

УДК 557.1+663/664

ББК 36.95

Н63

*Рецензенты:* д. т. н. В. Н. Красильников,  
д. т. н. Е. И. Верболоз

**Николаев Б. Л.**

Н63      Тепловые процессы и оборудование для тепловой обработки  
жиродержащих молочных продуктов : учеб.-метод. пособие /  
Б. Л. Николаев, Л. К. Николаев. — СПб. : ГИОРД, 2014. — 296 с.

ISBN 978-5-98879-176-8

В книге широко освещены расчеты теплового оборудования, дано описание устройств и приведены технические характеристики оборудования, в котором используется тепло и холод при производстве молока и молочных продуктов. В приложении приводятся сведения о физико-механических свойствах многих пищевых продуктов, а также характеристики материалов, необходимые при выполнении расчетов существующего и разрабатываемого теплового оборудования. Пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению 151000 «Технологические машины и оборудование».

Издание может быть также полезно бакалаврам, обучающимся по направлению 260200.62 «Продукты питания животного происхождения» (по профилю подготовки «Технология молока и молочных продуктов»), а также инженерно-техническим работникам молочной и других отраслей пищевой промышленности при расчетах теплового оборудования.

УДК 557.1+663/664

ББК 36.95

ISBN 978-5-98879-176-8

© ООО «Издательство “ГИОРД”», 2014

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| <b>ВВЕДЕНИЕ.....</b> | <b>12</b> |
|----------------------|-----------|

## **Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .... 14**

|  |    |
|--|----|
| 1.1. Основные требования к теплообменным аппаратам .....                     | 14 |
| 1.2. Классификация теплообменных аппаратов .....                             | 18 |
| 1.3. Теплоносители и способы нагревания.....                                 | 22 |
| Нагревание водяным паром .....   | 23 |
| Нагревание горячей водой.....  | 28 |
| 1.4. Охлаждающие агенты, способы охлаждения<br>и конденсации .....           | 30 |
| Охлаждение жидкостей водой<br>и низкотемпературными агентами .....           | 30 |
| Охлаждение самоиспарением.....   | 31 |
| Охлаждение паров водой.....  | 32 |
| 1.5. Материалы, применяемые для изготовления<br>теплового оборудования ..... | 36 |
| Металлы и сплавы.....  | 36 |
| Неметаллические материалы.....   | 38 |

## **Глава 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РАСЧЕТА ..... 41**

|  |    |
|--|----|
| 2.1. Определение расхода теплоносителей<br>и хладоносителей..... | 42 |
| 2.2. Основное уравнение теплопередачи .....                      | 45 |
| 2.3. Определение поверхности теплопередачи.....                  | 50 |
| 2.4. Определение средней разности температур.....                | 51 |
| 2.5. Определение температуры стенки.....                         | 58 |
| 2.6. Коэффициенты теплоотдачи и их определение .....             | 64 |

## Оглавление

|  |            |
|--|------------|
| Теплоотдача при вынужденном движении<br>без изменения агрегатного состояния сред .....                           | 66         |
| Теплоотдача при свободном движении<br>без изменения агрегатного состояния сред .....                             | 78         |
| Теплоотдача при кипении жидкости .....   | 79         |
| Теплоотдача при конденсации пара .....   | 81         |
| 2.7. Некоторые частные случаи для расчета коэффициентов<br>теплопередачи и теплоотдачи .....                     | 85         |
| 2.8. Расчеты емкостного оборудования .....   | 88         |
| Расходуемая энергия в емкостном оборудовании<br>с перемешивающими устройствами .....                             | 93         |
| Эффективность перемешивания продукта .....   | 94         |
| Расчет коэффициентов теплоотдачи<br>в емкостном оборудовании с перемешивающими<br>устройствами .....             | 96         |
| Материалы для емкостного оборудования .....  | 100        |
| Расчет изоляции емкости .....  | 101        |
| Прочностные расчеты емкостного оборудования .....  | 103        |
| Технико-экономические показатели емкостного<br>оборудования .....  | 105        |
| 2.9. Гидродинамические расчеты теплообменных<br>аппаратов .....  | 105        |
| Уравнение неразрывности потока .....   | 106        |
| Потеря давления при движении жидкости<br>по трубам .....   | 109        |
| 2.10. Пути интенсификации тепловых процессов<br>в теплообменных аппаратах .....                                  | 115        |
| 2.11. Расчет теплообменных аппаратов .....   | 119        |
| <b>Глава 3. ОБОРУДОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ<br/>ТЕПЛА ИЛИ ХОЛОДА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ<br/>МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ .....</b> | <b>121</b> |
| 3.1. Оборудование для первичного охлаждения молока .....   | 121        |
| Ванна ВО-1000 .....  | 123        |
| Резервуары-охладители ОРМ .....  | 125        |
| Охладители молока ОГ1 .....  | 127        |

