                 | 3620               | 3866                                 | 0,51                    | 13,1                                  |
| Ягоди   | 0,836 | 1040                                 | 3840               | 3994                                 | 0,52                    | 13,1                                  |
| Сік     | 0,847 | 1062                                 | 3810               | 4046                                 | 0,54                    | 13,2                                  |
| Мезга   | –     | 1294                                 | 3898               | 5044                                 | 0,62                    | 12,3                                  |

**Мезга.** Густина в кг/м<sup>3</sup>, об'ємна маса в кг/м<sup>3</sup> і пористість (%) мезги в залежності від вмісту в ній соку  $C$  для промислових сортів винограду описуються при  $35 < C < 67$  дал/Т формулами:

$$\rho_{\phi} = 1159 - 1,03 C, \quad (13.82)$$

$$\rho_n = 510 + 7,57 C, \quad (13.83)$$

$$P_{\phi} = 60 - 0,8 C. \quad (13.84)$$

Таблиця 13.64

## Теплоємність мезги

| $n_{\text{цук}}$ | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 |
|------------------|------|------|------|------|------|
| $c$ , Дж/(кг·К)  | 3601 | 3475 | 3391 | 3308 | 3182 |

Таблиця 13.65

## Теплопровідність в Вт/(м·К) мезги винограду

| $n_{\text{цук}}$ | Температура, К |        |        |       |       |
|------------------|----------------|--------|--------|-------|-------|
|                  | 273            | 293    | 313    | 333   | 353   |
| 0,10             | 0,547          | 0,593  | 0,628  | 0,651 | 0,663 |
| 0,15             | 0,523          | 0,5815 | 0,616  | 0,640 | 0,651 |
| 0,20             | 0,512          | 0,588  | 0,593  | 0,616 | 0,640 |
| 0,25             | 0,500          | 0,547  | 0,5815 | 0,605 | 0,616 |
| 0,30             | 0,477          | 0,529  | 0,558  | 0,593 | 0,605 |

Таблиця 13.66

## Теплофізичні характеристики мезги винограду сорту Мускат білий

| ТФХ                                | Температура, К |       |       |       |
|------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|
|                                    | 273            | 293   | 313   | 333   |
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup>  | 1297           | 1294  | 1288  | 1286  |
| $c$ , Дж/(кг·К)                    | 3863           | 3898  | 3890  | 3894  |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,565          | 0,623 | 0,664 | 0,697 |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 11,1           | 12,3  | 13,25 | 13,9  |

Виноградний сік. Густина (кг/м<sup>3</sup>) виноградного соку  
при  $0,171 < n < 0,217$  і  $293 < T < 363$  К

$$\rho_{\phi} = 1088 + 522 \cdot n - 0,38 \cdot T, \quad (13.85)$$

при  $0,15 < n < 0,75$  і  $273 < T < 343$  К

$$\rho_{\phi} = 1037 + 686 \cdot n - 0,25 \cdot T - 0,42 \cdot n \cdot T. \quad (13.86)$$

Таблиця 13.67

**Теплофізичні характеристики соку із винограду сорту Мускат білий**

| ТФХ                                     | Температура, К |       |       |       |       |       |       |
|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | 273            | 283   | 293   | 303   | 313   | 323   | 333   |
| $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup>       | 1117           | 1114  | 1111  | 1107  | 1110  | 1098  | 1091  |
| $c$ , Дж/(кг·К)                         | 3814           | 3798  | 3793  | 3786  | 3785  | 3785  | 3789  |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)                    | 0,509          | 0,531 | 0,566 | 0,590 | 0,604 | 0,613 | 0,626 |
| $\alpha \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 11,1           | 11,7  | 12,3  | 12,8  | 13,25 | 13,6  | 13,9  |

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) виноградного соку і моноліту винограду при  $0 < n < 1$  і  $273 < T < 343$  К

$$c\rho = 4343 - 16 \cdot n - 1,0 \cdot T - 0,75 \cdot T \cdot n - 1910 \cdot n^2 + 1,17 n^2 \cdot T. \quad (13.87)$$

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с виноградного соку при  $273 < T < 298$  К і  $0,20 < n < 0,60$

$$\alpha \cdot 10^8 = -11,47 - 5,5 \cdot n + 0,09 \cdot T - 0,1 \cdot n \cdot (T - 273). \quad (13.88)$$

**Виноградний сік при  $T < T_k$ .** Ентальпія виноградного соку ( $W = 0,847$ ) при криоскопічній температурі ( $T_k = 271,08$  К) складає 350,99 кДж/кг. Теплопровідність виноградного соку з пониженням температури збільшується (табл. 12.68). Поки сік залишається рідким, його теплопровідність незначно збільшується, а в процесі кристалізації – помітно.

Таблиця 13.68

**Теплопровідність в Вт/(м·К) виноградного соку**

| $n$  | Температура, К |       |       |       |       |
|------|----------------|-------|-------|-------|-------|
|      | 273            | 263   | 253   | 243   | 233   |
| 0,10 | 0,451          | 0,452 | 0,593 | 0,815 | 1,236 |
| 0,20 | 0,418          | 0,420 | 0,502 | 0,700 | 0,952 |
| 0,30 | 0,300          | 0,305 | 0,402 | 0,479 | 0,720 |
| 0,40 | 0,282          | 0,280 | 0,349 | 0,462 | 0,650 |

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с в інтервалі температури 233 – 268 К  
при  $n = 0,10$

$$a \cdot 10^8 = 143,4 - 0,533 \cdot T, \quad (13.89)$$

при  $n = 0,20$

$$a \cdot 10^8 = 128,4 - 0,477 \cdot T, \quad (13.90)$$

при  $n = 0,30$

$$a \cdot 10^8 = 94,1 - 0,349 \cdot T, \quad (13.91)$$

при  $n = 0,40$

$$a \cdot 10^8 = 53,6 - 0,198 \cdot T. \quad (13.92)$$

**Порошок із виноградних кісточок.** Фізичні показники порошку із виноградних кісточок приведені в таблиці 13.24. Теплопровідність порошку із виноградних кісточок визначається формулою (13.21)

Теплоємність в Дж/(кг·К) сухої речовини порошку із виноградних кісточок при  $291 < T < 354$ .

$$c_{cp} = 1098 + 1360 \cdot M + (0,95 + 1,9 \cdot M) (T - 291) \quad (13.93)$$

де  $M$  – масова частка масла у виноградних кісточках.

### 13.4.2. Смородина

Густина свіжої смородини складає 1070, а замороженої – 950 кг/м<sup>3</sup>.

Об'ємна маса червоної і чорної смородини складає від 150 до 250 і 680 кг/м<sup>3</sup>. В ягодах смородини міститься від 3,4 до 8,2% повітря (по об'єму). Теплоємність свіжої чорної і червоної смородини однакова і в залежності від масової частки вологи складає 3642...3893 Дж/(кг·К).

При температурі нижче криоскопічної теплоємність смородини дорівнює: при  $W = 0,829 - 1884$ , при  $W = 0,848 - 1926$  і при  $W = 0,874 - 1884$  Дж/(кг·К). В інтервалі температур 263 – 258 К при густині чорної смородини (без плодоніжок) 640 кг/м<sup>3</sup> її теплопровідність дорівнює 0,31 Вт/(м·К). Густина свіжого соку червоної і чорної смородини відповідно складає 1047 і 1060 кг/м<sup>3</sup>. Густина соку із червоної і чорної смородини при  $T = 288$  К відповідно дорівнює 1036 і

1039 кг/м<sup>3</sup>. Густина в кг/м<sup>3</sup> соку із чорної і червоної смородини при температурі замерзання при  $0,135 < n < 0,537$ .

$$\rho_{\phi} = 994 + 472 \cdot n. \quad (13.94)$$

### 13.4.3. Журавлина

При температурі нижче криоскопічної теплоємності журавлини ( $W = 0,874$ ) дорівнює 1926 Дж/(кг·К).

Таблиця 13.69

#### Фізичні показники мезги і соку із ягід

| Ягоди     | Мезга  |                                   |                                 | Сік    |                                   |                                 |
|-----------|--------|-----------------------------------|---------------------------------|--------|-----------------------------------|---------------------------------|
|           | $W$    | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho_{me}$ , кг/м <sup>3</sup> | $W$    | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho_{me}$ , кг/м <sup>3</sup> |
| Журавлина | 0,8513 | 1064                              | 1432                            | 0,8857 | 1052                              | 1452                            |
| Брусниця  | 0,8397 | 1062                              | 1387                            | 0,8818 | 1048                              | 1404                            |

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) журавлиного соку і моноліту журавлини при  $0 < W < 1$  і  $T = 293$  К:

$$c\rho = 1985 + 3474 \cdot W - 1280 \cdot W^2. \quad (13.95)$$

### 13.4.4. Агрис

Густина агрису складає 1040, а об'ємна маса 150 – 400 кг/м<sup>3</sup>. Розрахункове значення теплоємності сухих речовин агрису приймають рівним 1384 Дж/(кг·К).

Таблиця 13.70

#### Теплоємність агрису

| Показник        | $T > T_k$ |       |       |       | $T > T_k$ |       |       |
|-----------------|-----------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|                 | $W$       | $W$   | $W$   | $W$   | $W$       | $W$   | $W$   |
| $c$ , Дж/(кг·К) | 0,883     | 0,889 | 0,900 | 0,883 | 0,889     | 0,900 | 0,900 |
|                 | 3770      | 3768  | 3850  | 1930  | 1926      | 1930  | 1926  |

Таблиця 13.71

#### Теплопровідність агрису

| Ягоди                      | $T$ , К   | $\rho_{\phi}$ , кг/м <sup>3</sup> | $\lambda$ , Вт/(м·К) |
|----------------------------|-----------|-----------------------------------|----------------------|
| Різних розмірів, сухі      | 262 – 254 | 580                               | 0,28                 |
| Різних розмірів, зволожені | 259 – 253 | 630                               | 0,33                 |

### 13.4.5. Малина

Густина малини ( $W = 0,806 - 0,822$ ) складає  $950 \dots 1030 \text{ кг/м}^3$ , а об'ємна маса –  $350 \dots 650 \text{ кг/м}^3$ .

Розрахункове значення теплоємності сухих речовин дорівнює  $1388 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

Таблиця 13.72

Ентальпія в кДж/кг ягід (при  $T = 233 \text{ К } h = 0$ )

| Ягоди    | W    | Температура, К |       |       |       |        |        |        |        |        |
|----------|------|----------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
|          |      | 243            | 253   | 258   | 263   | 268    | 273    | 278    | 283    | 288    |
| Малина   | 82,7 | 22,19          | 42,72 | 59,45 | 80,81 | 119,75 | 342,50 | 360,08 | 378,92 | 397,76 |
| Чорниця  | 85,1 | 22,19          | 41,03 | 57,36 | 78,72 | 115,14 | 349,20 | 366,36 | 385,20 | 403,6  |
| Ожина    | 85,1 | 22,19          | 41,03 | 57,36 | 78,72 | 115,4  | 349,20 | 366,36 | 385,20 | 403,6  |
| Виноград | 79,3 | 24,70          | 55,27 | 75,37 | 98,39 | –      | 366,36 | –      | –      | –      |

Теплоємність малини  $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

$$c = 1380 + 2800 \cdot W. \quad (13.96)$$

При охолодженні шару малини ( $W = 0,846$ ) повітрям ( $T = 273 \text{ К}$ ) вільної конвекції теплофізичні характеристики дорівнюють:  $\rho_f = 492,5 \text{ кг/м}^3$ ,  $c = 3750 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda = 0,204 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $a = 10,93 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

При охолодженні шару малини (довжина  $230 - 290$ , ширина  $385 - 486$ , висота  $60 - 65 \text{ мм}$ ) повітрям вимушеної конвекції теплопровідність в  $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$  і температуропровідність в  $\text{м}^2/\text{с}$  при  $1 < w < 10 \text{ м/с}$  і  $T_{нов} = 273 \text{ К}$

$$\lambda = 0,147 + 0,268 \cdot w - 0,0129w^2, \quad (13.97)$$

$$a \cdot 10^8 = 6,56 + 14,756 \cdot w - 0,647 \cdot w^2. \quad (13.98)$$

Таблиця 13.73

Теплофізичні характеристики малини і виробів із неї

| Продукт | W     | $\rho_f, \text{ кг/м}^3$ | $c, \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$ |
|---------|-------|--------------------------|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| Ягоди   | 0,843 | 998                      | 3750                              | 0,49                                   | 13,1                                 |
| Сік     | 0,882 | 1046                     | 3894                              | 0,55                                   | 13,6                                 |
| Сік     | 0,882 | 1050                     | 3857                              | 0,56                                   | 13,8                                 |
| Начинка | –     | 1420                     | 2395                              | 0,339                                  | 9,9                                  |

Ентальпія малини ( $W = 0,885$ ) при криоскопічній температурі ( $T_k = 271,93 \text{ К}$ ) дорівнює  $369,37 \text{ кДж/кг}$ .

Для визначення теплоємності в Дж/(кг·К) ягід рекомендуються формули, які слушні при  $W = 0 - 1$  і  $T = 293$  К:

для брусниці і винограду, полуниці, лохини і черешні

$$c = 1402 + 2785 \cdot W, \quad (13.99)$$

для ожини, агрусу, і малини

$$c = 1384 + 2803 \cdot W, \quad (13.100)$$

для журавлини, обліпихи і смородини

$$c = 1367 + 2820 \cdot W. \quad (13.101)$$

### 13.4.6. Енергетична цінність ягід та виробів із них

Таблиця 13.74

#### Енергетична цінність ягід та виробів із них

| Продукт                             | Ец, кДж/кг |
|-------------------------------------|------------|
| Виноград свіжий                     | 2890       |
| Виноград сушений (родзинки)         | 11550      |
| Виноград сушений (кишмиш)           | 11670      |
| Компот з винограду                  | 3220       |
| Сік виноградовий                    | 3010       |
| Смородина свіжа                     | 1670       |
| Порічки білі свіжі                  | 1630       |
| Порічки червоні свіжі               | 1590       |
| Сік смородиновий                    | 1630       |
| Джем зі смородини                   | 11760      |
| Пюре яблучно-смородинове з ксилітом | 3390       |
| Агрис свіжий                        | 1840       |
| Малина свіжа                        | 1720       |
| Варення з малини                    | 11340      |
| Сік малиновий                       | 1590       |
| Брусниця свіжа                      | 1670       |
| Полуниці свіжі                      | 1720       |
| Сік з полуниці                      | 1510       |
| Варення з полуниці                  | 11800      |
| Полуниці подрібнені з цукром        | 4270       |



### 13.4.7. Тепломасообмінні характеристики ягід

Випарна здатність винограду «Шасла біла» в серпні складає 0,08; полуниці та малини в червні – 0,28; смородини та агрусу в червні – 0,14.

Теплота дихання малини при 5°C – 145; при 10°C – 284 Вт/т; суниці при 5°C – 72; при 15°C – 185 Вт/т.

Коефіцієнт транспірації винограду коливається від 21 до 254, в середньому  $K_t = 21$  мг/(кг·с·МПа).

## РОЗДІЛ 14. ЗЕРНО, КРУПИ

### 14.1. Злакові культури

#### 14.1.1. Пшениця

**Суша речовина зерна пшениці.** Істинна густина сухої речовини зерна пшениці складає приблизно  $1480 \text{ кг/м}^3$ . Густина сухої речовини різних сортів пшениці відрізняються незначно (таблиця 14.1).

Таблиця 14.1

#### Фізичні показники зерна пшениці

| Показник                   | W, % | Сорт      |                |           |
|----------------------------|------|-----------|----------------|-----------|
|                            |      | Цезіум 31 | Саратовська 29 | Безоста 1 |
| $\rho$ , $\text{кг/м}^3$   | 0    | 1440      | 1445           | 1454      |
| П, %                       |      | 2,7       | 2,4            | 1,8       |
| $\rho_u$ , $\text{кг/м}^3$ | 11,5 | 1424      | 1424           | 1424      |
| $\rho$ , $\text{кг/м}^3$   |      | 1403      | 1416           | 1420      |
| П, %                       |      | 1,5       | 0,6            | 0,3       |
| $\rho_n$ , $\text{кг/м}^3$ | 11,5 | 800       | 795            | 875       |
| S, %                       |      | 43        | 43,85          | 38,4      |

Таблиця 14.2

#### Хімічний склад сухої речовини пшениці

| Пшениця                | Склад, % |      |           |            |      | С <sub>ср</sub> ,<br>Дж/(кг·К) |
|------------------------|----------|------|-----------|------------|------|--------------------------------|
|                        | білок    | жир  | вуглеводи | клітковина | зола |                                |
| М'яка озима борошніста | 11,82    | 2,35 | 83,58     | 2,29       | 1,80 | 1464                           |
| М'яка озима скловидна  | 12,60    | 2,13 | 82,40     | 2,81       | 1,94 | 1463                           |
| М'яка яра склоподібна  | 15,54    | 2,33 | 79,06     | 3,04       | 1,98 | 1470                           |
| Тверда яра             | 15,49    | 2,82 | 78,91     | 2,77       | 1,98 | 1470                           |

**Характеристика одиничної зернівки.** З підвищенням вологості зернівки пшениці істинна густина її зменшується і значення її несуттєво залежить від сорту пшениці.

Густина зернівки пшениці збільшується по мірі переходу до вищої фази зрілості. При молочній, восковій і повній фазах зрілості відповідно, в середньому, складає  $1150$ ,  $1240$  і  $1300 \text{ кг/м}^3$ .

