

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Соловьев Дмитрий Александрович

Должность: ректор ФГБОУ ВО Вавиловский университет

Дата подписания: 09.09.2022 13:27:51

Уникальный программный идентификатор:  
528682d78e671e566ab07f01fe1ba2172f735a12

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Саратовский государственный университет генетики,  
биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»**

## **ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ BIOTEХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Методические указания  
по выполнению курсовой работы  
для обучающихся 4 курса  
направления подготовки  
**19.03.01 Биотехнология**  
Направленность (профиль)  
**Биотехнология**

Саратов 2022

УДК 62-93  
ББК 30  
Б43

Процессы и аппараты биотехнологических производств: методические указания по выполнению курсовой работы для обучающихся 4 курса направления подготовки 19.03.01 Биотехнология / Сост. Белова М.В., Скрябина Л.Ю., ФГБОУ ВО Вавиловский университет. - Саратов, 2022.- 20 с.

Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины «Процессы и аппараты биотехнологических производств» и предназначены для обучающихся 4 курса направления подготовки 19.03.01 Биотехнология, содержат требования к выполнению курсовой работы. Направлены на формирование у обучающихся навыков проведения расчетов характерных основных параметров и определяющих размеров аппаратурного оформления процессов, в том числе с учетом оптимизационных требований.

## ВВЕДЕНИЕ

Биотехнологические процессы широко используются в различных отраслях народного хозяйства. Успехи биологических и инженерных наук позволяют создать высокопроизводительные, основанные на промышленных методах управляемые процессы биотехнологического производства ряда пищевых и кормовых продуктов, медикаментов, органических веществ.

Магистральным направлением биотехнологии является всемирная интенсификация производственных процессов. Это достигается не только на основе внедрения новых высокопродуктивных биообъектов, но и путем широкого применения эффективных технологических режимов. Необходимо подобрать подходящий субстрат, разработать конструкцию аппарата, оптимизировать условия культивирования биообъекта, обеспечить автоматический контроль за протеканием биотехнологического процесса, разработать способ выделения и очистки готового целевого продукта.

Процессы биотехнологических производств в большинстве своем значительно сложны и представляют собой сочетание гидродинамических, тепловых, массообменных и механических процессов. При выполнении курсовой работы обучающимся проводится анализ и расчет процесса, определение его оптимальных параметров, а также производится разработка и расчет аппаратуры для проведения процесса.

### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Целью выполнения курсовой работы по дисциплине «Процессы и аппараты биотехнологических производств» является формирование у обучающихся навыков проведения расчетов характерных основных параметров и определяющих размеров аппаратного оформления процессов, в том числе с учетом оптимизационных требований.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- *знать*: в системной классификации процессов по их характерным признакам их взаимосвязь и отличие; принципиальное устройство и характерные особенности аппаратного и схемного оформления основных процессов биотехнологических производств; общие принципы выбора оптимальных режимов процессов и методов расчета определяющих размеров их аппаратного оформления.
- *уметь*: осознанно применять и владеть основами теории в реализации основных технологических процессов биотехнологических производств; проводить расчеты характерных основных параметров и определяющих размеров аппаратного оформления процессов; проводить расчеты по оптимизации процессов биотехнологических производств и их аппаратного оформления.
- *владеть*: навыками проведения расчетов характерных основных параметров и определяющих размеров аппаратного оформления процессов, в том числе с учетом оптимизационных требований.

### 2. ОФОРМЛЕНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА

Расчетно-пояснительная записка должна быть написана четко и аккуратно на одной стороне листов писчей бумаги стандартного формата. Листы должны быть оформлены основными надписями по форме 2 и 2а.

Записка должна быть написана грамотно, без сокращений, с ясно выделенными заголовками. В ней должны быть приведены все требуемые расчеты с четко

выполненными схемами. Примерный объем пояснительной записки –30...35 печатных страниц.

Формулы, используемые в расчете, даются вначале в алгебраической форме, затем следуют пояснения обозначений и размерностей всех входящих в формулу физических величин. После этого подставляются числовые значения физических величин и производятся вычисления.

В тексте записки обязательно наличие ссылок на литературные источники и электронные ресурсы для всех расчетных формул, физических величин и другие данные, взятые из открытых информационных источников.

Ссылки на литературу следует делать в виде заключенного в квадратные скобки номера источника по прилагаемому в конце записки списку использованной литературы.

В пояснительную записку следует обязательно включать технологическую схему, расчетные графики и др. Описание технологической схемы должно быть увязано с ее графическим изображением. Материал в пояснительной записке рекомендуется располагать в следующей последовательности:

1. Титульный лист;
2. Задание на курсовой проект (выполняется на бланке задания – приложение 1);
3. Оглавление, содержащие все разделы пояснительной записки с указанием номера страницы;
4. Введение;
5. Состояние вопроса (в виде литературного обзора по теме);
6. Расчеты, отражающие содержание расчетно-пояснительной записки согласно заданию на проектирование;
7. Заключение, содержащее выводы по выполняемому проекту;
8. Список литературы.

После титульного листа приложить чистый лист бумаги для рецензии и замечаний руководителя.

Графическая часть курсового проекта выполняется на листе формата А1.

Число проекций на чертеже общего вида или сборочных чертежах должно давать полное представление о проектируемом объекте. Лист должен быть максимально заполнен. На чертеже общего вида аппарата надо дать разрезы и сечения, чтобы по возможности полно показать конструкцию аппарата, привести техническую характеристику аппарата, содержащую основные данные об аппарата (назначение, диаметр, длина, температура и давление внутри аппарата вес, основной материал) и технические требования. Спецификацию составляют на отдельных листах (формат А4).