|  |     |
|--|-----|
| Установки для приема и первичного охлаждения<br>молока УМО.....              | 128 |
| Резервуары-охладители серии «Быстрица» .....                                 | 129 |
| Резервуары-охладители фирмы ПАКО .....                                       | 132 |
| Установка для приемки, учета и охлаждения<br>молока «Протемол» .....         | 132 |
| Установка для приема, учета и охлаждения молока<br>в потоке ММР .....        | 133 |
| 3.2. Емкостное оборудование .....  | 135 |
| Ванны пастеризации ОПА-600, ОПБ-1000<br>и ОПБ-2500.....                      | 135 |
| Ванны пастеризации Г6-ОПА-600 и Г6-ОПБ-1000 .....                            | 137 |
| Ванны длительной пастеризации ВДП-100,<br>ВДП-200 и ВДП -300.....            | 139 |
| Ванны длительной пастеризации ВСМ-В и ВСМ-П....                              | 141 |
| Ванны длительной пастеризации ВН-0,6 и ВН-1,0 .....                          | 143 |
| Ванны длительной пастеризации<br>с электронагревом РВПЭ .....                | 144 |
| Ванны длительной пастеризации с паровым<br>обогревом РВПП .....              | 146 |
| Емкости длительной пастеризации 10.01П .....                                 | 148 |
| Емкости длительной пастеризации<br>с комбинированным подогревом 10.01ЭП..... | 150 |
| Ванны нормализации ВН .....  | 151 |
| Ванны фирмы ПАКО .....   | 152 |
| Танк универсальный Г2-ОТ-2А .....  | 154 |
| Заквасочники ОЗ и ОЗУ .....  | 155 |
| Заквасочники У-0,35 и У-0,63 .....   | 156 |
| Заквасочные установки РВЗУ .....   | 158 |
| Емкости ОСВ .....  | 159 |
| Емкости РВО.....   | 161 |
| Емкости ВС .....   | 163 |
| Емкости фирмы «Creamatic» .....  | 166 |
| Емкости фирмы «Coavес» .....   | 166 |
| 3.3. Пластинчатые охлаждающие и нагревательные<br>установки .....            | 167 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
|      | Пластинчатые охлаждающие установки ОГО,<br>ОГ1 и ООЛ.....  | 167 |
|      | Пластинчатые нагревательные установки<br>ОНЛ-5, ОНС-10 и ОНС-25.....                                 | 172 |
| 3.4. | Пластинчатые пастеризационно-охлаждающие<br>установки .....  | 173 |
|      | Универсальные пластинчатые пастеризационно-<br>охлаждающие установки ОГУ-2,5, ОГУ-5<br>и ОГУ-10..... | 175 |
|      | Пластинчатые пастеризационно-охлаждающие<br>установки ОГМ .....                                      | 178 |
|      | Пластинчатые пастеризационно-охлаждающие<br>установки ПМР-0,2/1 .....                                | 181 |
|      | Пластинчатая пастеризационно-охлаждающая<br>установка ПМР-0,2/2 .....                                | 183 |
|      | Пластинчатая пастеризационно-охлаждающая<br>установка ПМР-0,2/3 .....                                | 185 |
|      | Пластинчатые пастеризационно-охлаждающие<br>установки ОКЛ и ОПК .....                                | 187 |
|      | Пластинчатые пастеризационно-охлаждающие<br>установки ОГК .....                                      | 189 |
|      | Пластинчатая пастеризационно-охлаждающая<br>установка ОГМС.....                                      | 192 |
|      | Пластинчатые пастеризационно-охлаждающие<br>установки АГМ .....                                      | 195 |
| 3.5. | Трубчатые аппараты и пастеризационно-<br>охлаждающие установки .....                                 | 197 |
|      | Трубчатые аппараты ОУК-5, ОТЛ-5 и Т1-ОУТ-10 .....  | 199 |
|      | Трубчатые аппараты Т1-ОУТ-М, П8-ОЛФ-3<br>и П8-ОУП-5/2,5 .....  | 201 |
|      | Трубчатые пастеризационно-охлаждающие<br>установки П8-ОПО-5 и П8-ОПО-10.....                         | 202 |
| 3.6. | Оборудование для охлаждения творога.....   | 204 |
|      | Охладитель творога Д5-ОТЕ .....  | 204 |
|      | Охладитель творога 209-ОТД.....  | 206 |
|      | Охладитель творога 209-ОТД-1 .....   | 208 |