Таблиця 14.3

Густина \* (кг/м<sup>3</sup>) зерновки пшениці та її анатомічних частин

| Пшениця    | Зерновка                            | Ендосперм                           | Зародок                             | Оболочки                           |
|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Озима      | $\frac{1374}{1315 \text{ и } 1415}$ | $\frac{1472}{1444 \text{ и } 1513}$ | $\frac{1275}{1154 \text{ и } 1318}$ | $\frac{1106}{890 \text{ и } 1220}$ |
| Яра м'яка  | $\frac{1366}{1328 \text{ и } 1393}$ | $\frac{1471}{1431 \text{ и } 1501}$ | $\frac{1290}{1241 \text{ и } 1369}$ | $\frac{1066}{807 \text{ и } 1230}$ |
| Яра тверда | $\frac{1383}{1323 \text{ и } 1415}$ | $\frac{1482}{1440 \text{ и } 1511}$ | $\frac{1285}{1236 \text{ и } 1393}$ | $\frac{1115}{950 \text{ и } 1202}$ |

\* В чисельнику приведені середні значення, в знаменнику – мінімальні і максимальні.

Густина (кг/м<sup>3</sup>) зернівки пшениці різних сортів, типів і видів в залежності від вологості при  $11 < W < 20\%$  і умові, що  $P=0,9 + 0,22W$

$$\rho = 1464 - 7,7W \quad (14.1)$$

Густина зернівки пшениці зменшується не тільки з підвищенням вологості, але й температури, особливо при  $T > 308 \text{ K}$  (таблиця 14.4).

Таблиця 14.4

Зміна густини (кг/м<sup>3</sup>) зернівки пшениці в залежності від температури

| Сорт               | W, % | Температура, К |      |      |
|--------------------|------|----------------|------|------|
|                    |      | 308            | 318  | 328  |
| Білоцерківська 198 | 13,4 | 1358           | 1349 | 1323 |
|                    | 17,4 | 1334           | 1328 | 1313 |
|                    | 19,8 | 1310           | 1305 | 1300 |
| Безоста 1          | 13,5 | 1386           | 1382 | 1370 |
|                    | 17,0 | 1374           | 1368 | 1364 |
|                    | 19,6 | 1338           | 1332 | 1326 |

Густина зернівки пшениці зменшиться при збільшенні тривалості її гідротермічної обробки, і тим суттєвіше, чим вище температура води (таблиця 14.5).

По мірі збільшення ступеня луцення зернівки пшениці густина її збільшується (таблиця 14.6), оскільки при цьому видаляються покрови оболонки, густина яких менше густини ендосперму і зародку.

Таблиця 14.5

**Густина (кг/м<sup>3</sup>) зернівки пшениці сорту Лютесценс 758  
після нагрівання в воді**

| Температура води, К | Тривалість, хв |      |      |      |      |
|---------------------|----------------|------|------|------|------|
|                     | 0              | 15   | 30   | 45   | 60   |
| 313                 | 1300           | 1295 | 1290 | 1288 | 1275 |
| 323                 | 1300           | 1284 | 1275 | 1268 | 1263 |

Таблиця 14.6

**Фізичні показники пшениці і її продуктів переробки в крупу**

| Найменування                          | W, % | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | S, % |
|---------------------------------------|------|----------------------------|------------------------------|------|
| Ціле зерно                            | 12,9 | 1350                       | 790                          | 41,5 |
| Продукт після 2 – ї системи луцення   | 12,9 | 1390                       | 824                          | 40,7 |
| Те, же після 3 – ї системи шліфування | 13,0 | 1420                       | 779                          | 45,1 |
| Те же, після 5 – ї системи шліфування | 12,8 | 1410                       | 810                          | 42,5 |

Дані по теплоємності шару зерна пшениці, які викладено в наступному розділі, справедливі і для окремих зернівок. Теплоємність (Дж/(кг·К)) зернівок пшениці сортів Пиротрикс 28, Грекум 114 і Миронівська ювілейна

при  $0 < W_c < 7\%$  і  $238 < T < 328$  К

$$c = 913 - 43,2W_c + 1,9T + 0,22W_c T \quad (14.2)$$

при  $7 < W_c < 20\%$  і  $238 < T < 328$  К і

при  $7 < W_c < 38\%$  і  $273 < T < 328$  К

$$c = 665 - 16,5W_c + 2,2T + 0,20W_c T \quad (14.3)$$

Теплопровідність зернівки пшениці з підвищенням вологості від 0..5 до 10..15% збільшується, а при подальшому підвищенні - зменшується (таблиця 14.7).

Таблиця 14.7

**ТФХ зернівки пшениці при температурі 293К**

| Показник                           | Вологість, W% |       |       |       |       |       |        |
|------------------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                                    | 5             | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    | 35     |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,388         | 0,436 | 0,429 | 0,423 | 0,416 | 0,410 | 0,4035 |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | –             | –     | 16,55 | 15,3  | 14,05 | 12,8  | 11,55  |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>         | –             | –     | 1335  | 1285  | 1253  | 1245  | 1255   |

Теплопровідність (Вт/(м·К)) зернівки пшениці сортів Пиротрикс 28, Грекум 114 и Миронівська ювілейна в залежності від вологості при  $4 < W_c < 14 \%$  і  $273 < T < 328 \text{ K}$

$$\lambda \cdot 10^3 = 2T + 0,2W_c T - 49W_c - 246 \quad (14.4)$$

при  $14 < W_c < 38 \%$  і  $273 < T < 328 \text{ K}$

$$\lambda \cdot 10^3 = 29T - 0,1W_c T + 28W_c - 400,7 \quad (14.5)$$

Теплопровідність (м<sup>2</sup>/с) зернівки пшениці має вигляд:

для рядової при  $11 < W_c < 28 \%$

$$a \cdot 10^8 = 15,3 - 0,167W_c \quad (14.6)$$

для сортів Пиротрикс 28, Грекум 114 и Миронівська ювілейна:

при  $12 < W_c < 38 \%$  і  $273 < T < 328 \text{ K}$

$$a \cdot 10^8 = 0,45 W_c + 0,115T - 13,4 - 0,0024 W_c T \quad (14.7)$$

Зі збільшенням еквівалентного діаметру зернівки пшениці від 2 до 3,6..3,8 мм щільність зерна підвищується, а при більших діаметрах зменшується.

Таблиця 14.8

**Фізичні показники насипу пшениці ( $W = 9,8\%$ )**

| Тип    | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | S, % |
|--------|----------------------------|------------------------------|------|
| Тверда | 1290                       | 773                          | 40,1 |
| М'яка  | 1320                       | 797                          | 39,6 |

З підвищенням вологості з 10 до 30% натура зерна зменшується від 805 до 650 кг/м<sup>3</sup>, а при зволоженні зерна більше 30..35% – збільшується и при вологості 35, 40 и 45% відповідно складає 638, 652 и 682 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 14.9

**Ущільнення (%) зерна пшениці в залежності від тривалості струшування.**

| W, % | Тривалість, год |     |     |     |     |
|------|-----------------|-----|-----|-----|-----|
|      | 1               | 2   | 3   | 4   | 5   |
| 14,4 | 7               | 8   | 8,5 | 8,5 | 8,5 |
| 20,6 | 7               | 7,5 | 8   | 8   | 8   |
| 33,4 | 8,5             | 9   | 9,5 | 9,5 | 9,5 |

Між шпаруватістю (%) і вологістю зерна пшениці справедлива рівність:

при  $10 < W_c < 20 \%$

$$S = 36,5 + 0,5 W_c \quad (14.8)$$

Різниця між значеннями теплоємності лушеного і не лушеного зерна пшениці невелика і зменшується з підвищенням температури зерна (таблиця .14.10)

Таблиця 14.10

**Теплоємність в Дж/(кг·К) зерна пшениці при  $W = 15\%$ .**

| T, К      | Зерна     |        | Різниця, % |
|-----------|-----------|--------|------------|
|           | не лушене | лушене |            |
| 313 – 293 | 1528      | 1641   | 7,4        |
| 328 – 293 | 1943      | 1922   | 1,1        |
| 343 – 293 | 2056      | 2056   | 0,0        |

Теплоємність в Дж/(кг·К) зерна пшениці в залежності від визначних факторів :

при  $0 < W < 10 \%$  і  $243 < T < 333 \text{ К}$

$$c = 756 - 18,7W + 2,36T + 0,113 WT \quad (14.10)$$

при  $10 < W < 30 \%$  і  $243 < T < 333 \text{ К}$

$$c = 884 - 31,5W + 0,7T + 0,27 WT \quad (14.11)$$

Серед великої кількості формул для визначення теплопровідності найбільш надійними є:

при  $T = 287 \dots 323$ ,  $W = 5 \dots 22 \%$

$$\lambda = 0,087 + 0,0017W + 0,000169T \quad (14.12);$$

при  $T = 246 \dots 293$ ,  $W = 4 \dots 22 \%$

$$\lambda = A + BW \quad (14.13)$$

Таблиця 14.11

**Коефіцієнти А та В в формулі 14.13**

| T, К | A     | B10 <sup>5</sup> | T, К | A     | B10 <sup>5</sup> |
|------|-------|------------------|------|-------|------------------|
| 246  | 0,144 | 95               | 274  | 0,136 | 136              |
| 256  | 0,141 | 94               | 278  | 0,144 | 95               |
| 267  | 0,133 | 154              | 293  | 0,140 | 141              |

Таблиця 14.12

## Температуропровідність зерна пшениці

| Тип    | Показники                          | Вологість, % |      |      |      |
|--------|------------------------------------|--------------|------|------|------|
|        |                                    | 3            | 13   | 18   | 22   |
| Тверда | $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>       | 763          | 756  | –    | 740  |
|        | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 10,44        | 8,97 | –    | 8,28 |
| М'яка  | $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>       | 745          | 755  | 755  | 734  |
|        | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 10,42        | 8,86 | 8,61 | 8,25 |

Таблиця 14.13

## Температуропровідність зерна пшениці сорту Саратовська 29

| $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup><br>при $W=14,6\%$ | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |             | $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с |             |
|--|------------------------------------|-------------|------------------------------|------------------------------------|-------------|
|  | нагрівання                         | охолодження |                              | нагрівання                         | охолодження |
| 793  | 8,73                               | 8,83        | 704                          | 7,16                               | 7,06        |
| 828  | 8,75                               | 8,63        | 742                          | 7,53                               | 7,25        |
| 836  | 8,89                               | 8,95        | 755                          | 7,47                               | 7,09        |
|  | Середнє                            |             |                              | Середнє                            |             |
| 819  | 8,79                               | 8,80        | 734                          | 7,39                               | 7,13        |

Запропоновано декілька формул для визначення температуропровідності (м<sup>2</sup>/с) зерна пшениці:

сорт Миронівська ювілейна при  $293 < T < 333$  К і  $10 < W < 30$  %

$$a \cdot 10^8 = 0,15w + 0,04T - 5,94 \quad (14.14)$$

сорт не визначений при  $278 < T < 323$  К і  $5 < W < 22\%$

$$a \cdot 10^8 = 0,065w + 0,0057T + 6,80 \quad (14.15)$$

сорт Саратовська 29 при  $273 < T < 333$  К і  $8 < W < 12\%$

$$\ln(a \cdot 10^3) = -7157 + 3,87(T - 273) + 0,25W(T - 273) \quad (14.16)$$

сорт Саратовська 29 при  $273 < T < 333$  і  $12 < W < 20\%$

$$\ln(a \cdot 10^3) = -7169 + 7,51(T - 273) \quad (14.17)$$

Таблиця 14.14

Температуропровідність ( $a \cdot 10^8$ , м<sup>2</sup>/с) зерна пшениці сорту Саратовська 29 при  $\rho_n = 760$  кг/м<sup>3</sup>

| W, % | Температура, К |     |     | W, % | Температура, К |     |     |
|------|----------------|-----|-----|------|----------------|-----|-----|
|      | 233            | 253 | 273 |      | 233            | 253 | 273 |
| 4    | 9,4            | 7,9 | 7,3 | 20   | 5,5            | 5,5 | 6   |
| 8    | 8,2            | 7,3 | 7,4 | 24   | 4,2            | 4,4 | 5,7 |
| 12   | 7,3            | 6,8 | 7,4 | 28   | 4,7            | 4,9 | 5,7 |
| 16   | 6,2            | 6   | 7,3 |      |                |     |     |

Залежність температуропровідності ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) зерна пшениці від температури описується формулами:

сорт Аврора при  $233 < T < 333$  і  $W = 3,8 \%$

$$a \cdot 10^8 = 21,86 - 0,04125T \quad (14.16)$$

сорт Саратовська при  $233 < T < 333 \text{ К}$ ,  $\rho_n = 760 \text{ кг/м}^3$ ,

при  $8 \leq W \leq 12 \%$ ,

$$\ln(a \cdot 10^3) = -7160 - 5,52(T - 273) + 0,46W(T - 273) \quad (14.17)$$

при  $12 \leq W \leq 16\%$ ,

$$\ln(a \cdot 10^3) = -7160 - 4,20(T - 273) + 0,35W(T - 273) \quad (14.18)$$

при  $16 \leq W \leq 20\%$ ,

$$\ln(a \cdot 10^3) = -7194 + 1,60(T - 273) \quad (14.19)$$

Таблиця 14.15

#### Енергетична цінність зерна пшениці

| Пшениця     | Ец, кДж/г |
|-------------|-----------|
| м'яка озима | 13,31     |
| м'яка яра   | 13,18     |
| тверда      | 13,39     |

#### 14.1.2. Жито

Густина зернівки жита збільшується з настанням стиглості. Вона залежить також від сорту (таблиця 14.16) і місця вирощення жита.

Таблиця 14.16

#### Густина ( $\text{кг/м}^3$ ) зерновок жита в залежності від фази спілості

| Сорт          | Фази спілості |         |       |
|---------------|---------------|---------|-------|
|               | молочна       | воскова | повна |
| Вятка         | 1123          | 1195    | 1280  |
| Авангард      | 1100          | 1145    | 1232  |
| Безенчукська1 | 1117          | 1164    | 1248  |
| Єлісеєвська   | 1108          | 1165    | 1255  |

Щільність ( $\text{кг/м}^3$ ) зернівки жита з підвищенням вологості зменшується



при  $0 < W < 50 \%$

$$\rho = 1483 - 6,43W \quad (14.20)$$

Залежність щільності ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) зерна жита від вологості

при  $17 < W < 50 \%$

$$\rho_n = 975 - 20,5W + 0,285W^2. \quad (14.21)$$

Таблиця 14.17

**Середня щільність зерна жита**

| Сорт        | $\rho_n, \text{кг}/\text{м}^3$ | Сорт              | $\rho_n, \text{кг}/\text{м}^3$ |
|-------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| Авангард    | 725                            | Омка              | 714                            |
| Беняконська | 735                            | Саратовська 1     | 742                            |
| Вятка       | 718                            | Таращанська 2     | 722                            |
| Долинська   | 714                            | Харківська 194    | 725                            |
| Житкинська  | 709                            | Новозибківська    | 740                            |
| Казанська   | 729                            | Вороніжська СХІ   | 736                            |
| Лісіцина    | 726                            | Веселоподолянська | 737                            |
| Маничська   | 723                            |                   |                                |

Струшуванням можна збільшити щільність зерна жита з 673 до 721  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Теплоємність в  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$  зерна жита:

при  $0 \leq W \leq 27 \%$  і  $T = 283 - 323 \text{ К}$

$$c = 1272 + 37,6W \quad (14.22)$$

Теплоємність в  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$  зерна жита з підвищенням температури збільшується

при  $303 < T < 343 \text{ К}$  і  $W = 20,3 \%$

$$c = 23 + 6,45T. \quad (14.23)$$

Теплопровідність в  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  зерна жита

при  $5 < W < 22 \%$  і  $278 < T < 323 \text{ К}$

$$\lambda = 0,084 + 0,00093W + 0,000172T \quad (14.24)$$

Температуропровідність в  $\text{м}^2/\text{с}$  зерна жита

при  $5 < W < 22 \%$  і  $278 < T < 323 \text{ К}$

$$a \cdot 10^8 = 6,97 + 0,04W + 0,0056T \quad (14.25)$$

ТФХ червоного житнього солоду ( $W = 11,6\%$ ) при температурі 294 К рівні:

$$\rho_n = 613 \text{ кг/м}^3, c = 1320 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}, \lambda = 0,181 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}, a = 22,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Таблиця 14.18

## Густина геміцелюлози і пентазини

| Зразок           | Геміцелюлоза |                            | Гумі – речовина |                            |
|------------------|--------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|
|                  | W, %         | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | W, %            | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> |
| Жито             | 10,1         | 1266                       | 7,4             | 1148                       |
| Замочене зерно   | 10,4         | 1316                       | 10,3            | 790                        |
| Солод тридобовий | 12           | 1402                       | 9,5             | 925                        |
| Морений солод:   |              |                            |                 |                            |
| двохдобовий      | 8,4          | 1385                       | 9,9             | 1271                       |
| п'ятидобовий     | 10,3         | 1276                       | 10,1            | 1055                       |

## 14.1.3. Овес

Щільність зернівки вівса збільшується при переході від нижчої фази зрілості до вищої (таблиця 14.19).

Голозерного – 1310 кг/м<sup>3</sup>. Щільність ядра зерновки вівса (1316 кг/м<sup>3</sup>) більше, ніж зернівки (1216 кг/м<sup>3</sup>).