### 3. ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ АППАРАТА

Варианты заданий:

а) выбираются из таблиц исходных данных по двум последним цифрам зачетной книжки;

б) соответственно потребностям определенного производства (по заданию преподавателя).

Примерная тематика курсовых работ:

*Разработка смесителя для приготовления дезинфектанта на основе кристаллического йода*

*Расчет горизонтального кожухотрубного теплообменного аппарата производительностью*

*X т/час*

*Расчет теплообменного аппарата типа «труба в трубе» производительностью X т/час*

*Расчет печного агрегата для выпечки хлеба*

*Расчет трубчатого охладителя молока производительность X т/час*

*Расчет установки скорой фильтрации для станции водоподготовки*

*Расчет теплообменного аппарата для охлаждения стерилизованной питательной среды при изготовлении вакцин на основе внешних мембран*

*Расчет ферментера-инокулятора*

*Расчет ванны для производства творога маложирного*

*Расчет тестомесильной машины*

*Разработка устройства для выделения биомассы опарыша из вермикомпоста*

*Расчет измельчителя для приготовления субстрата на участке выращивания грибов вешенка*

*Расчет измельчителя-смесителя для приготовления кормов для перепелов*

*Расчет пластинчатого охладителя линии получения витаминизированного питьевого молока*

*Расчет двухкорпусной выпарной установки производительностью X кг/с.*

Обучающийся проводит расчет аппаратов. Для выполнения курсовой работы обучающимся используется методика выполнения курсовой работы по ее теме. Проводятся консультации.

#### 4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА АППАРАТОВ

Например, расчет теплообменников содержит тепловой, конструктивный, гидравлический, прочностной, т.е. задача расчета заключается в определении площади теплообменной поверхности и габаритных размеров аппарата

Расчет начинается с составления материального и теплового балансов, из которых определяется количество переданной теплоты.

Например, тепловой баланс для нагрева вещества количеством G от  $t_n$  до  $t_k$  насыщенным паром запишется так:

$$G c_n t_n + D i'' = G c_k t_k + D i' + Q_p, \quad (4.1)$$

значит количество теплоты, необходимое для нагрева:

$$Q = G(c_k t_k - c_n t_n) = D(i'' - i') + Q_p \quad (4.2)$$

Из основного уравнения теплопередачи определяем площадь поверхности теплообмена,  $m^2$

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}}, \quad (4.3)$$

где Q – количество передаваемой теплоты, Дж;

K – коэффициент теплопередачи, Вт/( $m^2 \cdot K$ );

$\Delta t$  - разность температур между нагреваемой средой и греющим агентом, °C.

Начальные и конечные температуры заданы условием, следовательно необходимо определить коэффициент теплопередачи K, Вт/( $m^2 \cdot K$ );

$$K = \left( \frac{1}{\alpha_1} + \sum_1^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (4.4)$$

где  $\delta$  - толщина стенки, м;

$\lambda$  - теплопроводность, Вт/( $m \cdot K$ ) (выбираем из таблиц по температуре)  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - коэффициенты теплоотдачи, Вт/( $m^2 \cdot K$ ), определяемые из формулы критерия Нуссельта.

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \quad (4.5)$$

В свою очередь критерий Нуссельта определяется в зависимости от режима движения жидкости.

Например, при турбулентном режиме движения

$$Nu = 0,23 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (4.6)$$

При переходном режиме

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \left( \frac{Pr_{ж}}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} \quad (4.7)$$

Если движение проходит в кольцевом пространстве, например, в ТА типа труба в трубе, то

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \left(\frac{D}{d}\right)^{0,45} \quad (4.8)$$

Вследствие влияния различия в исходных данных общее решение, пригодное для любого теплообменника, отсутствует, поэтому пользуются различными методами приближенного расчета.

Например, находят порядка пяти значений коэффициента теплоотдачи при различной температуре, затем находят плотности теплового потока, строят график нагрузочной характеристики и находят уточненное значение температуры стенки, по которой находят коэффициент теплоотдачи и теплопередачи. Затем находят площадь поверхности теплообмена и его основные геометрические параметры.

## 5. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ:

- качество содержания работы (достижение сформулированной цели и решение задач исследования, полнота раскрытия темы, системность подхода, отражение знаний литературы и различных точек зрения по теме, нормативно-правовых актов, аргументированное обоснование выводов и предложений);
- соблюдение графика выполнения курсовой работы;
- соответствие содержания выбранной теме;
- соответствие содержания глав и параграфов их названию;
- логика, грамотность и стиль изложения;
- внешний вид работы и ее оформление, аккуратность;
- соблюдение заданного объема работы;
- наличие сносок и правильность цитирования;
- качество оформления рисунков, схем, таблиц, графического материала;
- правильность оформления списка использованной литературы;
- достаточность и новизна изученной литературы;
- правильный расчет конструктивных параметров аппаратов;
- соответствие выполненных чертежей заданию и требованиям ЕСКД и ЕСТД.
- ответы на вопросы при публичной защите работы.

Оценка **«отлично»** выставляется при выполнении курсовой работы в полном объеме; работа отличается глубиной проработки всех разделов содержательной части, оформлена с соблюдением установленных правил; обучающийся свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач, сформулированных в задании; на все вопросы дает развернутые правильные и обоснованные ответы, убедительно защищает свою точку зрения.