## Оглавление

|   |            |
|---|------------|
| Охладители творога ОТ-500-П-Ф<br>и ОТ-1000-П-Ф .....                                      | 209        |
| Установка для охлаждения и прессования<br>творога УПТ .....                               | 211        |
| 3.7. Маслообразователи .....  | 213        |
| Мини-маслообразователь П8-ОС-2Т .....   | 213        |
| Маслообразователь Т1-ОМ-2Т .....  | 215        |
| Маслообразователь Я7-ОМ-3Т .....  | 218        |
| Маслообразователь Я7-ОМ-3Т-М .....  | 220        |
| Маслообразователь РЗ-ОУА .....  | 222        |
| Маслообразователи ОМ-3ТМ-4, ОМ-2ТМ<br>и ОМ-3ТМ .....                                      | 224        |
| Маслообразователи-вотаторы типа МСО .....   | 227        |
| Маслообразователь-вотатор МСО-100.3М .....  | 231        |
| Маслообразователи-вотаторы МСО-100.6<br>и МСО-100.6М .....                                | 231        |
| Маслообразователь-вотатор ТВФ-1.3 .....   | 233        |
| <b>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....</b>  | <b>235</b> |
| К главе 1 .....   | 235        |
| К главе 2 .....   | 236        |
| К главе 3 .....   | 238        |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>   | <b>241</b> |
| Приложение 1. Реологические характеристики<br>смеси мороженого крем-брюле .....           | 241        |
| Приложение 2. Реологические характеристики<br>смеси мороженого молочно-шоколадного .....  | 243        |
| Приложение 3. Реологические характеристики<br>смеси мороженого пломбира сливочного .....  | 244        |
| Приложение 4. Реологические характеристики<br>смеси мороженого пломбира шоколадного ..... | 246        |
| Приложение 5. Реологические характеристики<br>маргарина бутербродного «Особый» .....      | 248        |
| Приложение 6. Реологические характеристики<br>маргарина столового «Эра» .....             | 249        |

## Оглавление

---

|   |     |
|---|-----|
| Приложение 7. Реологические характеристики маргарина «Сливочный» .....                                      | 251 |
| Приложение 8. Реологические характеристики маргарина «Сливочный» .....                                      | 253 |
| Приложение 9. Реологические характеристики кулинарного жира «Прима» .....                                   | 254 |
| Приложение 10. Реологические характеристики растительного сала .....  | 256 |
| Приложение 11. Реологические характеристики сыра плавленого «Фруктовый» .....                               | 257 |
| Приложение 12. Реологические характеристики сыра плавленого «Латвийский» .....                              | 259 |
| Приложение 13. Реологические характеристики сыра плавленого «Кисломолочный» .....                           | 261 |
| Приложение 14. Реологические характеристики сыра плавленого «Рокфор» .....                                  | 264 |
| Приложение 15. Реологические характеристики сыра плавленого «Дружба» .....                                  | 266 |
| Приложение 16. Реологические характеристики сыра плавленого «Невский» .....                                 | 268 |
| Приложение 17. Реологические характеристики масла «Веста» .....   | 270 |
| Приложение 18. Реологические характеристики майонеза «Провансаль для салатов» с содержанием жира 36 % ..... | 271 |
| Приложение 19. Реологические характеристики творога жирностью 18 % .....                                    | 274 |
| Приложение 20. Реологические характеристики сметаны жирностью 20 % .....                                    | 275 |
| Приложение 21. Плотность и вязкость цельного молока в зависимости от его температуры .....                  | 276 |
| Приложение 22. Поверхностное натяжение молока и сливок в зависимости от температуры, Н/м .....              | 277 |
| Приложение 23. Плотность составных частей молока, кг/м <sup>3</sup> .....                                   | 278 |
| Приложение 24. Плотность сливок различной жирности в зависимости от температуры, кг/м <sup>3</sup> .....    | 278 |

## Оглавление

---

|   |            |
|---|------------|
| Приложение 25. Удельная теплоемкость молочных продуктов в зависимости от температуры продукта, Дж/(кг·°С).....                    | 279        |
| Приложение 26. Теплофизические свойства сухих молочных продуктов .....  | 279        |
| Приложение 27. Теплофизические свойства мороженого при взбитости его 70 % и плотности 650 кг/м <sup>3</sup> .....                 | 280        |
| Приложение 28. Зависимость коэффициента теплопроводности сгущенного молока от его температуры.....                                | 281        |
| Приложение 29. Физические свойства различных молочных продуктов.....  | 281        |
| Приложение 30. Коэффициент температуропроводности различных молочных продуктов ( $\alpha \cdot 10^{-4}$ , м <sup>2</sup> /ч)..... | 282        |
| Приложение 31. Физические свойства различных растворов хлористого натрия и хлористого кальция .....                               | 283        |
| Приложение 32. Динамические коэффициенты вязкости глицерина .....   | 286        |
| Приложение 33. Средняя удельная теплоемкость некоторых твердых материалов при 0...100 °С, кДж/(кг·К) .....                        | 286        |
| Приложение 34. Средняя удельная теплоемкость некоторых жидкостей, кДж/(кг·К).....   | 287        |
| Приложение 35. Среднее значение тепловой проводимости загрязнений стенок .....  | 287        |
| Приложение 36. Теплофизические свойства сухого насыщенного пара на линии насыщения .....  | 288        |
| Приложение 37. Теплофизические свойства воды .....  | 289        |
| Приложение 38. Теплофизические характеристики различных материалов и веществ.....   | 290        |
| <b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>   | <b>292</b> |