Таблиця 14.19

Щільність (кг/м<sup>3</sup>) зернівки вівса в залежності від фази зрілості і сорту

| Сорт                                | Фази спілості |         |       |
|-------------------------------------|---------------|---------|-------|
|                                     | МОЛОЧНА       | ВОСКОВА | ПОВНА |
| Дипе                                | 907           | 1005    | 1087  |
| Московська А – 315                  | 931           | 1073    | 1142  |
| Перемога                            | 970           | 1091    | 1137  |
| Верхнячський                        | 992           | 1043    | 1147  |
| Середнє за даними 14 сортів і видів | 960           | 1035    | 1130  |

Таблиця 14.20

Густина (кг/м<sup>3</sup>) зернівки вівса

| Зерно    | Вологість, % |      |      |      |
|----------|--------------|------|------|------|
|          | 12           | 14   | 16   | 18   |
| Лущене   | 1351         | 1349 | 1340 | 1335 |
| Нелущене | 1275         | 1270 | 1260 | 1240 |

Залежність щільності вівса від вологості:

при  $0 < W < 50 \%$

$$\rho = 1513 - 6,91W \quad (14.26)$$

Залежність щільності в  $\text{кг/м}^3$  зерна вівса від його вологості,  
при  $15 < W < 50 \%$

$$\rho_n = 773 - 23,1W + 0,363W^2. \quad (14.27)$$

Теплоємність в  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$  зерна вівса в залежності від вологості  
при  $0 < W < 29 \%$  і  $T = 283 \dots 313 \text{ К}$

$$c = 1282 + 35,5W \quad (14.28)$$

Залежність теплоємності в  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$  зерна вівса від температури  
 $303 < T < 343 \text{ К}$  і  $W = 20,3 \%$

$$c = 23 + 6,45T. \quad (14.29)$$

Теплопровідність в  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  зерна вівса  
при  $5 < W < 22 \%$  і  $278 < T < 323 \text{ К}$

$$\lambda = 0,054 + 0,00221W + 0,000182T \quad (14.30)$$

Формула (14.30) справедлива при умові, що щільність ( $\text{кг/м}^3$ ) зерна вівса  
при  $5 < W < 22 \%$

$$\rho_n = 859 - 6,93 W. \quad (14.31)$$

Температуропровідність в  $\text{м}^2/\text{с}$  зерна вівса в залежності від визначних  
факторів: при  $5 < W < 22 \%$ ,  $278 < T < 323 \text{ К}$  і значеннях  $\rho_n$ , котрі визначаються  
за формулою (14.31)

$$a \cdot 10^8 = 8,06 + 0,043W + 0,0055T \quad (14.32)$$

#### 14.1.4. Ячмінь

Густина зернівки ячменю збільшується з досягненням зрілості. Густина  
голих (неплівчастих) зернівок ячменю більша, ніж плівчастих.

В результаті набухання густина плівчастих зерен ячменю збільшується.  
Так, якщо до набухання вона була  $1170 \text{ кг/м}^3$ , то через 9 год. набухання –  
 $1235 \text{ кг/м}^3$ .

Густина зерен ячменю багаторядного  $1350$ , а дворядного  $1320 \text{ кг/м}^3$ .

В процесі проростання щільність зерна ячменю зменшується  
(таблиця 14.21).

Таблиця 14.21

**Зміна щільності зерна ячменю в процесі проростання**

|                              |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\tau$ , год                 | 0   | 6*  | 12  | 24  | 48  | 72  |
| $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | 655 | 654 | 640 | 631 | 615 | 586 |

\* – тривалість зволоження.

Щільність луценого зерна ячменю в процесі підсмажування зменшується, і тим помітніше, чим вище температура поверхні, де він підсмажується, і триваліше процес (з 730 до 560 кг/м<sup>3</sup>).

Щільність ячмінної лузги ( $W = 10,6\%$ ) рівна 210 кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність в Дж/(кг·К) зерна ячменю в залежності від вологості:

при  $0 < W < 25\%$  і  $T = 283 \dots 323$  К

$$c = 1245 + 39,7W \quad (14.33)$$

при  $10 < W < 35\%$  і  $T = 313$  К

$$c = 1360 + 33,5W \quad (14.34)$$

Залежність теплоємності в Дж/(кг·К) зерна ячменю від температури

при  $303 < T < 343$  К і  $W = 20,3\%$

$$c = 23 + 6,45T \quad (14.35)$$

Теплоємність зерна ячменю в залежності від двох визначальних факторів рекомендується визначати за формулою

при  $10 < W < 30\%$  і  $273 < T < 333$  К

$$c = (892 + 87,5W - 1,545W^2 + 0,0114W^3) \cdot [1 + 0,000287(25 - W)(T - 301)] \quad (14.36)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) зерна ячменю

$$\lambda = 0,077 + 0,00128W + 0,000176T^* \quad (14.37)$$

$$\lambda = 0,115 + 0,0028W \quad (14.38)$$

\*Формули (14.37) і (14.38) справедливі, коли:

|                            |      |     |     |     |
|----------------------------|------|-----|-----|-----|
| $W, \%$                    | 5    | 10  | 15  | 20  |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | 1012 | 922 | 842 | 784 |

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с зерна ячменю

$$a \cdot 10^8 = 6,80 + 0,065W + 0,0057T \quad (14.39)$$

Густина в  $\text{кг/м}^3$  зернівки солоду через велику поруватості при підвищенні вологості збільшується  
при  $0 < W < 90 \%$

$$\rho = 1103 + 1,5W \quad (14.39)$$

Експериментальні значення густини зерна ячмінного солоду при  $W_c = 6,4; 7,2; 75 \%$  розраховані за формулою (14.39) майже збігаються.

Щільність зерна сирого солоду 513, сухого –  $443 \text{ кг/м}^3$ . Шпаруватість сирого зерна не залежить від товщини шару (досліди проводили при товщині шару до 1200 мм) і складає 50%.

Теплоємність сухої речовини ячмінного солоду майже така ж, як сухої речовини ячменю –  $1214 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ . Залежність теплоємності  $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$  зерна ячмінного солоду від вологості,

при  $9,4 < W < 16,5 \%$  і  $T = 273 \text{ К}$

$$c = 1150 + 37,6W \quad (14.40)$$

Для визначення об'ємної теплоємності в  $\text{кДж/(м}^3 \text{ К)}$  та теплопровідності в  $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$  зеленого чотиридобового солоду справедливі формули:

при  $303 < T < 333 \text{ К}$  і  $W = 19 \dots 45 \%$

$$c\rho = 11,7T - 2258 \quad (14.41)$$

при  $303 < T < 333 \text{ К}$  і  $W = 45 \%$

$$\lambda = 0,0013T - 0,0735 \quad (14.42)$$

при  $303 < T < 333 \text{ К}$  і  $W = 19 \%$

$$\lambda = 0,0005T - 0,0735 \quad (14.43)$$

Температуропровідність зеленого солоду від температури не залежить та при вологості 19 и 45 % відповідно дорівнює  $6,0 \cdot 10^{-8}$  и  $11,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

ТФХ сухого ячмінного солоду з підвищенням температури збільшуються (таблиця 14.22).

Таблиця 14.22

ТФХ сухого ячмінного солоду ( $W=3,1\%$ ,  $\rho_n = 1005 \text{ кг/м}^3$ )

| Показник                           | Температура, К |       |       |
|------------------------------------|----------------|-------|-------|
|                                    | 303            | 323   | 348   |
| $c$ , Дж/(кг·К)                    | 1400           | 1604  | 1754  |
| $\lambda$ , Вт/(м·К)               | 0,210          | 0,248 | 0,288 |
| $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | 14,6           | 15,4  | 26,4  |

**14.1.5. Кукурудза**

Густина зерен її різновидів (таблиця 14.23) дещо відрізняється через неоднакову пористість.

Таблиця 14.23

Фізичні показники зерна кукурудзи у повітряно-сухому стані

| Різнovid    | $\rho_u$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho_m$ , кг/м <sup>3</sup> | $P$ , % |
|-------------|------------------------------|------------------------------|---------|
| Крохмалиста | 1406                         | 1119                         | 20,4    |
| Зубовидна   | 1412                         | 1272                         | 9,9     |
| Крем'яниста | 1409                         | 1331                         | 5,6     |

В процесі сушки кукурудзи щільність її зерен збільшується, і тим помітніше, чим більше була їх початкова вологість (таблиця 14.24).

Таблиця 14.24

Вимірювання фізичних показників лущення кукурудзи при сушці

| Початкова вологість, % | Показник                     | Вологість, % |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|------------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|
|                        |                              | 32,4         | 29,6 | 26,5 | 23,1 | 19,3 | 15,2 | 10,7 |
| 35,1                   | $\rho_u$ , кг/м <sup>3</sup> | 1269         | 1278 | 1287 | 1296 | 1305 | 1314 | 1323 |
|                        | $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | 685          | 728  | 753  | 772  | 783  | 788  | 780  |
|                        | $S$ , %                      | 46           | 43   | 41,5 | 40,5 | 40   | 40   | 41   |
| 25,9                   | $\rho_u$ , кг/м <sup>3</sup> | –            | –    | 1260 | 1264 | 1268 | 1272 | 1276 |
|                        | $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | –            | –    | 693  | 730  | 758  | 761  | 763  |
|                        | $S$ , %                      | –            | –    | 45   | 42   | 40   | 40   | 40   |

Густина в кг/м<sup>3</sup> зернівки кукурудзи з підвищенням вологості зменшується:  
при  $0 < W < 50\%$  для подрібненої зернівки

$$\rho = 1475 - 5,5W \quad (14.44)$$

при  $0 < W < 50\%$  для цілої зернівки

$$\rho = 1402 - 5,35W \quad (14.45)$$

Щільність в кг/м<sup>3</sup> зерна кукурудзи:

при  $15 < W < 45\%$

$$\rho_n = 1086 - 29,71W + 0,481W^2 \quad (14.46)$$

Теплоємність в кДж/(кг·К) зерна кукурудзи різних сортів та гібридів:  
при  $0 < W < 40 \%$  і  $T = 293 \text{ К}$

$$c = 1350 + 30,0W \quad (14.47)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) зерна кукурудзи:  
при  $5 < W < 45 \%$  і  $278 < T < 323 \text{ К}$

$$\lambda = 0,059 + 0,0018W + 0,000178T \quad (14.48)$$

Температуропровідність зерна кукурудзи:  
при  $5 < W < 45 \%$  і  $278 < T < 323 \text{ К}$

$$a \cdot 10^8 = 6,96 + 0,117W - 0,0029W^2 + 0,006T \quad (14.49)$$

#### 14.1.6. Просо

Густина зернівки проса менша, ніж ядра. При вологості 11,6% їх значення відповідно складають 1322 і 1366 кг/м<sup>3</sup>.

Густина лущеної та не лущеної зернівок при зволоженні змінюється по – різному (таблиця 14.25).

Таблиця 14.25

Густина в кг/м<sup>3</sup> зернівки проса

| Зернівка  | Вологість, % |      |      |      |      |
|-----------|--------------|------|------|------|------|
|           | 12           | 14   | 16   | 18   | 20   |
| Лущена    | 1365         | 1360 | 1355 | 1350 | 1345 |
| Не лущена | 1225         | 1238 | 1235 | 1232 | –    |

Щільність зерен, що раніше утворилися в суцвітті або на рослині, як правило, більша щільності решти насіння того ж суцвіття (таблиця 14.26).

Таблиця 14.26

Густина в кг/м<sup>3</sup> зернівки проса

| Сорт          | Суцвіття |        |
|---------------|----------|--------|
|               | нижнє    | верхнє |
| Комове 3      | 1090     | 1153   |
| Комове 19/273 | 937      | 1080   |
| Розлоге 742   | 1045     | 1145   |
| Гайденське    | 1034     | 1147   |

Теплоємність в Дж/(кг·К) ядра і зернівки проса

при  $10,7 < W < 23,1 \%$  і  $293 < T < 333 \text{ К}$

$$c_{\text{я}} = 77 + 30,9W + 4,5T \quad (14.50)$$

$$c_{\text{з}} = 84 + 42,7W + 3,8T \quad (14.51)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) ядра проса ( $10,7 < W < 23,1 \%$ ) з підвищенням вологості і температури збільшується:

при  $T = 293 \text{ К}$  і  $\rho = 1410 - 1315 \text{ кг/м}^3$

$$\lambda = 0,138 + 0,01W \quad (14.52)$$

при  $T = 313 \text{ К}$  і  $\rho = 1419 - 1402 \text{ кг/м}^3$

$$\lambda = 0,137 + 0,011W \quad (14.53)$$

при  $T = 333 \text{ К}$  і  $\rho = 1416 - 1398 \text{ кг/м}^3$

$$\lambda = 0,148 + 0,011W \quad (14.54)$$

Таблиця 14.27

**Теплопровідність в Вт/(м·К) і температуропровідність в м<sup>2</sup>/с зернівки проса ( $\rho = 1100 \dots 1060 \text{ кг/м}^3$ )**

| Т, К | W=13 %    |                | W=16,7 %  |                | W=20 %    |                | W=23,1 %  |                |
|------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
|      | $\lambda$ | $a \cdot 10^8$ | $\lambda$ | $a \cdot 10^8$ | $\lambda$ | $a \cdot 10^8$ | $\lambda$ | $a \cdot 10^8$ |
| 293  | 0,15      | 7,4            | 0,21      | 9,8            | 0,26      | 11,4           | 0,31      | 12,4           |
| 313  | 0,155     | 7,8            | 0,22      | 10,0           | 0,27      | 11,6           | 0,32      | 12,7           |
| 333  | 0,175     | 8,1            | 0,24      | 10,3           | 0,30      | 12,0           | 0,34      | 13,2           |

Об'ємна маса лузги проса ( $W = 11 \%$ ) рівна  $203 \text{ кг/м}^3$ .

Теплоємність в Дж/(кг·К) зерна проса визначається формулою:

при  $7 < W < 25 \%$  і  $T = 293 - 373 \text{ К}$

$$c = 1591 + 26,8W \quad (14.55)$$

Значення теплоємності проса, обчислені за формулами (14.51) і (14.55), розрізняються менш ніж на 8 %.

Теплопровідність в Вт/(м·К) шару зерна проса дорівнює:

при  $12 < W < 30 \%$  і  $\rho_{\text{н}} = 790 \text{ кг/м}^3$

$$\lambda = (12,01 - 1,265 \cdot \ln(W_c))^{-1} \quad (14.56)$$

Значення ТФХ зерна проса, наведені в різних роботах, відрізняються несуттєво (таблиця 14.28).



Таблиця 14.28

**ТФХ зерна проса**

| $W, \%$ | $T, \text{K}$ | $\rho_n, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$ | $a\cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|---------|---------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 8,2     | –             | 768                     | 1475                             | 0,10                                  | 9,0                                |
| 11,8    | 298           | 730                     | 1507                             | 0,11                                  | 10,0                               |

**14.1.7. Сорго**

Густина в  $\text{кг/м}^3$  зернівки сорго рівна:

при  $0 < W < 50 \%$

$$\rho = 1435 - 4,65W \quad (14.57)$$

Таблиця 14.29

**Фізичні показники зерна сорго**

| Показник                | Вологість, % |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|
|                         | 11,1         | 13,2 | 14,8 | 17,4 | 20,1 | 24,8 | 30,8 |
| $\rho, \text{кг/м}^3$   | 1326         | 1340 | 1381 | 1380 | 1350 | 1317 | 1308 |
| $\rho_n, \text{кг/м}^3$ | 802          | 793  | 787  | 766  | 741  | 706  | 696  |
| $S, \%$                 | 39,5         | 40,8 | 43,0 | 44,5 | 45,1 | 46,4 | 46,8 |

Теплоємність в  $\text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$  зерна сорго рівна:

при  $2 < W < 29 \%$  і  $T = 288 \dots 300 \text{ K}$

$$c = 1397 + 32,2W \quad (14.58)$$

Теплопровідність в  $\text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$  зерна сорго:

при  $1 < W < 22,5 \%$  і  $T = 294 \dots 311 \text{ K}$

$$\lambda = 0,0097 + 0,0015W \quad (14.59)$$

Формула (14.59) справедлива при щільності зерна  $739 \pm 14 \text{ кг/м}^3$

Таблиця 14.30

**Температуропровідність зерна сорго**

| Показник                           | Вологість, % |      |      |      |      |
|------------------------------------|--------------|------|------|------|------|
|                                    | 5            | 10   | 15   | 20   | 25   |
| $\rho_n, \text{кг/м}^3$            | 739          | 747  | 752  | 733  | 732  |
| $a\cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ | 9,12         | 8,73 | 8,59 | 8,50 | 8,39 |

### 14.1.8. Рис

Чим більше ширина зерна рису, тим більше її щільність (таблиця 14.31).