Оценка **«хорошо»** выставляется при выполнении курсовой работы в полном объеме; работа отличается глубиной проработки всех разделов содержательной части, оформлена с соблюдением установленных правил; обучающийся твердо владеет теоретическим материалом, может применять его самостоятельно или по указанию преподавателя; на большинство вопросов даны правильные ответы, защищает свою точку зрения достаточно обосновано.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется при выполнении курсовой работы в основном правильно, но без достаточно глубокой проработки некоторых разделов; обучающийся усвоил только основные разделы теоретического материала и по указанию преподавателя (без инициативы и самостоятельности) применяет его практически; на вопросы отвечает неуверенно или допускает ошибки, неуверенно защищает свою точку зрения.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, когда обучающийся не может защитить свои решения, допускает грубые фактические ошибки при ответах на поставленные вопросы или вовсе не отвечает на них.

Положительная оценка проставляется в ведомость и зачетную книжку. обучающийся, получивший неудовлетворительную оценку, повторно допускается к защите, после устранения указанных в рецензии недостатков. В этом случае смена темы не допускается.

## 6. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гнездилова, А. И.** Процессы и аппараты пищевых производств : учебное пособие / А. И. Гнездилова. — Вологда : ВГМХА им. Н.В. Верещагина, 2018. — 115 с. — ISBN 978-5-98076-276-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/130714> — Режим доступа: для авториз. Пользователей.
2. **Гнездилова, А. И.** Расчет калоризатора вакуум-выпарного аппарата : методические указания / А. И. Гнездилова. — Вологда : ВГМХА им. Н.В. Верещагина, 2015. — 41 с. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/130873> (дата обращения: 03.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. **Остриков, А. Н.** Расчет и проектирование сушильных аппаратов : учебное пособие / А. Н. Остриков, М. И. Слюсарев, Е. Ю. Желтоухова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 352 с. — ISBN 978-5-8114-1953-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/105992> (дата обращения: 03.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. **Пелевина, Л. Ф.** Процессы и аппараты : учебник / Л. Ф. Пелевина, Н. И. Пилипенко. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 332 с. — ISBN 978-5-8114-4617-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/131013> — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. **Плёночный вакуум-выпарной аппарат:** учебно-методическое пособие / составители А. И. Гнездилова [и др.]. — Вологда : ВГМХА им. Н.В. Верещагина, 2011. — 22 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/130879>— Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. **Процессы и аппараты пищевых производств и биотехнологии:** учебное пособие / Д. М. Бородулин, М. Т. Шулбаева, Е. А. Сафонова, Е. А. Вагайцева. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 292 с.: ил.
7. **Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и теплообменных процессов :** учебное пособие / А. Н. Остриков, В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова, А. В. Терехина. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 440 с. — ISBN 978-5-8114-3143-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/109507>— Режим доступа: для авториз. пользователей.
8. **Расчет и проектирование массообменных аппаратов:** учебное пособие / А. Н. Остриков, В. Н. Василенко, О. В. Абрамов, А. В. Логинов. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 352 с. — ISBN 978-5-8114-1672-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/56170> (дата обращения: 03.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
9. **Федоров К.М., Гуляева Ю.Н.** Процессы и аппараты пищевых производств. Курсовое проектирование. Ч. 2 Выпарные установки: Учеб.-метод. пособие. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014 40 с. <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1555.pdf>

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

**Саратовский государственный университет генетики,  
биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова**

**Кафедра: "Технологии продуктов питания"**

Факультет \_\_\_\_\_ .

УТВЕРЖДАЮ

Кафедра \_\_\_\_\_ .

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ .

Задание \_\_\_\_\_ .

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ года

**ЗАДАНИЕ**

По курсовой работе обучающегося 4 курса

Тема курсовой работе: \_\_\_\_\_

1. Исходные данные к курсовой работе:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов).

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3. Перечень графического материала с точным указанием обязательных чертежей \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Литература и пособия \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5. Дата выдачи задания: \_\_\_\_\_ .

6. Срок сдачи обучающимся законченного проекта:

±

Руководитель проекта: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / .

Задание принял к исполнению: \_\_\_\_\_ .

**а) Исходные данные для расчета охладителя типа «Труба в трубе»**

По последней цифре шифра зачетной книжки												
Наименование величины	Обозначения	Единицы измерения	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество охлажденного продукта	G	кг/ч	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3400	3800	4200
Начальная температура продукта	tr <sup>н</sup>	°С	20	22	24	26	30	36	74	78	80	86
Конечная температура продукта	tr <sup>к</sup>	°С	2	4	6	8	8	8	16	20	30	40
По предпоследней цифре шифра зачетной книжки												
Наименование величины	Обозначения	Единицы измерения	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Начальная температура рассола	tr <sup>н</sup>	°С	-9,8	-11,4	-10	-13,2	-11,5	-10,8	-10,6	-12,8	-14,2	-14,8
Количество соли в растворе	ξ	%	16	19,5	15	20,5	19,5	21,2	20	19	21	20

**б) Исходные данные для расчета кожухотрубного теплообменного аппарата**

1. Производительность аппарата, тип продукта и теплового агента - задаются преподавателем..
2. Начальная температура продукта принимается равной температуре технологической операции предшествовавшей обработке продукта в разрабатываемом аппарате. (Например начальной и конечной температурой для бульонов задаются в зависимости температур плавления жира, температура воды ниже температуры воздуха в производственном помещении на 2-5 °С)
3. Конечная температура продукта – в зависимости от технологической операции, которая осуществляется в разрабатываемом аппарате.
4. Аппарат – вертикальный, горизонтальный.
5. Давление греющего пара выбирают по температуре, которая на 20-25 °С больше, чем температура конечного продукта.

**Диаметры и толщины стенок холоднокатаных, холоднотянутых и теплотканых труб (размеры, мм)**

Наружный диаметр*	Толщина стенки**	Наружный диаметр*	Толщина стенки**	Наружный диаметр*	Толщина стенки**
5	0,3 – 1,0	30 – 35	0,3 – 5,5	76 – 90	3,0 – 8,5
6; 7	0,3 – 1,5	36	0,4 – 5,5	95 – 102	3,0 – 10
8; 9	0,3 – 2,0	38 – 45	0,4 – 6,0	108	3,5 – 10
10 – 13	0,3 – 2,5	48; 50	0,4 – 7,5	110; 120	3,5 – 12
14 – 17	0,3 – 3,0	51 – 56	0,5 – 7,5	130 – 150	3,5 – 20
18; 19	0,3 – 3,5	57	0,5 – 8,0	160 – 220	4,0 – 22
20 – 24	0,3 – 4,0	60	0,5 – 8,5	250	4,5 – 22
25 – 28	0,3 – 4,5	63 – 75	1,5 – 8,5		

\* В указанных пределах брать из ряда: 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 27; 28; 30; 32; 34; 38; 40; 42; 45; 51; 53; 54; 56; 63; 65; 68; 70; 73; 75; 76; 80; 83; 85; 89; 90; 95; 100; 102; 130; 140; 150; 160; 170; 180; 200; 220 мм.

\*\* В указанных пределах брать из ряда: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10; 11; 12; 14; 16; 18; 20; 22 мм.

Примеры обозначения труб.

Труба из стали 12/18Н10Т с наружным диаметром 25 мм, толщиной стенки 2 мм, обычной точности изготовления, немерной длины:

труба25/2-12/18Н10Е ГОСТ 9941-72

Приложение 4

**Число труб, размещаемых в трубной решетке  
по шестиугольникам и концентрическим окружностям**

Число шестиугольников или окружностей	Разбивка по шестиугольникам						Разбивка по окружностям		
	Число труб по диагонали шестиугольника	Общее число труб без учета сегментов	Число труб			Число труб во всех сегментах	Общее число труб в аппарате	Число труб по наружной окружности	Общее число труб
			В 1-м ряду сегмента	Во 2-м ряду сегмента	В 3-м ряду сегмента				
1	3	7					7	6	7
2	5	79					19	12	19
3	7	37					37	18	37
4	9	61					61	25	62
5	11	91					91	31	93
6	13	127					127	37	130
7	15	169	3			18	187	43	173
8	17	217	4			24	241	50	223
9	19	271	5			30	301	56	279
10	21	331	6			36	367	62	341
11	23	397	7			42	439	69	410
12	25	469	8			48	517	75	485
13	27	547	9	2		66	613	81	566
14	29	637	10	5		90	721	87	653
15	31	721	11	6		102	823	94	747
16	33	817	12	7		114	931	100	847
17	35	919	13	8		126	1045	106	953
18	37	1027	14	9		138	1165	113	1066
19	39	1141	15	12		162	1303	119	1185
20	41	1261	16	13	4	198	1459	125	1310
21	43	1387	17	14	7	228	1615	131	1441
22	45	1519	18	15	8	246	1765	138	1579
23	47	1657	19	16	9	264	1921	144	1723

**Параметры кожухотрубчатых теплообменников и холодильников (по ГОСТ 15118, 15120)**

D кожуха, мм	d труб, мм	Число ходов, z	Общее число труб n, шт.	Поверхность теплообмена F, м <sup>2</sup> , при длине труб l, м							Площадь сечения потока, 1·10 <sup>2</sup> , м <sup>2</sup>		Площадь сечения одного хода по трубам, 1·10 <sup>2</sup> , м <sup>2</sup>
				1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	9,0	в вырезе перегородок	Между перегородками	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
159	20/2	1	19	1,0	2,0	2,5	3,5	-	-	-	0,3	0,5	0,4
	25/2	1	13	1,0	1,5	2,0	3,0	-	-	-	0,4	0,8	0,5
273	20/2	1	61	4,0	6,0	7,5	11,5	-	-	-	0,7	1,0	1,2
	25/2	1	37	3,0	4,5	6,0	9,0	-	-	-	0,9	1,1	1,3
325	20/2	1	100	-	9,5	12,5	19,0	25,0	-	-	1,1	2,0	2,0
		2	90	-	8,5	11,0	17,0	22,5	-	-	1,1	1,6	0,9
	25/2	1	62	-	7,5	10,0	14,5	19,5	-	-	1,3	2,9	2,1
		2	56	-	6,5	9,0	13,0	17,5	-	-	1,3	1,5	1,0
400	20/2	1	181	-	-	23,0	3,0	46,0	68,0	-	1,7	2,5	3,6
		2	166	-	-	21,0	31,0	42,0	63,0	-	1,7	3,0	1,7
	25/2	1	111	-	-	17,0	26,0	35,0	52,0	-	2,0	3,1	3,8
		2	100	-	-	16,0	24,0	31,0	47,0	-	2,0	2,5	1,7
600	20/2	1	389	-	-	49	73	98	147	-	4,1	6,6	7,8
		2	370	-	-	47	70	93	139	-	4,1	4,8	3,7
		4	334	-	-	42	63	84	126	-	4,1	4,8	1,6
		6	316	-	-	40	60	79	119	-	3,7	4,8	0,9
	25/2	1	257	-	-	40	61	81	121	-	4,0	5,3	8,9
		2	240	-	-	38	57	75	113	-	4,0	4,5	4,2
		4	206	-	-	32	49	65	97	-	4,0	4,5	1,8
		6	196	-	-	31	46	61	91	91	3,7	4,5	1,1