Таблиця 14.31

**Густина в кг/м<sup>3</sup> зерна рису (W=15%) при різній їх ширини**

| Зразок       | Ширина зернівки, мм |      |      |      |      |
|--------------|---------------------|------|------|------|------|
|              | 1,7                 | 1,9  | 2,1  | 2,3  | 2,5  |
| Рис-зерно    | –                   | 925  | 1068 | 1168 | 1230 |
| Лущене зерно | 1351                | 1376 | 1383 | 1400 | –    |

Теплоємність в Дж/(кг·К) сухої речовини риса-зерна в залежності від температури

при  $276 < T < 323$  К

$$c_{cp} = 11,7T - 2114 \quad (14.60)$$

Таблиця 14.32

**Хімічний склад (%) сухої речовини рису та його теплоємність**

| Зернівка та її частини | Білки | Жири | Вуглеводи | Клітковина | Зола  | $c_{cp}$ , Дж/(кг·К) |
|------------------------|-------|------|-----------|------------|-------|----------------------|
| Зерно:                 |       |      |           |            |       |                      |
| в плівках              | 7,9   | 2,18 | 72,17     | 11,80      | 5,95  | 1402                 |
| лущена                 | 10,3  | 2,74 | 84,62     | 0,74       | 1,60  | 1433                 |
| Очищений рис           | 8,7   | 1,14 | 88,64     | 0,38       | 1,14  | 1433                 |
| Лузга                  | 4,4   | 1,42 | 29,20     | 45,10      | 19,70 | 1300                 |

Теплоємність в Дж/(кг·К) рису-зерна:

при  $12,2 < W_c < 32,8$  % і  $275 < T < 323$  К

$$c = -2114 + 18,4W_c + 11,7T \quad (14.61)$$

де  $W_c$  – вологість на суху речовину

Теплопровідність в Вт/(м·К) зерна рису-сирцю:

при  $12 < W < 25$  %,  $\rho_n = 520 - 660$  кг/м<sup>3</sup>,  $T \approx 293$  К

$$\lambda = 0,085 + 0,0010W \quad (14.63)$$

Формула не розповсюджується на короткозернистий рис. Для цього підвиду теплопровідність в Вт/(м·К) описується формулою:

при  $11,2 < W < 23,7$  %,  $632 < \rho_n < 664$  кг/м<sup>3</sup>,  $L \leq 7,5$  мм і  $T \approx 293$  К

$$\lambda = 0,100 + 0,0011W. \quad (14.64)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) щільного шару рису

при  $3 < t < 50$  °С,  $12 < W_c < 35$  %

$$\lambda = 0,0616 + 0,0012W_c + 4,3 \cdot 10^{-4} t + 0,61 \cdot 10^{-5} \cdot W_c \cdot t \pm 0,0026 \quad (14.69)$$

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с рису-зерна при  $T = 293$  К:

при  $12 < W < 20$  %,  $L = 7,9$  мм,  $l = 3,12$  мм

$$a \cdot 10^8 = 13,50 - 0,25 \cdot W \quad (14.65)$$

при  $11 < W < 21$  %,  $L = 7,46$  мм,  $l = 3,46$  мм

$$a \cdot 10^8 = 12,53 - 0,16 \cdot W \quad (14.66)$$

**Луцений рис.** Із збільшенням ширини луценої зернівки рису її густина залежить від промивки, а також від режиму сушки зернівки після промивки (таблиця 14.33)

Таблиця 14.33

**Вплив промивки і режиму сушки на фізичні показники луценої зернівки рису**

| Зернівка                    | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | $S$ , % |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|---------|
| Непромита                   | 1427                       | 779                          | 45,4    |
| Промита і повільно висушена | 1435                       | 811                          | 43,5    |
| Промита і швидко висушена   | 1427                       | 778                          | 45,5    |

Масова теплоємність щільного шару рису-зерна в кДж/(кг·К):

при  $12 < W_c < 35$  %,  $3 < t < 50$  °С

$$c = 1,08 + 0,0184W_c + 0,0117 \cdot t \pm 0,072 \quad (14.67)$$

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) луценої зернівки рису:

при  $9,1 < W < 16,7$  %

$$c\rho = 1663 + 60,7 \cdot W \quad (14.68)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) щільного шару рису:

при  $3 < t < 50$  °С,  $12 < W_c < 35$  %

$$\lambda = 0,0616 + 0,0012W_c + 4,3 \cdot 10^{-4} \cdot t + 0,61 \cdot 10^{-5} W_c \cdot t \pm 0,0026. \quad (14.69)$$

**Плівки.** Теплоємність сухої речовини плівок рису 1300 Дж/(кг·К).

Теплопровідність в Вт/(м·К) плівок рису в залежності від об'ємної маси

$$\lambda = 0,041 + 0,0000755 \cdot \rho_n \quad (14.70)$$

В залежності від температури визначається

$$\lambda = 0,081 + 0,000179 \cdot T \quad (14.71)$$

### 14.1.9. Гречка

Густина насіння гречки ( $W=10,4\%$ ) дорівнює 1293, ядра – 1339  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Зволоження насіння гречки (просіювання через сито з отворами діаметром 4,0 мм) супроводжується незначним збільшенням її густини ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ):

при  $12,3 < W < 18 \%$

$$\rho = 1167 + 1,146W \quad (14.72)$$

Об'ємна маса оболонки гречки (гречанки) ( $W=10,3\%$ ) складає 193  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Теплоємність сухого зерна гречки складає 1278  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .

Теплоємність в  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$  гречки при  $0 < W_c < 14 \%$

$$c = 1278 + 23,6W_c \quad (14.73)$$

Теплопровідність в  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  зерна гречки сорту Богатир:

при  $12,6 < W_c < 31,6 \%$  і  $\rho_n = 640 \text{ кг}/\text{м}^3$

$$\lambda = (14,059 - 1,515 \cdot \ln(W_c))^{-1} \quad (14.74)$$

Таблиця 14.34

### Хімічний склад (%) сухої речовини складових частин зерна гречки і їх теплоємність

| Складові частини | Білки | Жири | Вуглеводи | Клітковина | Зола | $c$ ,<br>$\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ |
|------------------|-------|------|-----------|------------|------|---|
| Ядро             | 13,5  | 3,15 | 79,5      | 1,5        | 2,21 | 1438  |
| Ендосперм        | 8,0   | 0,5  | 90,45     | 0,7        | 0,35 | 1441  |
| Лузга            | 4,2   | 0,95 | 26,25     | 65,25      | 3,3  | 1390  |

Таблиця 14.35

### ТФХ зерна гречки

( $W_c = 12\%$  і  $\rho_n = 622 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) при  $T = 293 \text{ К}$

| $c$ , $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $\lambda$ , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a \cdot 10^8$ , $\text{м}^2/\text{с}$ |
|--|---|--|
| 1600                                       | 0,090   | 9,0                                    |
| 1561                                       | 0,098   | 10,1                                   |

## 14.2. Олійні і ефірно-олійні культури

### 14.2.1. Соняшник

Еквівалентний діаметр (мм) насіння соняшника в залежності від вологості:

при  $4,8 < W < 18,0 \%$

$$d_{ек} = 2,18 + 0,0182W \quad (14.75)$$

Таблиця 14.36

**Щільність (кг/м<sup>3</sup>) насіння соняшника ( $M = 51...52 \%$ )**

| Сорт             | $\rho_n$ | Сорт      | $\rho_n$ |
|------------------|----------|-----------|----------|
| Вороніжський 272 | 361      | Прогрес   | 427      |
| Старт            | 358      | Передовик | 418      |
| Одеський 63      | 439      |           |          |

Щільність (кг/м<sup>3</sup>) високоолійних зернят соняшника в залежності від вологості:

при  $5 < W < 20 \%$

$$\rho_n = 419,5 - 2,0W \quad (14.76)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) сухої речовини насінневих жмихів і шроту :

при  $0 < M < 100\%$  і  $T = 293 \text{ К}$

$$c_{св} = 1406 + 3,48M, \quad (14.77)$$

де 1406 – теплоємність обезжиреної сухої речовини насіння соняшника, Дж/(кг·К).

Теплоємність в Дж/(кг·К) сухої речовини насіння і його ядер:

при  $31,4 < M < 100 \%$  і  $293 < T < 359 \text{ К}$

$$c_{св} = 1273 - 2,56M + 0,453T + 0,0256MT. \quad (14.78)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) насіння соняшника в залежності від температури:

при  $293 < T < 393 \text{ К}$  і  $W = 1,5 \%$

$$c = 599 + 3,52T \quad (14.79)$$

при  $293 < T < 393 \text{ К}$  і  $W = 4,3 \%$

$$c = 40 + 5,73T \quad (14.80)$$

при  $296 < T < 333 \text{ К}$  і  $W = 7\%$

$$c = 7,2T - 540 \quad (14.81)$$

при  $303 < T < 343$  К і  $W = 18,6$  %

$$c = 7,3T - 212 \quad (14.82)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) зернят в залежності від їх щільності:

при  $433 < \rho_n < 500$  кг/м<sup>3</sup>,  $M = 45,6$  %,  $W_c = 9,2 \dots 10$  %,  $T = 303$  К

$$\lambda = 0,0187 + 0,00016\rho_n \quad (14.83)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) зернят соняшника:

при  $293 < T < 353$  К, і  $6,6 < W_c < 25$  %

$$\lambda = (1,00 + 0,0081W_c) \cdot (0,0254 + 0,042 \cdot 10^{-6} \rho_n T) \quad (14.84)$$

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с сухої речовини зернят соняшника:

при  $303 < T < 333$  К,  $M = 42,5$  %,  $\rho_n = 475$  кг/м<sup>3</sup>

$$a \cdot 10^8 = 0,04T - 1,42 \quad (14.85)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) соняшникової м'ятки рівна:

при  $1,6 < L < 17$  % ,  $1,5 < W_c < 14$  % ,  $288 < T < 373$  К

$$c = 281 \cdot 0,75 + 855 \cdot L - 787 \cdot T + 1128 \cdot W_c + 33,2 \cdot L^2 + \\ + 10,12 \cdot (T - 273)^2 - 24,9 \cdot W_c^2. \quad (14.86)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) соняшникової м'ятки:

при  $303 < T < 333$  К,  $4 < W < 11$ %,  $\rho_n = 440$  кг/м<sup>3</sup>,  $M = 55,47$ ,  $L = 6,4$  %

$$\lambda = -0,07 + 0,0018W + 0,00045T \quad (14.87)$$

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с соняшникової м'ятки :

при  $440 < \rho_n < 560$  кг/м<sup>3</sup>,  $T = 313$  К,  $W = 4,1$  %

$$a \cdot 10^8 = 10,7 - 0,00408\rho_n \quad (14.88)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) соняшникового шроту:

при  $306 < T < 365$  К,  $8 < W_c < 28$  %,  $0 < Q < 0,65$  кг/кг сухої речовини

$$c = -5610 + 120(T - 273) + 998Q + 183,6W_c - 0,26(T - 273)^2 - 1144Q^2 - 6,05W_c^2 \quad (14.89)$$

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с соняшникового шроту:

при  $306 < T < 395$  К,  $7 < W_c < 28$  %,  $0 < Q < 0,7$  кг/кг сухої речовини

$$a \cdot 10^8 = 0,86 + 0,011(T - 273) + 6,5Q + 0,052W_c + \\ + 0,00011(T - 273)^2 - 7,3Q^2 - 0,3199W_c \quad (14.90)$$

### 14.2.2. Бавовник

Таблиця 14.37

ТФХ сухої речовини ядра насіння бавовника  $M = 36,0\%$   
при нагріванні від 293 до 313 К

| $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | $c_p$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К) |
|------------------------------|----------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 600                          | 0,091                | 9,17                               | 992                             |
| 650                          | 0,097                | 9,00                               | 1078                            |
| 670                          | 0,099                | 9,00                               | 1000                            |
| 700                          | 0,102                | 8,92                               | 1143                            |

Таблиця 14.38

Межі зміни ТФХ насіння бавовника в технологічних процесах  
виробництва олії

| Процес                          | Матеріал                       | $c$ ,<br>Дж/(кг·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Сушка                           | Насіння                        | 1777...4135        | 0,087...0,172           | 8,89...15,34                          |
| Гідротермічна<br>обробка        | М'ятка                         | 1317...3686        | 0,072...0,201           | 7,22...13,55                          |
| Екстрагування<br>масла          | Макуха                         | 1437...3655        | 0,088...0,267           | 11,02...14,16                         |
| Відгін розчин-<br>ника зі шроту | Екстра-<br>гований<br>матеріал | 788...2579         | 0,063...0,232           | 11,35...18,19                         |
| Кондиціонування<br>шроту        | Шрот                           | 1129...3801        | 0,052...0,283           | 9,68...16,78                          |

Таблиця 14.39

Хімічний склад (%) сухої речовини складових бавовника  
і його теплоємність

| Складові<br>частини | Білки     | Масло  | Вугле-<br>води | Клітко-<br>вина | Зола     | $c_{ср}$ ,<br>Дж/(кг·К) |
|---------------------|-----------|--------|----------------|-----------------|----------|-------------------------|
| Сім'янка            | 35,4–27,0 | 0–22,8 | 36,0–27,5      | 23,5–18,0       | 5,1–4,0  | 1436–1498               |
| Ядро                | 54,5–38,2 | 0–37,2 | 30,6–21,5      | 5,0–3,5         | 10,0–7,0 | 1440–1665               |
| Лузга               | 6,2       | 2,7    | 42,0           | 42,0            | 3,0      | 1351                    |

### 14.2.3. Ріпак

Густина і об'ємна маса сухої речовини насіння ріпаку відповідно дорівнюють 1003 і 553 кг/м<sup>3</sup>

З підвищенням вологості насіння ріпаку їхня густина зменшується, оскільки об'єм насіння збільшується при зволоженні більше ніж маса.

Таблиця 14.40

#### Еквівалентний діаметр і густина насіння озимого ріпаку:

| Показник                   | Вологість, % |      |      |      |
|----------------------------|--------------|------|------|------|
|                            | 13           | 17   | 21   | 25   |
| $d_{ек}$ , мм              | 2,10         | 2,12 | 2,13 | 2,14 |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | 1110         | 1103 | 1094 | 1090 |

Щільність насіння ріпаку залежить від температури і вологості, а також від сорту.

Таблиця 14.41

#### Щільність в кг/м<sup>3</sup> насіння ріпаку сорту Торх

| T, К | Вологість, % |      |       |       |       |
|------|--------------|------|-------|-------|-------|
|      | 0,75         | 5,54 | 10,54 | 15,50 | 19,64 |
| 292  | 704          | 711  | 763   | 672   | –     |
| 275  | 700          | 712  | 757   | 694   | 649   |
| 269  | 672          | 701  | 695   | 669   | 628   |

В залежності від визначальних факторів щільність насіння ріпаку ( $W = 3,30...4,12\%$ ) складає 657...723 або 640...768 кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність сухої речовини ріпаку за експериментальними даними складає 2244 або 1569...1553 Дж/(кг·К), а розрахована за законом Коппа – 1554 Дж/(кг·К)

Таблиця 14.42

#### Хімічний склад (%) і теплоємність сухої речовини ріпаку

| Речовина | Білки | Жир  | Вугле-води | Клітко-вина | Зола | $c_{ср}$ , Дж/(кг·К) |
|----------|-------|------|------------|-------------|------|----------------------|
| Насіння  | 22,5  | 44,5 | 22,8       | 6,5         | 4,6  | 1554                 |
| »        | 37,7  | 0    | 41,9       | 11,9        | 8,5  | 1423                 |
| Макуха   | 37,4  | 9,0  | 27,1       | 18,2        | 8,3  | 1451                 |
| Шрот     | 41,7  | 2,5  | 34,0       | 13,4        | 8,4  | 1437                 |



Теплопровідність в Вт/(м·К) насіння ріпаку

при  $5 < W < 22 \%$ ,  $278 < T < 329 \text{ K}$ :

$$\lambda = 0,067 + 0,00215W + 0,000157T \quad (14.90)$$

Температуропровідність в м<sup>2</sup>/с насіння ріпаку

при  $5 < W < 22 \%$ ,  $278 < T < 329 \text{ K}$ :

$$a \cdot 10^8 = 3,19 + 0,196W + 0,0075T \quad (14.91)$$

#### 14.2.4. Інші види олійних культур

**Рицина.** Щільність насіння рицини 910 кг/м<sup>3</sup>, а густина – 550...580 кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність в Дж/(кг·К) насіння рицини

при  $10 < W < 35 \%$  і  $T = 313 \text{ K}$ :

$$c = 1904 + 18,7W \quad (14.92)$$

**Коноплі.** Фізичні показники насіння конопель: щільність – 870...950 кг/м<sup>3</sup>, густина – 490...550 кг/м<sup>3</sup>, шпаруватість – 39%.

Експериментальні значення теплоємності сухої речовини насіння конопель при температурі 291, 335 і 359 К відповідно дорівнюють 1553, 1612 і 1662 Дж/(кг·К).

ТФХ насіння конопель ( $W = 6,0\%$ ) при температурі 297 К складають:  $\rho_n = 556 \text{ кг/м}^3$ ,  $c = 1590 \text{ Дж/(кг·К)}$ ,  $\lambda = 0,088 \text{ Вт/(м·К)}$  і  $a = 9,92 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**Льон.** Фізичні показники насіння льону:  $\rho = 1120 - 1200 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_n = 600 - 700 \text{ кг/м}^3$ ,  $S = 35 - 40 \%$

Теплоємність в Дж/(кг·К) насіння льону

при  $10 < W < 35 \%$  і  $T = 313 \text{ K}$ :

$$c = 1770 + 18,4W \quad (14.93)$$

при  $303 < T < 343 \text{ K}$  і  $W = 18,6 \%$

$$c = -235 + 7,5T \quad (14.94)$$

ТФХ насіння льону ( $W = 5,6\%$ ) при температурі 297 К дорівнюють:  $\rho_n = 682 \text{ кг/м}^3$ ,  $c = 1630 \text{ Дж/(кг·К)}$ ,  $\lambda = 0,097 \text{ Вт/(м·К)}$ ,  $a = 8,64 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**Мак.** Фізичні показники насіння маку:  $\rho = 1060 - 1140 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_n = 570 -$

670 кг/м<sup>3</sup>,  $S = 41 - 42 \%$ .

Таблиця 14.43

**Щільність насіння маку**

| Показник                     | Вихідне насіння |         | Дражироване насіння |         |
|------------------------------|-----------------|---------|---------------------|---------|
|                              | максимум        | мінімум | максимум            | мінімум |
| W, %                         | 7,69            | 7,16    | 2,25                | 2,44    |
| $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | 601             | 590     | 925                 | 899     |

Теплоємність в Дж/(кг·К) насіння маку при  $10 < W < 35 \%$  і  $T = 313 \text{ К}$

$$c = 1763 + 16W \quad (14.95)$$

при  $303 < T < 343$  і  $W = 18,6 \%$

$$c = 104 + 7,3T \quad (14.96)$$

**Рижій.** Теплоємність сухої речовини насіння рижію 1594, а знежиреної сухої речовини 1437 Дж/(кг К).

Теплоємність в Дж/(кг·К) насіння рижію при  $10 < W < 35 \%$  і  $T = 313 \text{ К}$ :

$$c = 1732 + 16W \quad (14.97)$$

при  $303 < T < 343 \text{ К}$  і  $W = 18,6 \%$

$$c = -353 + 8,45T \quad (14.98)$$

**Кунжут.** Щільність насіння кунжуту 1080, а густина 589 – 616 кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність сухої речовини насіння кунжуту 1600 Дж/(кг·К).

Таблиця 14.44

**Теплоємність насіння кунжуту**

| c,<br>Дж/(кг·К) | W, % | Температура, К |      |      |      |      |      |
|-----------------|------|----------------|------|------|------|------|------|
|                 |      | 293            | 313  | 333  | 353  | 373  | 393  |
| Дійсна          | 1,5  | 1570           | 1674 | 1758 | 1842 | 1959 | 2022 |
|                 | 36   | 2499           | 2554 | 2608 | 2679 | 2721 | 2792 |
| Ефективна       | 1,5  | 1570           | 1674 | 1758 | 1842 | 1976 | 2303 |
|                 | 36   | 2499           | 2646 | 2889 | 3858 | –    | –    |

**14.2.5. Ефіроолійні культури.**

При стисненні до газоподібного стану подрібненої ефіроолійної сировини її об'ємна маса збільшується від 115...154 до 1050...1250 кг/м<sup>3</sup>, а її відходів від 300...385 до 1300...1600 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 14.45

Об'ємна маса (кг/м<sup>3</sup>) ефіроолійної квітково-трав'янистої сировини і її відходів

| Культура | Сировина |          | Відходи |          | Культура | Сировина |          | Відходи |          |
|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
|          | W, %     | $\rho_n$ | W, %    | $\rho_n$ |          | W, %     | $\rho_n$ | W, %    | $\rho_n$ |
| Лаванда  | 63       | 152      | 75      | 301      | Герань   | 80       | 155      | 90      | 325      |
| Шавлія   | 71       | 115      | 80      | 335      | Базилік  | 80       | 150      | 90      | 320      |
| М'ята    | 55       | 169      | 70      | 338      |          |          |          |         |          |

Таблиця 14.46

Теплоємність в Дж/(кг·К) ефіроолійної сировини

| Сировина        | W, %  | $c$  | Сировина         | W, % | $c$  |
|-----------------|-------|------|------------------|------|------|
| Лаванда         | 9,59  | 1909 | Коріандр         | 9,0  | 1926 |
|                 | 9,89  | 1918 |                  | 9,24 | 1951 |
| Мускатна шавлія | 9,62  | 1884 | Троянда казанлик | 8,85 | 2056 |
|                 | 8,61  | 1809 |                  | 9,90 | 1878 |
| Герань          | 9,11  | 1830 | Евген базилік    |      |      |
|                 | 11,64 | 1899 |                  |      |      |

Таблиця 14.47

Теплопровідність в Вт/(м·К) насіння коріандру

| W, % | Температура, К |       |      |      |      |       |      |      |      |
|------|----------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
|      | 278            | 283   | 288  | 293  | 298  | 303   | 308  | 313  | 318  |
| 2,0  | —              | —     | —    | —    | 0,08 | 0,085 | 0,10 | 0,14 | 0,18 |
| 7,7  | 0,08           | 0,085 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,11  | 0,15 | 0,17 | 0,22 |
| 12,4 | 0,06           | 0,07  | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,15  |      |      |      |
| 19,0 | 0,075          | 0,08  | 0,09 | 0,11 | 0,14 | —     | —    | —    |      |

Таблиця 14.48

Температуропровідність  $a \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с насіння коріандру

| W, % | Температура, К |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|      | 278            | 283  | 288  | 293  | 298  | 303  | 308  | 313  | 318  |
| 2,0  | —              | —    | —    | —    | 15,8 | 16,2 | 18,0 | 20,1 | 23,0 |
| 7,7  | 14,2           | 14,6 | 15,0 | 15,5 | 16,1 | 17,9 | 19,5 | 22,0 | 24,2 |
| 12,4 | 13,0           | 13,5 | 14,0 | 15,0 | 16,1 | 18,3 | —    | —    | —    |
| 19,0 | 12,5           | 13,0 | 14,0 | 15,0 | 17,0 | —    | —    | —    | —    |

Таблиця 14.49

**ТФХ сухої речовини цілих квіток троянди**

| $T, K$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|--------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 292    | 261                   | 1840                             | 0,401                                 | 8,35                                |
| 303    | 190                   | 1902                             | 0,340                                 | 9,41                                |

Теплоємність в Дж/(кг·К) цілих квіток троянди, її відходів після екстракції, пелюсток і чашечок при  $0 < W < 100$  %:

$$c = 1900 + 22,9W \quad (14.99)$$

Таблиця 14.50

**ТФХ квіток троянди**

| Матеріал                 | $W, \%$ | $T, K$ | $\rho_n, \text{кг/м}^3$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|--------------------------|---------|--------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Цілі квітки              | 74,9    | 308    | 510                     | 0,139                                 | 7,11                                |
|                          | 68,2    | 303    | 489                     | 0,114                                 | 6,77                                |
| Відходи після екстракції | 82,4    | 308    | 755                     | 0,218                                 | 7,43                                |
| Пелюстки                 | 84,8    | 307    | 264                     | 0,080                                 | 7,83                                |
| Чашечки                  | 69,1    | 294    | 356                     | 0,091                                 | 7,05                                |
| Ціла квітка              | 74,8    | 313    | 510                     | 0,139                                 | 7,11                                |

**14.3. Бобові культури****14.3.1. Горох**

Істинна густина сухої речовини гороху 1321, а об'ємна маса при шпоруватості 41,4% – 774 кг/м<sup>3</sup>.

ТФХ сухої речовини гороху: об'ємна маса – 774 кг/м<sup>3</sup>, теплоємність – 1234 Дж/(кг·К), теплопровідність – 0,129 Вт/(м·К), температуропровідність –  $13,5 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Щільність насіння варено-сушеного гороху ( $W=6,8\%$ ) становить 745, лущеного ( $W = 12,9\%$ ) – 850 кг/м<sup>3</sup>.

Теплоємність в Дж/(кг·К) насіння гороху:

при  $10 < W < 35$  % та  $T = 313$  К

$$c = 1480 + 27,1W \quad (14.100)$$

Таблиця 14.51

**ТФХ насіння гороху**

| $W, \%$ | $T, \text{K}$ | $\rho_n, \text{кг/м}^3$ | $c, \text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ | $c\rho, \text{кДж/(м}^3\cdot\text{K)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$ | $a\cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$ |
|---------|---------------|-------------------------|----------------------------------|--|---------------------------------------|------------------------------------|
| 11,4    | 303           | 727                     | 1457                             | 1060                                   | 0,091                                 | 8,63                               |
| 9,5     | 296           | 811                     | 1440                             | 1168                                   | 0,105                                 | 8,90                               |
| 14,5    | 273           | 1062                    | 3810                             | 4046                                   | 0,369                                 | 9,12                               |

Таблиця 14.52

**Температуропровідність насіння гороху**

| Показник                           | Вологість, % |      |      |
|------------------------------------|--------------|------|------|
|                                    | 15           | 20   | 25   |
| $\rho_n, \text{кг/м}^3$            | 795          | 773  | 751  |
| $a\cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ | 12,8         | 12,7 | 12,6 |

**14.3.2. Квасоля**

Теплоємність в Дж/(кг·К) насіння квасолі:

при  $10 < W < 35 \%$  і  $T = 313 \text{ K}$

$$c = 1480 + 27,1W \quad (14.101)$$

Таблиця 14.53

**Щільність в кг/м<sup>3</sup> насіння квасолі**

| Стан насіння | Сорти   |       |
|--------------|---------|-------|
|              | Лимська | Ломка |
| Сухе         | 718     | 769   |
| Нелущене     | 410     | 384   |

Теплопровідність насіння тонкорізаної в'юнкої квасолі ( $\rho_n=750 \text{ кг/см}^3$ ) в інтервалі температур 278...285 К становить 0,39 Вт/(м·К), а тонкорізаної та змоченої 2 % – му розчині повареної солі – 50 Вт/(м·К).

ТФХ насіння квасолі ( $W = 10,5\%$ ) при  $T \approx 293 \text{ K}$  становлять:  $\rho_n = 850 \text{ кг/м}^3$ ,  $c = 1340 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ ,  $\lambda = 0,107 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ ,  $a = 9,5\cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Густина замороженого насіння квасолі  $890 \text{ кг/м}^3$ .

Теплоємність в Дж/(кг·К) замороженого насіння зеленої квасолі

$$c = 1372 - \frac{21982}{T_v - 273} \quad (4.102)$$

Теплоємність і температуропровідність насіння квасолі сорту Лимська при охолодженні і заморожуванні в інтервалі температур 300...255 К відповідно рівні 7537 Дж/(кг·К) та  $12,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

### 14.3.3. Соя

При збільшенні вологості насіння сої сорту Амурська 310 з 10 до 26% його об'єм збільшується на 40,3 %, а маса – тільки на 22,8 %, тому густина зменшується на 14,3%.

Густина в  $\text{кг}/\text{м}^3$  насіння сої

при  $0 < W < 50 \%$

$$\rho = 1332 - 5,18W \quad (14.103)$$

$$\rho = 1293 - 4,06W \quad (14.104)$$

Теплоємність в Дж/(кг·К) насіння сої

при  $0 < W < 28 \%$  і  $T = 285 \dots 301 \text{ К}$

$$c = 1640 + 25,47W \quad (14.105)$$

Таблиця 14.54

Теплоємність  $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$  насіння сої

| Назва    | Вологість, % |      |      |      |      |      |
|----------|--------------|------|------|------|------|------|
|          | 0            | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   |
| Сім'янка | 2184         | 2425 | 2639 | 2827 | 2988 | 3123 |
| Насіння  | –            | 1361 | 1490 | 1621 | 1748 | 1868 |

Теплопровідність в  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  насіння сої:

при  $283 < T < 338 \text{ К}$  і  $W = 11,2 \%$

$$\lambda = 0,00069T - 0,0984 \quad (14.106)$$

Теплопровідність подрібненого насіння сої менша, ніж цілого, оскільки контактна частка теплопередачі (у зв'язку зі збільшенням шпаруватості) зменшується.

ТФХ насіння сої при  $T \approx 293 \text{ К}$ 

| Назва    | $W$ ,<br>% | $c$ ,<br>Дж/(кг·К) | $\rho$ і $\rho_n$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $c\rho$ ,<br>кДж/(м <sup>3</sup> ·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|----------|------------|--------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Сім'янка | 7,4        | 1828               | 1294                                     | 2366                                 | 0,25                    | 10,6                                  |
| Насіння  | 5,8        | 17,88              | 730                                      | 1305                                 | 0,12                    | 8,9                                   |

## 14.3.4. Кормові боби

Густина в кг/м<sup>3</sup> насіння кормових бобів із збільшенням вологості зменшується: при  $9,35 < W < 27,8 \%$

$$\rho = 1410 - 3,8W \quad (14.107)$$

Таблиця 14.56

## Фізичні показники кормових бобів

| Показник                     | Вологість, % |      |      |      |       |
|------------------------------|--------------|------|------|------|-------|
|                              | 13           | 17   | 21   | 25   | 29    |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>   | 1290         | 1272 | 1257 | 1235 | 1215  |
| $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | 770          | 749  | 735  | 725  | 715   |
| $S$ , %                      | 40,3         | 41,1 | 41,5 | 41,3 | 41,15 |

Характер залежності  $\rho = f(W)$  насіння кормових бобів значною мірою визначається помітним збільшенням їх об'єму при зволоженні:

при  $13 < W < 35 \%$

$$V = 217 + 4,09W \quad (14.108)$$

Теплоємність насіння кормових бобів рекомендується визначати за формулою (14.110).

Об'ємна теплоємність насіння кормових бобів, розрахована з використанням формул (14.107) і (14.110), свідчить, що вона із збільшенням вологості збільшується.

Таблиця 14.57

Об'ємна теплоємність в кДж/(м<sup>3</sup>·К) кормових бобів

| Зразок   | Вологість, % |      |      |      |
|----------|--------------|------|------|------|
|          | 13           | 17   | 21   | 25   |
| Сім'янка | 1322         | 1383 | 1453 | 1527 |
| Насіння  | 2215         | 2349 | 2485 | 2560 |

Із збільшенням вологості насіння кормових бобів його температуропровідність зменшується.

Теплоємність сухої речовини кормових бобів складає 1293–1344 Дж/(кг·К).

Таблиця 14.58

**Температуропровідність насіння кормових бобів при  $T \approx 300$  К**

|   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>W, %</b>   | 1,9  | 4,6  | 6,2  | 7,2  | 9,85 | 15,2 | 18,2 | 21,1 | 31,7 | 38,0 |
| <b><math>a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}</math></b> | 16,4 | 15,4 | 14,7 | 13,1 | 13,2 | 11,9 | 10,9 | 9,7  | 10,4 | 10,1 |

ТФХ сухої речовини кормових бобів складають:  $\rho = 763 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,14 \text{ Вт/(м·К)}$ ,  $a = 13,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

ТФХ насіння кормових бобів ( $W = 10\%$ ) становлять:  $\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$ ,  $c = 1690 \text{ Дж/(кг·К)}$ ,  $\lambda = 0,31 \text{ Вт/(м·К)}$ ,  $a = 13,2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Щільність насіння кормових бобів стає меншою із збільшенням вологості (див. таблиця 14.56) і зменшенням товщини шару (таблиця 14.59).

Таблиця 14.59

**Щільність насіння кормових бобів**

|   |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|
| <b>Товщина шару, мм</b>                   | 60  | 120 | 180 | 240 |
| <b><math>\rho_n, \text{кг/м}^3</math></b> | 860 | 865 | 875 | 888 |

Вологість практично не впливає на шпаруватість насіння кормових бобів (див. таблиця 14.56).

Для визначення питомої теплоємності в Дж/(кг·К) насіння кормових бобів запропоновано формулу: при  $0 < W < 25$  %

$$c = 1294 + 32,6W \quad (14.109)$$

Наведені в літературі значення теплоємності кормових бобів при  $W = 10,3\%$  і  $W = 64,2\%$  та розраховані за формулою (14.109) відрізняються відповідно на 3,7%.

Формула (14.109) рекомендується для практичного використання.

Дані таблиці 14.56 і формула (14.109) дозволяють визначити об'ємну теплоємність кормових бобів.



Теплопровідність в Вт/(м·К) насіння кормових бобів становить:

при  $0 < W < 28,6 \%$

$$\lambda = 0,14 + 0,0052W \quad (14.110)$$

Наближена емпірична формула для визначення питомої теплоємності Дж/(кг·К) насіння кормових бобів при температурі нижче криоскопічної має вигляд:

$$c = 921 - [28095 / (T - 273)] \quad (14.111)$$

#### 14.3.5. Арахіс

Теплоємність в Дж/(кг·К) сухої речовини ядра арахіса сорту Вірґінія

при  $305 < T < 330 \text{ К}$

$$c = 523 + 3,35T \quad (14.112)$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) і температуропровідність в м<sup>2</sup>/с подрібненого ядра сорту Іспанський:

при  $277 < T < 311 \text{ К}$  і  $W = 7,4 \%$

$$\lambda = 0,000433T - 0,0064 \quad (14.113)$$

$$a10^8 = 57,7 - 0,157T \quad (14.114)$$

## РОЗДІЛ 15. ҐРУНТИ ТА МАТЕРІАЛИ АПК

### 15.1. Залежність ТФХ ґрунтів від пористості або густини

Ґрунт – це двофазна (суха) або трифазна (волога) система, що складається з кістяку – твердих частинок різної форми і величини, газу та рідини, а частіше – газу та рідини між ними. Перенесення теплової енергії в ґрунтах відбувається усіма чотирма способами (див. гл. 1.)

Серед чисельних моделей сухого ґрунту у вигляді елементарних пластинок, кубів, куль та різного їх розташування найбільш наближеною до реальної картини виявилась октаедрична укладка кульок із невеликим газовим зазором між ними.

За умови  $\lambda_k \gg \lambda_n$  (для реальних ґрунтів теплопровідність кістяків  $\lambda_k$  в 300 – 500 разів більша за теплопровідність повітря  $\lambda_n$ ) одержано формулу для ефективної теплопровідності  $\lambda$  ґрунту в Вт/(м·К):

$$\lambda = 10,9 \cdot \lambda_n \cdot \ln \left( \frac{43 + 0,31 \cdot \Pi}{\Pi - 26} \right), \quad (15.1)$$

де  $\Pi$  – пористість ґрунту

$$\Pi = \frac{(\rho_k - \rho)}{\rho} \cdot 100\% \quad (15.2)$$

де  $\rho, \rho_k$  – густина ґрунту та кістяку, в кг/м<sup>3</sup>.

Експериментальні дані з теплопровідність  $\lambda$  кварцевого піску, підзолистого та чорноземного ґрунтів в сухому стані досить щільно розташовуються біля гіперболічної кривої, що відповідає формулі (15.1).

Той факт, що зерна кістяку в цих ґрунтах за формою відрізняються від кульок, не впливає на вірність (15.1). Ця формула дозволяє оцінити також теплопровідність розпиленої маси, що вкраплена до ґрунту. При цьому роль загальної пористості системи відіграє пористість розпиленої маси, а  $\lambda_n$  зберігає значення теплопровідності повітря (газу). Таким чином, теплопровідність пористих ґрунтів, особливо за умови  $\Pi = 30\%$ , визначається теплопровідністю

повітря, а не твердих частинок.