800	20/2	1	717	-	-	90	135	180	270	405	6,9	9,1	14,4
		2	690	-	-	87	130	173	260	390	6,9	7,0	6,9
		4	638	-	-	80	120	160	240	361	6,9	7,0	3,0
		6	618	-	-	78	116	155	233	349	6,5	7,0	2,0
					-								
	25/2	1	465	-	-	73	109	146	219	329	7,0	7,9	16,1
		2	442	-	-	69	104	139	208	312	7,0	7,0	7,7
		4	404	-	-	63	95	127	190	285	7,0	7,0	3,0
6		3784	-	-	60	90	121	181	271	6,5	7,0	2,2	
				-									
1000	20/2	1	1173	-	-	-	221	195	442	663	10,1	15,6	23,6
		2	1138	-	-	-	214	286	429	643	10,1	14,6	11,4
		4	1072	-	-	-	202	269	404	606	10,1	14,6	5,1
		6	1044	-	-	-	197	262	393	590	9,6	14,6	3,4
					-								
	25/2	1	747	-	-	-	176	235	352	528	10,6	14,3	25,9
		2	718	-	-	-	169	226	338	507	10,6	13,0	12,4
		4	666	-	-	-	157	209	314	471	10,6	13,0	5,5
6		642	-	-	-	151	202	302	454	10,2	13,0	3,6	
				-									
1200	20/2	1	1701	-	-	-	-	427	641	961	14,5	18,7	34,2
		2	1658	-	-	-	-	417	625	937	14,5	17,6	16,5
		4	1580	-	-	-	-	397	595	893	14,5	17,6	7,9
		6	1544	-	-	-	-	388	582	873	13,1	17,6	4,9
					-								
	25/2	1	1083	-	-	-	-	340	510	765	16,4	17,9	37,5
		2	1048	-	-	-	-	329	494	740	16,4	16,5	17,9
		4	986	-	-	-	-	310	464	697	16,4	16,5	8,4
6		598	-	-	-	-	301	451	677	14,2	16,5	5,2	
				-									

**Фланцевые соединения  
(размеры, мм)  
Стальные плоские приварные фланцы**

					b для p <sub>y</sub>		D <sub>2</sub>	h	d*	Диаметр резьбы болтов или шпилек	Масса (кг) фланцев по ГОСТ			
Проход условный D <sub>y</sub>	d <sub>H</sub>	d <sub>B</sub>	D	D <sub>1</sub>	1; 2,5	6					1255-67 для p <sub>y</sub>		12827-67 для p <sub>y</sub>	
							1 и 2,5	6	1 и 2,5	6				
Фланцы для p <sub>y</sub> = 1÷6 кг·с/см <sup>2</sup>														
10	14	15	75	50	8	10	35	2	12	10	0,25	0,31	0,24	0,30
15	18	19	80	55	8	10	40	2			0,29	0,33	0,27	0,32
20	25	26	90	65	10	12	50	2			0,45	0,53	0,42	0,51
25	32	33	100	75	10	12	60	2			0,55	0,64	0,51	0,62
32	38	39	120	90	10	13	70	2			0,79	1,01	0,75	0,97
40	45	46	130	100	10	13	80	3	14	12	0,95	1,21	0,86	1,12
50	57	59	140	110	10	13	90	3	14	12	1,04	1,33	0,95	1,23
65	76	78	160	130	11	13	110	3	14	12	1,39	1,63	1,27	1,50
80	89	91	185	150	11	15	128	3	18	16	1,84	2,44	1,67	2,28

Прочность условный $D_y$	$d_H$	$d_B$	D	$D_1$	b для $p_y$			$D_2$	h	$d^*$	Диаметр резьбы болтов или шпилек	Масса (кг) фланцев по ГОСТ					
					10	16	25					1255-67 для $p_y$			12827-67 для $p_y$		
												10	16	25	10	16	25
Фланцы для $p_y = 10 \div 25$ кг·с/см <sup>2</sup>																	
10	14	15	90	60	10	12	14	40	2	14	12	0,46	0,54	0,63	0,44	0,52	0,61
15	18	19	95	65	10	12	14	45	2	14	12	0,51	0,61	0,70	0,49	0,58	0,68
20	25	26	105	75	12	14	16	58	2	14	12	0,74	0,86	0,98	0,71	0,83	0,94
25	32	33	115	85	12	16	16	68	2	14	12	0,89	1,17	1,17	0,84	1,12	1,12
32	38	39	135	100	14	16	18	78	2	18	16	1,40	1,58	1,77	1,33	1,52	1,71
40	45	46	145	110	15	17	19	88	3	18	16	1,71	1,96	2,18	1,63	1,85	2,06
50	57	59	160	125	15	19	21	102	3	18	16	2,06	2,58	2,71	1,93	2,44	2,70
65	76	78	180	145	17	21	21	122	3	18	16	2,80	3,42	3,22	2,62	3,24	3,07
80	89	91	195	160	17	21	23	138	3	18	16	3,19	3,71	4,06	2,98	3,68	3,86

\*Число отверстий  $n = 8$  для  $D_y = 65$  и  $80$  при  $p_y = 25$ ; в остальных случаях  $n = 4$ .

Пример обозначения стального плоского фланца с соединительным выступом с  $D_y = 50$  мм,  $p_y = 10$  кг·с/см<sup>2</sup>.

Фланец 50-10 ГОСТ 1255-67.

То ж для фланца без выступа.

Фланец 50-10 ГОСТ 12827-67.

**Физические свойства воды (на линии насыщения)  
Пересчёт в СИ:  $1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}$ .**

$P$ , кгс/см <sup>2</sup>	$t$ , °C	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$J$ , кДж/кг	$c$ , кДж/кг °C	$\lambda \cdot 10^2$ , Вт/м·К	$\alpha \cdot 10^7$ , м <sup>2</sup> /с	$\mu \cdot 10^6$ , Па·с	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	$\beta \cdot 10^4$ , К <sup>-1</sup>	$\sigma \cdot 10^4$ , кг/с <sup>2</sup>	Pr
1	0	1000	0	4,23	55,1	1,31	1790	1,79	-0,63	756	13,7
1	10	1000	41,9	4,19	57,5	1,37	1310	1,31	+0,70	762	9,52
1	20	998	83,8	4,19	59,9	1,43	1000	1,01	1,82	727	7,02
1	30	996	126	4,18	61,8	1,49	804	0,81	3,21	712	5,42
1	40	992	168	4,18	63,4	1,53	657	0,66	3,87	697	4,31
1	50	988	210	4,18	64,8	1,57	549	0,556	4,49	677	3,54
1	60	983	251	4,18	65,9	1,61	470	0,478	5,11	662	2,98
1	70	978	293	4,19	66,8	1,63	406	0,415	5,70	643	2,55
1	80	972	335	4,19	67,5	1,66	355	0,365	6,32	626	2,21
1	90	965	377	4,19	68,0	1,68	315	0,326	6,95	607	1,95
1,03	100	958	419	4,23	68,3	1,69	282	0,295	7,5	589	1,75
1,46	110	951	461	4,23	68,5	1,69	256	0,268	8,0	569	1,58
2,02	120	943	503	4,23	68,6	1,72	231	0,244	8,6	549	1,43
2,75	130	935	545	4,27	68,6	1,72	212	0,226	9,2	529	1,32
3,68	140	926	587	4,27	68,5	1,72	196	0,212	9,7	507	1,23
4,85	150	917	629	4,32	68,4	1,72	185	0,202	10,3	487	1,17
6,30	160	907	671	4,36	68,3	1,72	174	0,191	10,8	466	1,10
8,08	170	897	713	4,40	67,9	1,72	163	0,181	11,5	444	1,05
10,23	180	887	755	4,44	67,5	1,72	153	0,173	12,2	424	1,01

**Коэффициенты теплопроводности некоторых материалов при 0 – 100° C**

Материал	Плотность (для сыпучих материалов насынная плотность), кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Материал	Плотность (для сыпучих материалов насынная плотность), кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
Асбест	600	0,151	Пробковая мелочь	160	1,16
Бетон	2300	1,28	Ржавчина (окалина)		0,098
Винипласт	1380	0,163	Совелит	450	0,698 – 0,814
Войлок шерстяной	300	0,047	Стекло	2500	0,038 – 0,070
Дерево (сосна) поперек волокон	600	0,140 – 0,174	Стекловолоконная вата	200	0,244
» » вдоль волокон	600	0,384	Текстолит	1380	0,064
Кладка из обыкновенного кирпича	1700	0,698 – 0,814	Торфоплиты	220	0,419
» » огнеупорного кирпича	1840	1,05 *	Фаолит	1730	0,076
» » изоляционного кирпича	600	0,116 – 0,209	Шлаковая вата	250	0,872 – 1,163
Краска масляная	3000	2,33	Эмаль	2350	
Лед	216	0,698	<b>М е т а л л ы</b>		203,5
Литье каменное		0,070	Алюминий	2700	64,0
Магнезия 85% в порошке	230	1,163 – 3,49	Бронза	8000	93,0
Накипь, водяной камень	30	0,070 – 0,093	Латунь	8500	384
Опилки древесные	1500	0,047	Медь	8800	34,9
Пенопласт		0,349 – 0,814	Свинец	11400	46,5
Песок сухой		0,047	Сталь	7850	17,5
			» нержавеющая	7900	46,5 – 93,0
			Чугун	7500	

## Физические параметры сухого воздуха при давлении 735,6 мм рт. ст.

Температура, °С	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, $\lambda \cdot 10^2$	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	Коэффициент температуропроводности, $\chi \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	Коэффициент динамической вязкости, $\mu \cdot 10^6$ , Па·с	Коэффициент кинематической вязкости, $\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с
- 50	1,534	2,035	1013	1,3138	14,611	9,54
- 20	1,365	2,256	1009	1,6500	16,279	11,93
0	1,252	2,372	1009	1,8750	17,161	13,70
10	1,206	2,453	1009	2,0011	17,750	14,70
20	1,164	2,523	1013	2,1277	18,240	15,70
30	1,127	2,581	1013	2,2611	18,730	16,61
40	1,092	2,651	1013	2,4027	19,221	17,60
50	1,056	2,721	1017	2,5389	19,613	18,50
60	1,025	2,802	1017	2,6805	20,103	19,60
70	0,996	2,860	1017	2,8278	20,397	20,45
80	0,968	2,930	1021	2,9583	20,986	21,70
90	0,942	3,000	1021	3,1250	21,574	22,90
100	0,916	3,070	1021	3,2778	21,770	23,78
120	0,870	3,198	1026	3,5833	22,751	26,20
140	0,827	3,326	1026	4,2166	23,535	28,45
160	0,789	3,442	1030	4,2361	24,124	30,50
180	0,755	3,570	1034	4,5833	25,006	33,17