Для ніздрюватих ґрунтів, кістяком яких є не зерна, а пластівці або волокна, тобто для глин або суглинків, теоретичним шляхом не одержано формули, аналогічної (15.1)

Для визначення залежності теплопровідності  $\lambda(\rho)$  від густини  $\rho$  придатні емпіричні формули:

неорганічні сипкі матеріали зернистої побудови з розміром зерен  $0 - 0.15$  мм при  $t = 25^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 400 - 1800$  кг/м<sup>3</sup>;

$$\lambda = 0,15 \cdot \rho + 0,0186 \cdot \rho^2 + 0,025 \quad (15.3)$$

неорганічно зв'язані матеріали ніздрюватого типу з розміром шпарин  $0,5 - 2$  мм та  $\rho = 800 - 1800$  кг/м<sup>3</sup>.

$$\lambda = 0,0128 \cdot \rho^{1,1} \cdot 1,95 \cdot \rho + 0,25 \quad (15.4)$$

Органічні пухкі матеріали волокнистої будови при  $\rho = 125 - 250$  кг/м<sup>3</sup>

$$\lambda = 0,935 \cdot \rho^2 - 0,718 \cdot \rho^3 - 0,0148 \cdot \rho + 0,029 \quad (15.5)$$

Формула (15.5) це узагальнення дослідних даних з торфової кришки, солом'яної січки, деревесної тирси, рисової та соняшникової лузги, а також льняної костриці, тобто матеріалів що є компонентами ґрунтів та субстратів у тепличному господарстві.

## 15.2. Вплив вологості на ТФХ ґрунтів.

Через численні форми зв'язку води із кістяком капілярно-пористих тіл та зміною їх форми залежно від вмісту води в цих тілах, виникло багато класифікацій форм води в тілі. В розробленій класифікації, стосовно ґрунтів, вода поділяється на кристалізаційну, тверду, пароподібну, абсорбційно зв'язану, рихло зв'язану та вільну. Ця остання, в свою чергу, поділяється на стикову, сорбційну, капілярно-підвіщену, гравітаційну, просмоктувану та підняту. Тому теоретичні міркування зведено до лінійної залежності

$$\lambda = \lambda_c \left( \frac{\partial \lambda}{\partial w} \right), \quad (15.6)$$

де  $\lambda_c$  – теплопровідність в сухому стані;

$\delta_w = \partial \lambda / \partial w$  – змінення  $\lambda$  на 1% об'ємної вологості,  $W, \%$  – об'ємна вологість.

Використання (15.6) дало можливість одержати емпіричні формули, придатні для невеликого інтервалу  $W = 0 - 20 \%$ :

для неорганічних сипких матеріалів зернистої побудови

$$\delta_w = 5,8 \cdot \left( \frac{1,78}{\rho^{0,3} \cdot 13^\rho} + 1 \right) + 1,48 \cdot (d - 0,06)^{0,9}, \quad (15.7)$$

де  $d$  – середній діаметр зерна в мм

для неорганічних пухких матеріалів волокнистої структури

$$\delta_w = 1/\rho \quad (15.8)$$

для органічних пухких матеріалів волокнистої структури

$$\delta_w = 96 \cdot \rho^{1,5} - 100 \cdot \rho + 20 \quad (15.9)$$

Починаючи з  $W = 10 - 20\%$ , лінійність залежності  $\lambda(W)$  порушується,  $\lambda$  зростає повільніше. Теплоємність, як величина адитивна, зростає лінійно в усьому діапазоні  $W$ , внаслідок чого температуропровідність  $a = \lambda/(c\rho)$  починає знижувати темп зростання починаючи з  $W = 4 - 6\%$ , а при великих  $W$  може навіть спадати. Для різних ґрунтів ця закономірність зберігається, але максимум температуропровідності відповідає різним значенням вологості.

Із збільшенням глини в ґрунті характер залежності  $\lambda(W)$  змінюється, крива стає ввігнутою. У легкосуглинистому ґрунті пісок складає 64% від усіх частинок, а глина та мул – лише 12%, а в важкосуглинистому ґрунті, навпаки, глини 66%, а піску 1,5%.

Вологість впливає по – різному на ТФХ ґрунтів однакового типу, але різного мінералогічного складу. Так, якщо для сухого вапняного та кварцового піску  $\lambda$  практично однакові, то із зростанням  $W$  теплопровідність кварцового піску збільшується інтенсивніше внаслідок його більшої гідрофільності. ТФХ

грунту змінюються також із зміною горизонту залягання, точніше густини ґрунту. Густина ґрунтів однакова, за винятком поверхневого шару біля 5 см. Для піщаного ґрунту, з порівняно крупними частками 0,1 – 1 мм, вже при малих  $W$  теплопровідність  $\lambda$  та температуропровідність  $a$  швидко зростають, а для глинистих мілких частинок 0,001 – 0,001 мм – повільно. Крім згаданої вище гідрофільності, причиною цього є більша кількість контактів для мілких частинок, що збільшують термічний опір масиву.

Більш точні значення ТФХ окремих ґрунтів для додатних температур можна одержати за формулами

теплопровідність в Вт/(м·К):

$$\lambda = 1,163 \cdot \rho \cdot (c + 0,01 \cdot W) \cdot \left[ m_1 \cdot (W - m_4)^2 + m_2 \cdot \rho + m_4 \right] \cdot 10^{-3} \quad (15.10)$$

та температуропровідність в м<sup>2</sup>/с:

$$a = 2,78 \cdot \left[ m_1 \cdot (W - m_4)^2 + m_2 \cdot \rho + m_3 \right] \cdot 10^{-7}, \quad (15.11)$$

де  $m$  – залежать від виду ґрунту, значення яких наведені в (таблиця 15.1);  
 $c$  – теплоємність сухого ґрунту в ккал/(кг·К).

Таблиця 15.1

**Значення коефіцієнтів  $m$  в (15.10) та (15.11)**

| Типи ґрунтів            | $m_1$    | $m_2$ | $m_3$ | $m_4$ |
|-------------------------|----------|-------|-------|-------|
| Звичайний чорнозем      | - 0,013  | 3,1   | 1,21  | 20    |
| Південний чорнозем      | - 0,0104 | 2,4   | 0,68  | 20    |
| Темно-каштановий ґрунт  | - 0,017  | 2,2   | 1,9   | 18    |
| Сірозем                 | - 0,062  | 2,7   | - 0,2 | 18    |
| Дерново-глеюватий ґрунт | - 0,020  | 3,1   | 1,4   | 20    |

Для українського чорнозему придатні формули А.І. Гупало

$$\lambda = 1,163 \cdot \left[ 2,1 \cdot \rho^{1,2-0,02 \cdot W} \cdot e^{0,07 \cdot (W-20)^2} + \rho^{0,2+0,02 \cdot W} \right] \cdot \left( 0,2 + \frac{W}{100} \right) \cdot \rho \quad (15.12)$$

$$a = 2,78 \cdot \left[ 2,1 \cdot \rho^{2,1-0,02 \cdot W} \cdot e^{0,07 \cdot (W-20)^2} + \rho^{0,2+0,02 \cdot W} \right] \cdot 10^{-7} \quad (15.13)$$

### 15.3. Вплив температури на ТФХ ґрунтів.

Теплопровідність в Вт/(м·К) ґрунтів в сухому та вологому стані залежить від температури, але ця залежність є досить слабкою:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot (1 + \beta \cdot t), \quad (15.14)$$

де  $\lambda_0$  – теплопровідність при  $t = 0$  °С.

Коефіцієнт  $\beta$  залежить від складу ґрунту, а для однакового складу – від розмірів частинок., із зростання діаметра  $d$  зерна коефіцієнт  $\beta$  зростає внаслідок збільшення інтенсивності променистого теплообміну в порах більшого розміру. Із зростанням вологості ґрунту  $\beta$  спадає, для піску вже при  $W = 20$  %,  $\beta$  наближується до нуля.

Для піщаних глинистих ґрунтів ТФХ змінюється із температурою значно слабше, ніж з вологістю. Під час заморожування ґрунтів, відбувається стрибок  $\lambda$  у зв'язку з тим, що  $\lambda$  води менша за  $\lambda$  льоду, при цьому  $\beta$  зростає.

В роботі зроблено спробу визначити тип ґрунту шляхом вимірювання його ТФХ. Для двох зразків міського ґрунту з горизонтів 1,65 м (№1) та 3,65 м (№2) одержано залежності  $\lambda(t)$  в інтервалах  $t$  від  $-20$  до  $-5$  °С та від  $+5$  до  $+40$  °С, а також теплоємності  $c(t)$  для  $t$  від  $+15$  до  $+95$ °С. Остання залежність відповідає аналогу (15.14):

$$c = c_0 \cdot (1 + \beta_c \cdot t), \quad (15.15)$$

але для  $c_0$  для зразка № 1 дорівнює 1,044 кДж/(кг·К), для № 2 – 1,202 кДж/(кг·К). Відрізняються також  $\beta_c$ : для зразка № 1 –  $\beta_c = 0,00163$  1/К; для № 2 –  $\beta_c = 0,00135$  1/Т. Щодо (15.14), то  $\beta$  не тільки є дуже різною величиною для зразків, але для замерзлого зразку № 2 вона має від'ємний характер. Залежності  $\lambda(t)$  будувалися лише по трьох точках, можливо, недосить було дослідних даних для узагальнення. Порівняння з ТФХ інших ґрунтів дало висновок – це «суміш глини з домішками піску».

#### 15.4. Закладочні та промислові ґрунти

Для ґрунтів, які застосовуються в будівництві, як закладочні матеріали, інтервал змінення густини та вологості є невеликим, це дає можливість мати певні значення ТФХ та табулювати їх (таблиця 15.2).

Таблиця 15.2

**ТФХ закладочних матеріалів**

| Матеріал                    | W, % | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | c,<br>кДж/(кг·К) | $a \cdot 10^8$ ,<br>м <sup>2</sup> /с | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) |
|-----------------------------|------|-------------------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Глина:<br>суха              | –    | 1488                          | 0,904            | 25,278                                | 29,398                  |
|                             | 7,2  | 1553                          | 1,444            | 45,833                                | 53,304                  |
|                             | 14,9 | 1632                          | 1,583            | 77,222                                | 89,809                  |
|                             | 25,5 | 1741                          | 2,018            | 85,556                                | 99,501                  |
| Пісок дрібний:<br>сухий     | –    | 1526                          | 0,779            | 21,944                                | 25,521                  |
|                             | 3,9  | 1563                          | 0,942            | 28,611                                | 33,275                  |
|                             | 8,5  | 1606                          | 1,290            | 45,000                                | 52,335                  |
|                             | 16,8 | 1587                          | 1,461            | 71,944                                | 83,671                  |
|                             | 17,7 | 1702                          | 1,524            | 74,444                                | 86,579                  |
| Пісок крупний:<br>сухий     | –    | 1460                          | 0,804            | 23,889                                | 27,783                  |
|                             | 4,3  | 1499                          | 1,022            | 33,417                                | 38,864                  |
|                             | 15,6 | 1606                          | 1,532            | 75,083                                | 87,322                  |
|                             | 17,3 | 1630                          | 1,557            | 81,389                                | 94,655                  |
| Шлак гранульований<br>сухий | –    | 574                           | 0,858            | 26,944                                | 31,336                  |
|                             | 14,6 | 689                           | 1,377            | 28,889                                | 33,598                  |
|                             | 24,3 | 774                           | 1,637            | 45,000                                | 52,335                  |

До закладочних та промислових ґрунтів належить торф. В таблиці 15.3 наведено ТФХ різних видів торфу та виробів з нього.

Теплопровідність інфузорного ґрунту (трепелу) та випаленої трепельної цегли наведено в таблиці 15.4.

Таблиця 15.3

## ТФХ торфу та різних виробів з нього

| Матеріал       | $t, ^\circ\text{C}$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $c, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$ |
|----------------|---------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Торф:          |                     |                       |                                       |                                   |                                     |
| подріблений    | 20                  | 200                   | 0,059                                 | 1,507                             | 19,861                              |
| кусковий       | 20                  | 245                   | 0,070                                 | 1,758                             | 2,306                               |
| фрезерний      | 25                  | 700                   | 0,302                                 | 2,931                             | 14,833                              |
| брикет         | 10                  | 810                   | 0,291                                 | 3,014                             | 12,000                              |
|                | 15                  | 890                   | 0,407                                 | 3,349                             | 13,806                              |
| Торф'яні плити | -6                  | 390                   | 0,454                                 | 1,968                             | 59,167                              |
|                | -6                  | 460                   | 0,454                                 | 2,052                             | 48,333                              |
|                | -13                 | 180                   | 0,093                                 | 1,800                             | 30,000                              |
|                | -71                 | 400                   | 0,349                                 | 1,926                             | 44,722                              |

Таблиця 15.4

## Теплопровідність трепелу та трепельної цегли

| Матеріал         | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ при $t, ^\circ\text{C}$ |       |       |       |
|------------------|-----------------------|---|-------|-------|-------|
|                  |                       | 0   | 50    | 100   | 150   |
| Інфузорний ґрунт | 350                   | 0,060   | 0,070 | 0,077 | 0,081 |
| Трепельна цегла  | 2000                  | 0,074   | 0,083 | 0,087 | 0,064 |

Важливим промисловим ґрунтом України є бентонітова глина, яка широко застосовується в сільському господарстві, харчовій промисловості, хімічній та фармацевтичній промисловості, в газо– та нафтодобувній тощо.

ТФХ вихідної бентонітової породи в інтервалі  $t = 5 - 95^\circ\text{C}$ ,  $W = 20\%$ ,  $\rho = 1930 \text{ кг/м}^3$  при  $t = 25^\circ\text{C}$

$$c = 1,463 + 0,00163 \cdot t \pm 0,015 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)} \quad (15.16)$$

$$\lambda = 0,903 + 0,00122 \cdot t \pm 0,024 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)} \quad (15.17)$$

Теплоємність порошку вихідної бентонітової глини при  $W = 5,89\%$  і  $5 < t < 95^\circ\text{C}$ :

$$c = 1,052 + 0,00141 \cdot t \pm 0,025 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)} \quad (15.18)$$

Теплоємність сухої речовини бентонітової глини в межах  $15 < t < 95^\circ\text{C}$

$$C_{c,p} = 0,858 + 0,0014 \cdot t \pm 0,025 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)} \quad (15.19).$$



Теплопровідність сухого порошку глини з розміром частинок менше 50 мкм при  $27 < t < 189$  °С

$$\lambda_{c.p.} = 0,209 + 1,966 \cdot 10^{-4} \cdot t + 2,392 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 \pm 0,006 \text{ Вт/(м·К)} \quad (15.20)$$

ТФХ  $\text{Na}^+$  – заміщеної форми бентоніту, одержаної шляхом рідкого заміщення катіонного комплексу глинистого матеріала, наступні.

Теплоємність в Дж/(кг·К) суспензії  $\text{Na}^+$  – заміщеної форми при  $W = 51,9$  % і  $15 < t < 95$  °С :

$$c = 2,407 + 0,00318 \cdot t \pm 0,042 \quad (15.21)$$

При інших  $W$  можна користуватися правилом адитивності

$$c = n \cdot c_{c.p.} + (1 - n) \cdot c_{в.} \quad (15.22)$$

де  $n$  – масова частка,  $c_{в.}$  – теплоємність води.

Теплопровідність в Вт/(м·К) суспензії  $\text{Na}^+$  – заміщеної форми при  $W = 50$  % та  $32 < t < 60$  °С ( $\rho = 1360$  кг/м при  $t = 25$  °С):

$$\lambda = 0,670 + 0,00202 \cdot t \pm 0,025 \quad (15.23)$$

при  $W = 90$  % та  $30 < t < 90$  °С ( $\rho = 1100$  кг/м при  $t = 25$  °С):

$$\lambda = 0,614 + 0,0017 \cdot t \pm 0,018 \quad (15.24)$$

Теплоємність сухого порошка  $\text{Na}^+$  – заміщеної форми бентонітової породи із розміром частинок менше за 50 мкм при  $31 < t < 185$  °С може бути підрахована за (15.24).

### 15.5. Вплив мульчування на ТФХ ґрунтів.

Мульчування, тобто нанесення на поверхню ґрунту спеціально підібраних матеріалів, є агротехнічним прийомом змінення умов тепломасообміну для покращення росту та розвитку рослин. В якості мульчувальних матеріалів використовують соломку, листя, гравій, пісок, папір, плівки, відходи нафтопроводів тощо. Термічний ефект мульчування – це різниця температур ґрунту  $\delta t$  на однаковій глибині мульчованої та відкритої ділянки ґрунту.

З таблиці 15.5. видно, що різні мульчматеріали дають різні термічні ефекти  $\delta t$ , К для однакового ґрунту, а білий мульчпапір дає від’ємну величину  $\delta t$  в будь-яку погоду, тобто його треба застосовувати від надлишкового перегрівання

грунту.

Таблиця 15.5

**Термічний ефект в ґрунті**

| Мульчматеріал          | Глибина, м |      |      |        |      |      |
|------------------------|------------|------|------|--------|------|------|
|                        | 0,05       | 0,1  | 0,02 | 0,05   | 0,1  | 0,2  |
|                        | Ясно       |      |      | Хмарно |      |      |
| Ацетилцелюлозна плівка | 8,4        | 6,1  | 5,4  | 2,5    | 2,2  | 2,4  |
| Бітум                  | –          | –    | –    | 0,9    | 0,7  | 0,8  |
| Чорний мульчпапір      | 0,9        | 1,2  | 1,3  | 0,6    | 0,5  | 0,5  |
| Білий мульчпапір       | -1,9       | -1,4 | -1,6 | -1,8   | -1,1 | -0,2 |

За іншим джерелом, чорний мульчпапір в ясну погоду може дати  $\delta t$  до 5,6 К, а в хмарну до 1,7 К.

Мульчування торфових ґрунтів світло прозорими поліетиленовими плівками дозволяє мати  $\delta t$  на глибині 0,05 м в день біля 6 К, а вночі біля 3 К.