Приложение 10

## Теплофизические свойства молока

Температура t, °С	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплоемкость c, кДж/(кг·К)	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·К)	Коэффициент динамической вязкости, $\mu \cdot 10^4$ , Па·с	Кинематическая вязкость $\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с
5	1033	3,615	0,526	29,60	2,685
10	1032	3,853	0,531	24,70	2,393
15	1031	3,854	0,537	21,00	2,039
20	1029	3,855	0,542	17,90	1,7411
30	1026	3,856	0,553	13,30	1,299
40	1021	3,859	0,564	10,40	1,020
50	1017	3,864	0,575	8,50	0,837
60	1011	3,869	0,586	7,10	0,703
70	1006	3,879	0,597	6,20	0,617
80	1000	3,893	0,608	5,70	0,571

Приложение 11

Значения  $\zeta_l$  при турбулентном потоке

Re <sub>f</sub>	Значение $\zeta_l$ при отношении L/D							
	1	2	5	10	15	20	30	40
1·10 <sup>4</sup>	1,65	1,50	1,34	1,23	1,17	1,13	1,07	1,03
2·10 <sup>4</sup>	1,51	1,40	1,27	1,18	1,13	1,10	1,05	1,02
5·10 <sup>4</sup>	1,34	1,27	1,18	1,13	1,10	1,08	1,04	1,02
1·10 <sup>5</sup>	1,28	1,22	1,15	1,10	1,08	1,06	1,03	1,02
1·10 <sup>6</sup>	1,14	1,11	1,08	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01

Примечание: При L/D=5 коэффициент  $\zeta_l=1$

Значения коэффициентов  $s$  и  $n$  в уравнении Нуссельта

Режим	$(Gr \cdot Pr)_m$	$n$	Расчетное уравнение
Переходной	$1 \cdot 10^{-3} \div 5 \cdot 10^2$	1/8	$Nu_m = 1,18 \cdot (Gr \cdot Pr)_m^n$
Ламинарный	$5 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^7$	1/4	$Nu_m = 0,54 \cdot (Gr \cdot Pr)_m^n$
Вихревой	$2 \cdot 10^7 \div 1 \cdot 10^{13}$	1/3	$Nu_m = 0,135 \cdot (Gr \cdot Pr)_m^n$

## Свойства насыщенного водяного пара в зависимости от давления

Давление (абсолютное) $P$ , МПа	Температура $t$ , °С	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота парообразования $r$ , кДж/кг
			жидкости $i'$	пара $i''$	
0,0010	6,6	0,00750	27,7	2506	2478
0,0015	12,7	0,01116	53,2	2518	2460
0,0020	17,1	0,01465	71,6	2526	2455
0,0025	20,7	0,01809	86,7	2533	2447
0,0030	23,7	0,02149	99,3	2539	2440
0,0040	28,6	0,02820	119,8	2548	2429
0,0050	32,5	0,03481	136,2	2556	2420
0,0060	35,8	0,04133	150,0	2562	2413
0,0080	41,1	0,05420	172,2	2573	2400
0,0100	45,4	0,66860	192,2	2581	2390
0,0120	49,0	0,07937	205,3	2588	2382
0,0150	53,6	0,09789	224,6	2596	2372
0,0200	59,7	0,12830	250,1	2607	2358
0,0300	68,7	0,18760	287,9	2620	2336
0,0400	75,4	0,24560	315,9	2632	2320
0,0500	80,9	0,30270	339,0	2642	2307
0,0600	85,5	0,35900	358,2	2650	2296
0,0700	89,3	0,41470	375,0	2657	2286
0,0800	93,0	0,46990	389,7	2663	2278
0,0900	96,2	0,52460	403,1	2668	2270
0,1000	99,1	0,57900	415,2	2677	2264
0,1200	104,2	0,68650	437,0	2686	2249
0,1400	108,7	0,79310	456,3	2693	2337
0,1600	112,7	0,89800	473,1	2703	2227
0,1800	116,3	1,00300	483,6	2709	2217
0,2000	119,6	1,10700	502,4	2710	2208
0,3000	132,9	1,61800	558,9	2730	2170
0,4000	142,9	2,12000	601,1	2744	2141
0,5000	151,1	2,61400	637,7	2754	2117
0,6000	158,1	3,10400	667,9	2768	2095
0,7000	164,2	3,59100	694,3	2769	2075
0,8000	169,6	4,07500	718,4	2776	2057

## Свойства насыщенного водяного пара в зависимости от температуры

Пересчёт в СИ:  $1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 * 10^4 \text{ Па}$ 

Температура, °С	Давление (абсолютное) кгс/см <sup>2</sup>	Удельный объём, м <sup>3</sup> /кг	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Удельная энтальпия жидкости $i'$ , кДж/кг	Удельная энтальпия пара $i''$ , кДж/кг	Удельная теплота парообразования $r$ , кДж/кг
0	0,0062	206,5	0,00484	0	2493,1	2493,1
5	0,0089	147,1	0,00680	20,95	2502,7	2481,7
10	0,0125	106,4	0,00940	41,90	2512,3	2470,4
15	0,0174	77,9	0,01283	62,85	2522,4	2459,5
20	0,0238	57,8	0,01729	83,80	2532,0	2448,2
25	0,0323	43,40	0,02304	104,75	2541,7	2436,9
30	0,0433	32,93	0,03036	125,70	2551,3	2425,6
35	0,0573	25,25	0,03960	146,65	2561,0	2414,3
40	0,0752	19,55	0,05114	167,60	2570,6	2403,0
45	0,0977	15,28	0,06543	188,55	2579,8	2391,3
50	0,1258	12,054	0,0830	209,50	2589,5	2380,0
55	0,1605	9,589	0,1043	230,45	2598,7	2368,2
60	0,2031	7,687	0,1301	251,40	2608,3	2356,9
65	0,2550	6,209	0,1611	272,35	2617,5	2345,2
70	0,3177	5,052	0,1979	293,30	2626,3	2333,0
76	0,393	4,139	0,2416	314,3	2636	2321
80	0,483	3,414	0,2929	335,2	2644	2310
83	0,590	2,832	0,3531	356,2	2653	2297
90	0,715	2,365	0,4229	377,1	2662	2285
95	0,862	1,985	0,5039	398,1	2671	2273
100	1,033	1,675	0,5970	419,0	2679	2260
105	1,232	1,421	0,7036	440,4	2687	2248
110	1,461	1,212	0,8254	461,3	2696	2234
115	1,724	1,038	0,9635	482,7	2704	2221
120	2,025	0,893	1,1199	504,1	2711	2207
125	2,367	0,7715	1,296	525,4	2718	2194
130	2,755	0,6693	1,494	546,8	2726	2179
135	3,192	0,5831	1,715	568,2	2733	2165
140	3,685	0,5096	1,962	589,5	2740	2150
145	4,238	0,4469	2,238	611,3	2747	2125
150	4,855	0,3933	2,543	632,7	2753	2120
160	6,303	0,3075	3,252	654,1	2765	2089
170	8,080	0,2431	4,113	719,8	2776	2056
180	10,23	0,1944	5,145	763,8	2785	2021
190	12,80	0,1568	6,378	808,3	2792	1984
200	15,85	0,1276	7,840	852,7	2798	1945
210	19,55	0,1045	9,567	897,9	2801	1904
220	23,66	0,0862	11,600	943,2	2803	1860
230	28,53	0,07155	13,98	989,3	2802	1813
240	34,13	0,05967	16,76	1035	2799	1763
250	40,55	0,04998	20,01	1082	2792	1710
260	47,85	0,04199	23,82	1130	2783	1653
270	56,11	0,03538	28,27	1178	2770	1593
280	65,42	0,02988	33,47	1226	2754	1528
290	75,88	0,02525	39,60	1275	2734	1459
300	87,6	0,02131	46,93	1327	2710	1384
310	100,7	0,01799	55,59	1380	2682	1302
320	115,2	0,01516	65,95	1437	2650	1213
330	131,3	0,01273	78,53	1498	2613	1117
340	149,0	0,01064	93,98	1564	2571	1009
350	168,6	0,00884	113,2	1638	2519	881,2
360	190,3	0,00716	139,6	1730	2444	713,6
370	214,5	0,00585	171,0	1890	2304	411,5
374	225	0,00310	322,6	2100	2100	0

## Физические свойства хлористого натрия

$\xi$ , %	Температура $t$ , °C	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплоемкость $c$ , кДж/(кг К)	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(мК)	Коэффициент динамической вязкости, $\mu 10^4$ , Па*с	Кинематическая вязкость $\nu 10^6$ , м <sup>2</sup> /с
7	20	1050	3,843	0,593	10,78	1,03
	10		3,835	0,576	14,12	1,34
	0		3,827	0,559	18,73	1,78
	-4		3,818	0,556	21,58	2,06
11	20	1080	3,697	0,593	11,47	1,06
	10		3,684	0,570	15,20	1,41
	0		3,676	0,556	20,20	1,87
	-5		3,672	0,549	24,42	2,26
	-7,5		3,672	0,545	26,48	2,45
13,6	20	1100	3,609	0,593	12,26	1,12
	10		3,601	0,568	16,18	1,47
	0		3,588	0,554	21,48	1,95
	-5		3,584	0,547	26,08	2,37
	-9,8		3,580	0,540	34,32	3,13
16,2	20	1120	3,534	0,573	13,14	1,20
	10		3,525	0,569	17,26	1,57
	0		3,512	0,552	22,26	1,98
	-5		3,508	0,544	28,34	2,58
	-10		3,504	0,535	34,91	3,18
	-12,2		3,509	0,533	42,17	3,84
18,8	20	1140	3,462	0,582	14,32	1,26
	10		3,454	0,566	18,54	1,63
	0		3,442	0,550	25,60	2,25
	-5		3,433	0,542	31,18	2,74
	-10		3,429	0,533	38,74	3,40
	-15		3,425	0,524	47,76	4,19
21,2	20	1160	3,396	0,579	15,49	1,33
	10		3,383	0,563	20,10	1,73
	0		3,375	0,547	28,24	2,44
	-5		3,366	0,539	34,42	2,96
	-10		3,362	0,530	43,05	3,70
	-15		3,358	0,522	52,76	4,55