Співставлення результатів вимірювання ТФХ ґрунту відкритого та мульчованого, теплопритоків через поверхню ґрунтів, потоків падаючої та відбитої радіації із розподілом температур в ґрунті показує, що основним фактором, що визначає  $\delta t$ , є змінення ТФХ ґрунту за рахунок мульчування. В таблиці 15.6. наведено розподіл ТФХ торфового ґрунту без мульчі, а в таблиці 15.7. – з поверхневим шаром піску.

Таблиця 15.6

**ТФХ торфованого ґрунту без мульчі**

| Глибина, м | Густина, кг/м <sup>3</sup> | W, % | Пористість, % | $с\rho \cdot 10^3$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^{-6}$ , м <sup>2</sup> /с |
|------------|----------------------------|------|---------------|--|----------------------|---------------------------------------|
| 0 – 0,03   | 198                        | 29,1 | 86,5          | 1,633  | 0,326                | 0,200                                 |
| 0,1 – 0,13 | 206                        | 49,5 | 84,4          | 2,512  | 0,488                | 0,194                                 |
| 0,2 – 0,23 | 167                        | 48,5 | 89,2          | 2,470  | 0,512                | 0,205                                 |
| 0,3 – 0,33 | 158                        | 50,2 | 89,8          | 2,512  | 0,500                | 0,200                                 |
| 0,5 – 0,53 | 878                        | 20,8 | 65,5          | 2,554  | 1,303                | 0,511                                 |

На ділянці без мульчі, теплопровідність ґрунту біля поверхні складала 0,325, а на ділянці мульчованій – 1,75 Вт/(м·К), тобто в п'ять разів більше. За рахунок цього теплообмін на поверхні покращується.

Температуропровідність теж виросла з  $0,2 \cdot 10^{-8}$  до  $1,24 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с, а з нею

збільшилась здатність до акумулювання теплової енергії. Хоча вночі з поверхні мульчованої ділянки відводиться більше променистої енергії, за добу мульчована ділянка накопичує більше теплової енергії.

Таблиця 15.7

**ТФХ торфяного ґрунту з піскуванням**

| Глибина,<br>м | Густина,<br>кг/м <sup>3</sup> | W,<br>% | Пористість,<br>% | $c\rho \cdot 10^3$<br>кДж/(м <sup>3</sup> ·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^{-6}$<br>м <sup>2</sup> /с |
|---------------|-------------------------------|---------|------------------|---|-------------------------|--|
| 0 – 0,03      | 1531                          | 1,8     | 41,8             | 1,382   | 1,721                   | 1,236                                  |
| 0,03 – 0,06   | 179                           | 43,9    | 88,7             | 2,261   | 0,488                   | 0,217                                  |
| 0,1 – 0,13    | 185                           | 55,6    | 88,3             | 2,763   | 0,488                   | 0,178                                  |
| 0,2 – 0,23    | 169                           | 53,5    | 89,7             | 2,680   | 0,511                   | 0,192                                  |
| 0,3 – 0,33    | 157                           | 53,2    | 89,8             | 2,638   | 0,477                   | 0,181                                  |
| 0,4 – 0,43    | 170                           | 67,5    | 89,9             | 3,266   | 0,488                   | 0,150                                  |
| 0,4 – 0,44    | 1059                          | 45,7    | 58,5             | 2,345   | 1,396                   | 0,597                                  |

**15.6. Тепличні ґрунти**

Основні тепличні ґрунти – то суміші торфу, тирси, гною та суглинку в різних пропорціях. В таблиці 15.6 наведено ТФХ деяких з цих ґрунтів.

Таблиця 15.8

**ТФХ тепличних ґрунтів**

| Ґрунт    |    | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | W,<br>% | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) |
|----------|----|-------------------------------|---------|-------------------------|
| Склад    | %  |                               |         |                         |
| Торф     | 80 | 430                           | 60–90   | 0,28 – 0,46             |
| Тирса    | 20 |                               |         |                         |
| Торф     | 60 | 420                           | 50–70   | 0,52 – 0,77             |
| Тирса    | 20 |                               |         |                         |
| Гній     | 10 |                               |         |                         |
| Суглинок | 10 |                               |         |                         |
| Торф     | 50 | 450                           | 30–50   | 0,23 – 0,44             |
| Гній     | 50 |                               |         |                         |
| Торф     | 40 | 620                           | 30–50   | 0,28 – 0,53             |
| Тирса    | 20 |                               |         |                         |
| Гній     | 20 |                               |         |                         |
| Суглинок | 20 |                               |         |                         |
| Торф     | 20 | 620                           | 30–50   | 0,39 – 0,7              |
| Гній     | 20 |                               |         |                         |
| Суглинок | 60 |                               |         |                         |

В таблиці.15.6 менші межі  $W$  відповідають меншим межам  $\lambda$ , і навпаки.

## 15.7. Матеріали АПК.

### 15.7.1. ТФХ основних матеріалів АПК

Таблиця 15.9

#### Теплофізичні характеристики матеріалів

| Матеріал   | $t$ ,<br>°C | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $c$ ,<br>кДж/(кг·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^6$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|--|-------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Альфоль з повітряними прошарками                           | –           | 3                             | 0,293               | 0,046                   | 52,3                                  |
| Антрацит   | –           | 1440                          | 0,946               | 0,328                   | 0,241                                 |
| Азбест листовий  | 300         | 770                           | 0,818               | 0,116                   | 0,184                                 |
| Азбестоцементні плити і листи (у сухому стані)             | –           | 1800                          | 0,837               | 0,349                   | 0,232                                 |
| Беміт (плити із січки соломи і очерету)                    | –           | 250                           | 1,465               | 0,070                   | 0,191                                 |
| Бітумоперліт (у сухому стані)                              | –           | 400                           | 1,674               | 0,110                   | 0,164                                 |
| Бітуми нафтові у сухому стані (будівельний і покрівельний) | –           | 1300                          | 1,674               | 0,244                   | 0,112                                 |
| Борулін  | –           | 700                           | 1,465               | 0,291                   | 0,284                                 |
| Бітумнолита ізоляція                                       | –           | 180                           | 1,465               | 0,058                   | 0,220                                 |
| Вата мінеральна  | 50          | 200                           | 0,940               | 0,056                   | 0,303                                 |
| Вата мінеральна  | 175         | 300                           | 0,837               | 0,079                   | 0,315                                 |
| Вата мінеральна (з бітумною емульсією)                     | 25          | 390                           | 1,047               | 0,063                   | 0,154                                 |
| Вата мінеральна, скляна                                    | 0           | 200                           | 0,670               | 0,037                   | 0,276                                 |
|  | 30          | 200                           | 0,837               | 0,045                   | 0,269                                 |
|  | 65          | 200                           | 0,837               | 0,054                   | 0,322                                 |
|  | 100         | 200                           | 0,754               | 0,065                   | 0,431                                 |
| Вата мінеральна, авовняна                                  | –30         | 50                            | 1,557               | 0,048                   | 0,616                                 |
|  | 0           | 50                            | 1,679               | 0,054                   | 0,637                                 |
|  | 50          | 50                            | 1,830               | 0,064                   | 0,699                                 |
| Вата мінеральна, бавовняно-паперова                        | –           | 100                           | 0,837               | 0,046                   | 0,550                                 |
| Водорості  | 25          | 110                           | 2,386               | 0,052                   | 0,198                                 |
| Повітря сухе в тонких прошарках                            |             |                               |                     |                         | 58,04                                 |
|  | –           | 1,2                           | 1,005               | 0,070                   | 3                                     |
|  | –           | 1,4                           | 1,005               | 0,326                   | 231                                   |
| Повстіна скляна  | –30         | 50                            | 0,803               | 0,037                   | 0,922                                 |
|  | 0           | 50                            | 0,862               | 0,041                   | 0,974                                 |
|  | 50          | 50                            | 0,929               | 0,048                   | 1,025                                 |
| Повстіна скляна, мінераловатна                             | –           | 250                           | 0,754               | 0,075                   | 0,4                                   |

| Матеріал                                   | $t$ ,<br>°C | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $c$ ,<br>кДж/(кг·К) | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $a \cdot 10^6$ ,<br>м <sup>2</sup> /с |
|--|-------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Повстина вовняна                           | –           | 150                           | 1,968               | 0,058                   | 0,196                                 |
| Волокно азбестове                          | –           | 100                           | 0,837               | 0,052                   | 0,624                                 |
|  | –           | 250                           | 0,837               | 0,081                   | 0,387                                 |
| Газобетон                                  | –           | 450                           | 0,837               | 0,151                   | 0,401                                 |
| Газошлакобетон                             | –           | 450                           | 0,837               | 0,151                   | 0,401                                 |
| Газоскло                                   | 30          | 280                           | 0,837               | 0,1                     | 0,427                                 |
| Гідроізол                                  | –           | 700                           | 1,465               | 0,291                   | 0,284                                 |
| Дерево, береза (стружка)                   | 25          | 154                           | 2,762               | 0,09                    | 0,212                                 |
| Дерево, бук                                | 60          | 700                           | 2,345               | 0,249                   | 0,152                                 |
| Дерево, дуб (вздовж волокон)               | 12          | 819                           | 2,386               | 0,449                   | 0,178                                 |
| Дерево, дуб (поперек волокон)              | 0           | 825                           | 2,386               | 0,198                   | 0,1                                   |
| Дерево, ялина (вздовж волокон)             | –           | 550                           | 2,512               | 0,291                   | 0,211                                 |
|  | –           | 600                           | 2,512               | 0,349                   | 0,232                                 |
| Дерево, ялина (поперек волокон)            | –           | 550                           | 2,512               | 0,174                   | 0,126                                 |
|  | –           | 600                           | 2,512               | 0,232                   | 0,154                                 |
| Дерево, сосна (вздовж волокон)             | –           | 550                           | 2,512               | 0,291                   | 0,211                                 |
|  | –           | 620                           | 2,512               | 0,349                   | 0,224                                 |
| Дерево, сосна (поперек волокон)            | –           | 550                           | 2,512               | 0,174                   | 0,126                                 |
|  | –           | 620                           | 2,512               | 0,232                   | 0,149                                 |
| Дерево, ясьень                             | 60          | 700                           | 2,219               | 0,291                   | 0,17                                  |
| Діатоміт                                   | 5           | 400                           | 0,955               | 0,062                   | 0,162                                 |
| Дерев'яна тирса пресована                  | –           | 300                           | 2,303               | 0,128                   | 0,185                                 |
| Дерев'яні волокнисті плити                 | –           | 150                           | 2,512               | 0,058                   | 0,154                                 |
|  | –           | 250                           | 2,512               | 0,075                   | 0,12                                  |
|  | –           | 600                           | 2,512               | 0,163                   | 0,108                                 |
| Попіл деревини                             | –           | 400                           | 0,837               | 0,0093                  | 0,278                                 |
| Зоноліт                                    | –           | 125                           | 0,837               | 0,093                   | 0,889                                 |
| Комишит                                    | –           | 400                           | 1,465               | 0,14                    | 0,239                                 |
| Картон паперовий волокнистий               | –           | 150                           | 1,465               | 0,0064                  | 0,291                                 |
| Картон паперовий, гофрований               | –           | 200                           | 1,46                | 0,07                    | 0,239                                 |
| Картон паперовий волокнистий,<br>звичайний | –           | 700                           | 1,46                | 0,175                   | 0,17                                  |
| Картон паперовий волокнистий,<br>щільний   | –           | 1000                          | 1,46                | 0,29                    | 0,198                                 |
| Каучук синтетичний                         | –           | 1600                          | 1,62                | 0,214                   | 0,086                                 |
| Клінкер                                    | 30          | 1400                          | 1,42                | 0,163                   | 2                                     |
| Шкіра підошви                              | 30          | 1000                          | 1,424               | 0,163                   | 0,114                                 |
| Шкіра для верху взуття                     | 20          | 720                           | –                   | 0,105                   | 0,082                                 |
| Костриця льняна                            | –           | 150                           | 1,465               | 0,058                   | 0,264                                 |

## 15.7.2. Терморадіаційні характеристики матеріалів і покриття

Таблиця 15.7

### Інтегральна нормальна ступінь чорноти

| Матеріал                                 | Температура, °С | $\varepsilon_{t,n}$ |
|--|-----------------|---------------------|
| Алюмінієва бронза                        | 20              | 0,6                 |
| Алюміній сильно окислений                | 50–500          | 0,2–0,3             |
| Алюмінієве пофарбування                  | 50              | 0,5                 |
| Алюмінієвий лак по шершавій поверхні     | 20              | 0,4                 |
| Алюміній з шершавій поверхнею            | 20–50           | 0,06–0,07           |
| Алюміній полірований                     | 50–500          | 0,04–0,06           |
| Бронза полірована                        | 50              | 0,1                 |
| Бронза пориста, шершава                  | 50–150          | 0,55                |
| Залізо листове оцинковане, блискуче      | 30              | 0,23                |
| Залізо листове оцинковане, окислене      | 20              | 0,28                |
| Бляха біла стара                         | 20              | 0,28                |
| Золото, старанно поліроване              | 200–600         | 0,02–0,03           |
| Латунь полірована                        | 200             | 0,03                |
| Латунь матова, тьмяна                    | 20–350          | 0,22                |
| Латунь листова прокатана                 | 20              | 0,06                |
| Латунь листова, оброблена наждаком       | 20              | 0,2                 |
| Латунь, окислена при 600 °С              | 200–600         | 0,59–0,61           |
| Мідь полірована                          | 50–100          | 0,02                |
| Мідь торгівельна, шабрена до блиску      | 20              | 0,07                |
| Мідь окислена                            | 50              | 0,6                 |
| Нікель технічно чистий, полірований      | 200–400         | 0,07–0,09           |
| Нікель, нанесений на чавунну поверхню    | 50              | 0,05                |
| Срібло чисте, поліроване                 | 200–600         | 0,02–0,03           |
| Сталь листова, шліфувана                 | 950–1100        | 0,55–0,61           |
| Стальне литво поліроване                 | 750–1050        | 0,52–0,56           |
| Сталь, листовий, прокат                  | 50              | 0,56                |
| Сталь з шершавою плоскою поверхнею       | 50              | 0,95–0,98           |
| Сталь іржава червона                     | 20              | 0,69                |
| Сталь окислена                           | 200–600         | 0,8                 |
| Сталь листова з блискучим шаром окисника | 20              | 0,82                |
| Сталь сильно окислена                    | 50              | 0,88                |
| Сталь алітірована                        | 50–500          | 0,79                |
| Сталь нікельована, матова                | 20              | 0,11                |
| Сталь свіжопрокатана                     | 20              | 0,24                |
| Сталь оцинкована                         | 20              | 0,28                |
| Сталь легірована (8%Ni,18%Cr)            | 500             | 0,35                |
| Цинк полірований                         | 200–300         | 0,04–0,05           |
| Цинк окислений при 400 °С                | 400             | 0,11                |
| Цинк листовий                            | 50              | 0,2                 |

| Матеріал                                  | Температура, °С | $\varepsilon_{t,n}$ |
|---|-----------------|---------------------|
| Чавун обточений                           | 800–1000        | 0,6–0,7             |
| Чавун, окислений при 600 °С               | 200–600         | 0,64–0,78           |
| Чавунне лиття                             | 50              | 0,81                |
| Азбестовий папір                          | 40–400          | 0,93–0,94           |
| Азбестовий картон                         | 20              | 0,96                |
| Азбошифер                                 | 20              | 0,96                |
| Папір                                     | 20              | 0,8–0,9             |
| Вода (шар товщиною 0,1 мм і більше)       | 50              | 0,95                |
| Змочена металічна поверхня                | 20              | 0,98                |
| Гіпс                                      | 20              | 0,8–0,9             |
| Дерево стругане                           | 20              | 0,8–0,9             |
| Кварц плавлений, шорсткий                 | 20              | 0,93                |
| Цегла вогнетривка, слабо випромінююча     | 500–1000        | 0,65–0,75           |
| Цегла вогнетривка, сильно випромінююча    | 500–1000        | 0,8–0,9             |
| Цегла шамотня                             | 20              | 0,85                |
|   | 1000            | 0,75                |
|   | 1200            | 0,59                |
| Цегла вогнетривка, динасова               | 1000            | 0,66                |
| Цегла динасова, неглазурована, шорстка    | 1000            | 0,8                 |
| Цегла динасова, глазурована, шорстка      | 1100            | 0,85                |
| Цегла вогнетривка, корундова              | 1000            | 0,46                |
| Цегла вогнетривка, магнезитова            | 1000–1300       | 0,38                |
| Цегла червона, шорстка                    | 20              | 0,88–0,93           |
| Цегляна кладка поштукатурена              | 20              | 0,94                |
| Лак чорний матовий                        | 40–100          | 0,96–0,98           |
| Лак чорний блискучий розпилений на залізо | 20              | 0,87                |
| Лак білий                                 | 40–100          | 0,8–0,95            |
| Масляні фарби різноманітних кольорів      | 100             | 0,92–0,96           |
| Мрамур сіруватий полірований              | 20              | 0,93                |
| Гума тверда                               | 20              | 0,95                |
| Гума м'яка сіра шорстка                   | 20              | 0,86                |
| Сажа лампова                              | 20–400          | 0,95                |
| Сажа з рідким склом                       | 20–200          | 0,96                |
| Сажа, нанесена на тверду поверхню         | 50–1000         | 0,96                |
| Сніг                                      | –               | 0,96                |
| Скло                                      | 20–100          | 0,94–0,91           |
|   | 250–1000        | 0,87–0,72           |
|   | 1100–1500       | 0,7–0,67            |
| Толь                                      | 20              | 0,93–0,91           |
| Вугілля                                   | 100–600         | 0,81–0,79           |
| Фарфор глазурований                       | 20              | 0,92                |
| Шелак чорний, блискучий на залізі         | 20              | 0,82                |

| <b>Матеріал</b>      | <b>Температура, °С</b> | <b><math>\epsilon_{t,n}</math></b> |
|----------------------|------------------------|------------------------------------|
| Шелак чорний-матовий | 75–150                 | 0,91                               |
| Шлаки котельні       | 0–100                  | 0,97–0,93                          |
|                      | 200–500                | 0,89–0,78                          |
|                      | 600–1200               | 0,76–0,70                          |
|                      | 1400–1800              | 0,69–0,67                          |
| Емаль біла           | 20                     | 0,9                                |



## ЛІТЕРАТУРА

1. Александров А.А., Трахтенгерц М.С. Теплофизические свойства воды при атмосферном давлении, — М.: Изд-во стандартов, 1977.- 100 с.
2. Бедип Ф.П., Балан Е.Ф., Чумак Н.И. Сохранность фруктов, овощей и зерна. Одесса: Холодильная техника и технология, 2000. – 451 с.
3. Богданов С.Н., Иванов О.П., Куприянова А.В. Холодильная техника, Свойства веществ. Л.: Машиностроение, 1976. – 168 с.
4. Богданов С.Н., Иванов О.П., Куприянова А.В. Холодильная техника. Свойства веществ: Справ.- М.: Агропромиздат, 1985.- 208 с.
5. Буляндра О.Ф., Сінат-Радченко П.Д. Розрахунок термодинамічних характеристик води в умовах харчової енергетики // Розроблення та впровадження прогресивних ресурсощадних технологій та обладнання в харчову та переробну промисловість: Тези доп. міжнар. наук.-техн. конф., 21-24 жовт. 1997р. - К: УДУХТ, 1097- с. 158.
6. Буляндра О.Ф., Сінат-Радченко П.Д. Термодинамічні похідні для води в умовах харчових технологій: Тези доп. міжнар. наук.-техн. конф., 21-24 жовт. 1997. - с. 158.
7. Винников С.Д., Проскуряков Б.В. Гидрофизика - Л: Гидрометеиздат, 1988.- 248 с.
8. Вода в пищевых продуктах / Пер. с англ.; Под ред. Р.Б. Дакуорта.- М.: Пищ. пром-сть, 1980.- 376 с.
9. Вода и водные растворы при температурах ниже 0°C / Под ред. Ф. Франкса. - К.: Наук, думка, 1985. - 388 с.
10. Воронец Д., Козин Д. Влажный воздух: термодинамические свойства и применение. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 136 с.
11. Геращенко О.А., Федоров В.Г. Техника теплотехнического эксперимента. К.: Наукова думка, 1964, – 164 с.
12. Гинзбург А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности, М.: Пищ. пром-сть, 1966. – 408 с.

13. Гинзбург А.С., Громов МЛ., Красовская Г.И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. – М.: Пищ. пром-сть, 1980. – 288 с.
14. Жадан В.З. Теплофизические основы хранения сочного растительного сырья на пищевых предприятиях. М.: Пищ. пром-сть, 1976, – 238 с.
15. Зацепина Г.Н. Физические свойства и структура воды. - М.: Изд-во МГУ, 1987. – 171 с.
16. Инфракрасные спектры пищевых продуктов / Под ред. В. Д. Попова. – М. : Пищ. пром-сть, 1976. – 176 с.
17. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергия, 1975. – 488 е.
18. Кивенко С.Ф. Производство молочных консервов. – М.: Пищ. пром-сть, 1969. – 160 с.
19. Косой В.Д., Меркулов М.Ю., Юдина С.Б. Контроль качества молочных продуктов методами физико-химической механики. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 208 с.
20. Крокстон К. Физика жидкого состояния. - М.: Мир, 1978.- 400 с.
21. Кук Г.Л. Процессы и аппараты молочной промышленности. – М.: Пищ. пром-сть, 1973. – 767 с.
22. Лосев К.С. Вода. Л.: Гидрометеиздат, 1989, – 272 с.
23. Манк В.В., Лебовка И.И. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса воды в гетерогенных системах.- К.: Наук, думка, 1988. - 204 с.
24. Маэно Н. Наука о льде /Пер. с япон. - М.: Мир, 1988.-231 с.
25. Молоко. Молочные продукты и консервы молочные. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 448 с.
26. Назинцев Ю.Л., Дмитраш Ж.А., Моисеев В.И. Теплофизические свойства морского льда. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1988.- 260 с.
27. Новичонок Л.И., Шульман З.П. Теплофизические свойства полимеров. Минск.: Наука и техника, 1971. – 118 с.
28. Пахомов В.Н. Разработка приборов и комплексное исследование теплофизических характеристик лабильных материалов (применительно к

- продуктам маслоделия): Автореф. дис. на соиск. науч. степ. канд. техн. наук; Ин-т технической теплофизики АН УССР. – К., 1980. – 22 с.
29. Синат-Радченко Д.Є. Фізичні властивості води і повітря в умовах роботи підприємств харчової та мікробіологічної промисловості. – К.: УДУХТ, 2000. – 24 с.
  30. Справочник по производству мороженого / Ю.О.Оленев, Творогова А., Казакова Н.В., Соловьева Л.Н. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 798 с.
  31. Теплометрия в сельском хозяйстве / Б.Х.Драганов, С.А.Сажина, Ю.М.Сергиенко, В.Г.Федоров. – К.: УСХА, 1993. – 280 с.
  32. Теплотехніка: Курс лекцій / О.І.Кепко, В.Г.Федоров, В.О.Виноградов-Салтиков. – Умань: УНУС, 2010. – 127 с.
  33. Технология детских и диетических молочных продуктов: Справочник / П.Ф.Крашеникин, Л.Н.Иванов, В.С.Медузов и др. – М.: Агропромиздат, 1988. – 232 с.
  34. Технологія незбираних номолочних продуктів / Т.А.Скорченко, Г.Є.Поліщук, О.В.Грек, О.В.Кочубей. – Вінниця: Нова книга, 2005. – 264 с.
  35. Федоров В.Г. Основы тепломассометрии. – К.: Вища шк., 1987. – 184 с.
  36. Федоров В.Г. Теплометрия в пищевой промышленности. – М.: Пищ. пром-сть, 1974. – 174 с.
  37. Характеристики капиллярно-пористых материалов. / С.А.Вишневский, В.С.Каштан и др./ К.: Вища школа, 1988. – 168 с.
  38. Химический состав пищевых продуктов./Ред. А.А. Покровский/ М.: Пищ. пром-сть, 1976. – 228 с.
  39. Хімічний склад і фізичні характеристики молочних продуктів. Довідник / О.М.Скарбовійчук, О.В.Кочубей-Литвиненко, О.А.Чернюшок, В.Г.Федоров. – К.: НУХТ, 2012. – 311 с.
  40. Храмов А.Г., Василисин С.В. Промышленная переработка вторичного молочного сырья. – М: ДеЛи принт, 2003. – 100 с.
  41. Чудновский А.Ф. Теплообмен в дисперсных средах. М.: Физматгиздат, 1962. – 456 с.

42. Чудновский А.Ф. Теплофизика почв. М.: Наука, 1976. –354 с.
43. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М.: Техтеориздат, 1954. – 444 с.
44. Шишко Г.Г., Потапов В.Я., Злобин Л.Л. Отопление и вентиляция теплиц. К.: Будівельник, 1984. – 112 с.

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- А
- Абрикоси, 281, 282, 283, 284  
абсолютний тиск суміші, 35  
Абсолютно  
- біле тіло, 23  
- дзеркальне тіло, 23  
- чорне тіло, 23  
Агрус, 294, 296  
Айва, 273, 274  
Апельсини, 286, 289  
Арахіс, 329  
Артишок, 233
- Б
- Баклажани, 247, 248, 249  
Баранина, 86, 87  
Білок, 66, 106  
Бісквіт, 74  
Боби, 254, 255, 256  
- какао, 63  
- кормові, 327  
бринза, 187  
Бруква, 221, 222, 224, 225  
Бульйони, 97, 98  
Буряк  
- відварний, 213  
- кормовий, 212  
- цукровий, 163
- В
- Вафельні листи, 75  
Вершки, 179, 189, 206  
Виноград, 290, 295, 296  
Виноробство, 144  
Випарна здатність  
- апельсинів та мандаринів, 290  
- буряка, 214  
- винограду, 297  
- горошку зеленого, 256  
- картоплі, 193  
- м'яса, 83  
- моркви, 221  
- томатів, 249  
- цибулі, 237  
- яблук, 275  
Вироби із картоплі, 202  
Відбивна здатність, 31
- Водний екстракт кави, 62  
Вологе повітря, 35, 36  
вологість, 66, 68, 193, 310, 314, 332  
Вологість повітря  
- абсолютна, 36  
- відносна, 36  
вологоміст, 36
- Г
- Галети, 76  
Гарбуз, 237, 241  
Герань, 323  
Горобина, 273, 274  
Горох, 251, 256, 324  
Гранули, 204  
Гриби, 257, 258  
Груші, 271, 274  
Густина, 113  
- дійсна, 18  
- насипна, 18  
- пари, 22  
- повітря, 34  
- потоку, 22
- Д
- Дині, 240, 241
- Е
- Ентальпія, 19  
Ентальпія вологого повітря, 36  
ентропія, 12, 19, 170  
Ефективна теплоємність, 56, 133
- Ж
- желе, 265  
Жир  
- баранячий, 132  
- кістковий, 134  
- молочний, 183  
- свинячий, 135  
- сирець, 132  
- яловичий, 131  
Жири кулінарні, 141  
Жито, 304, 306  
Жовток, 68  
Жом, 166  
Журавлина, 294

- З  
Зміна густини, 55, 200, 252
- І  
Інтегральна проникливість, 57
- К  
Кабачки, 238, 241  
Кава, 60, 61  
Кавуни, 241  
Казеїн, 187, 188  
Какао  
- боби, 63  
- масло, 63  
- порошок, 65  
- терте, 65  
Капуста  
- білокачанна, 225, 227, 228  
- брюссельська, 227, 228  
- квашена, 230  
- кольрабі, 227, 228  
- савойська, 228  
- спаржева, 228  
- тушкована, 206, 229  
- цвітна, 227  
Карамель, 72  
Карамельна маса, 73  
Карамельний сироп, 72  
Картопля  
- при варінні і нагріванні, 193  
- при зберіганні, 192  
- при обсмажуванні, 196  
- при охолодженні та заморожуванні, 197  
- при сушінні, 199  
- свіжа, 190  
- тушкована, 206  
- фрі, 205  
Квасоля, 249, 251, 256, 325  
Кефір, 189  
Кизил, 282, 283, 284  
Кінематична в'язкість, 28, 35, 37, 124, 129, 138, 168  
Кістки, 60, 94  
Ковбаси  
- безструктурні, 89  
- варені, 93  
- напівкопчені, 93  
- сирокоччені, 90  
- структурні, 90  
Ковбасні вироби, 89  
Коефіцієнт  
- ізобарного розширення, 27  
- конвективного теплообміну, 20  
- масовіддачі, 22  
- об'ємного розширення, 12, 20, 184  
- температуропровідності, 48, 63, 108, 172, 192, 194, 196, 267  
- тепловіддачі, 30, 237, 239  
- теплового розширення, 96, 99, 106, 115, 116, 131, 133, 137, 208  
- теплопровідності, 16  
- транспірації, 221, 230, 237, 249, 275, 285, 290, 297  
конвекція, 14, 15  
консистенція, 182  
Коріандр, 323  
Короп, 114, 120  
Кріоскопічна температура, 80  
Кров, 95, 96, 97  
Крохмаль з картоплі, 206  
Крупка, 203  
Кукурудза, 310  
Кут змочування, 21
- Л  
Лаванда, 323  
Лаваш, 54  
Лагман, 54  
Лактоза, 187, 188  
Лимони, 285, 289  
Лосось, 119, 120  
Лящ, 121
- М  
М'ята, 323  
М'якуш хліба, 50  
Макаронне тісто, 59  
Малина, 295, 296  
Мандарини, 285, 289  
Маргарин, 139, 140, 141  
Мармелад, 74  
Масло, 181, 182, 183, 189, 319  
маслянка, 249  
Мед, 79  
Мезга, 291, 294  
Меланж, 69  
Минтай, 110  
Мойва, 122  
Молоко  
- згущене, 176  
- знежирене, 174  
- незбиране, 175  
- пастеризоване, 177  
- сухе, 184  
Морква  
- зберігання, 69, 164, 216  
- обжарювання, 218

- охолодження та заморожування, 219  
- свіжа, 102, 103, 110, 118, 215, 221, 237, 296  
- сушіння, 218  
мус, 266

## Н

Напівфабрикати, 214, 265

## О

Овес, 306  
Огірки, 239, 241  
Окунь, 115  
Олія  
- бавовняна, 125  
- копитна і кісткова, 133  
- кукурудзяна, 129  
- кунжутна, 128  
- оливкова, 127  
- соєва, 129  
- соняшникова, 124  
Органічні кислоти, 256, 274  
Оселедець, 104, 105  
Осетер, 120

## П

Парціальний тиск  
- пари, 35  
- сухого повітря, 36  
Пасивні терморадіаційні характеристики (ТРХ), 23  
Пастернак, 224  
Перець, 246, 247, 248, 249  
Персики, 276, 280, 281, 283, 284  
Петрушка, 224, 225  
Печиво, 76  
Пиво, 150, 151, 152, 153  
Пивоварне виробництво, 150  
Пікша, 118  
Пластівці, 204  
Поверхневий натяг, 21, 26, 28, 151, 161, 176, 180  
Повидло  
- абрикосове, 284  
- яблучне, 266  
пропускна здатність, 23  
Просо, 311  
пульпа, 266  
Пшениця, 298, 299, 304  
Пшеничне тісто, 57, 58  
пюре, 203, 204, 214, 220, 221, 236, 246, 248, 251, 254,  
266, 274

## Р

Ревінь, 233, 237  
Редис, 223, 224, 225

Редька, 224  
Ріпа, 222, 224, 225  
Ряжанка, 189

## С

Салат, 202, 214, 231, 232, 236, 274  
Саломас, 137  
Сардельки, 91, 93  
Сардина, 113  
Свинина, 84, 86  
Селера, 223, 224, 225  
Сир, 186, 187, 189  
Сироватка, 187, 188  
Сироп  
- апельсиновий, 289  
- карамельний, 72  
Сік  
- апельсиновий, 288  
- виноградний, 292  
- лимонний, 286  
скоринка, 50, 57, 58, 75  
Скумбрія, 109, 110, 112  
Сливи, 275, 276, 283, 284  
Сметана, 189  
Смородина, 293, 296  
Сосиски, 91, 92, 93  
соус, 267  
Соя, 326  
Спаржа, 232, 233, 237  
спектральні ТРХ, 23  
Спиртове виробництво, 154  
Стабілізатор, 245, 266  
Ставрида, 117, 118  
Судак, 102  
Суп, 206, 214, 248, 256  
Сусло, 150, 151, 152, 153  
Суспензія, 206  
Сухарі, 55, 56

## Т

Телятина, 87, 88, 89  
Температура  
- мокрого термометра, 35  
- сухого термометра, 35  
Температуропровідність, 18  
Теплоємність, 17  
Теплоємність сухої речовини, 42, 55, 59, 69, 94, 103,  
107, 204, 208, 228, 309, 315, 320, 322, 328, 336  
теплотасвоєння, 20  
Тепломасообмінні характеристики, 21, 193, 221, 230,  
249, 256, 275, 284  
Теплообмін  
- зіткнення, 15

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| - конвективний, 15                                    |   | - ріпчаста, 233, 237                       |   |
| - променистий, 15                                     |   | Цукор – рафінад, 171                       |   |
| - складний, 16  |   | Цукор пісок, 172                           |   |
| Теплопровідність, 14                                  |   |  |   |
| Теплота пароутворення, 33                             |   |  | Ч |
| теплота фазового перетворення, 12                     |   | Часник, 235, 236, 237                      |   |
| Терморадіаційні характеристики, 28, 31, 57, 342       |   | Черешні, 279, 283                          |   |
| Тісто, 38, 39, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 75, 76, 77, 78 |   | Чіпси, 205                                 |   |
| Тісто-хліб, 42, 44, 45, 46, 47                        |   |  |   |
| Томати  |   |  | Ш |
| - при зберіганні, 69, 243                             |   | Шавлія, 323                                |   |
| - при нагріванні, 121, 122, 243                       |   | Шоколад, 71, 72                            |   |
| - при охолодженні та заморожуванні, 244               |   | Шоколадна маса, 72                         |   |
| - при сушінні, 200, 243                               |   | Шпинат, 230, 232, 236                      |   |
| - свіжі, 242  |   |  |   |
| Томатна пульпа, 246                                   |   |  | Щ |
| Томатне масло, 245                                    |   | Щавель, 232, 236                           |   |
| Томатне пюре, 246                                     |   | щільність, 18                              |   |
| Томатопродукти, 244                                   |   | Щука, 106                                  |   |
| Торти, 78   |   |  |   |
| точка роси, 35  |   |  | Я |
| Тріска, 99, 102                                       |   | Яблука                                     |   |
| Троянда казанлик, 323                                 |   | - під час охолодження і заморожування, 264 |   |
| Тунець, 122   |   | - при конвективному сушінні, 263           |   |
|   | У | - свіжі, 260, 274                          |   |
| Узбецькі коржі, 54                                    |   | Яблучне желе, 265                          |   |
|   |   | Яблучний                                   |   |
|   | Х | - компот, 266                              |   |
| Хек, 112  |   | - мус, 74, 266, 268                        |   |
| хліб, 50, 55, 57, 58, 113                             |   | - порошок, 245, 268                        |   |
| Хрін, 224   |   | - сироп, 268                               |   |
|   |   | - сік, 164, 268, 270, 272                  |   |
|   | Ц | ягнятина, 87                               |   |
| Цибуля  |   | Яловичина, 80, 82, 83                      |   |
| - зелена, 236   |   | Ячмінь, 307                                |   |
| - порей, 235  |   |  |   |