

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

**ФГБОУ ВПО
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

КАФЕДРА МАШИН И АППАРАТОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

**РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МАШИН
И АППАРАТОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

**Программа курса, методические указания
и задания к контрольным работам**

**Для студентов, обучающихся по направлению
151000 – «Технологические машины и оборудование»,
заочной формы обучения**

**ВОРОНЕЖ
2013**

УДК 621.01.001:663/665.3.010

Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств [Текст] : программа курса, методические указания и задания к контрольным работам / Воронеж. гос. ун-т инж. техн. ; сост. А. В. Прибытков, В. В. Пойманов. – Воронеж: ВГУИТ, 2013. – 20 с.

Методические указания и задания к контрольной работе разработаны в соответствии с требованиями ФГОС по направлению 151000 – «Технологические машины и оборудование».

Они предназначены для закрепления теоретических знаний дисциплин специализаций. Приведены содержание дисциплины, условия контрольных задач, методические указания по их решению и рекомендуемая литература.

Библиогр.: 7 назв.

Составители: доценты А.В. ПРИБЫТКОВ, В.В. ПОЙМАНОВ

Научный редактор профессор С.Т. АНТИПОВ

Рецензент канд. техн. наук. А.С. РУДОМЕТКИН

(ООО «Келлог Рус»)

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
Воронежского государственного
университета инженерных технологий

© Прибытков А.В.,
Пойманов В.В., 2013
© ФБГОУ ВПО «Воронежский
государственный
университет
инженерных
технологий», 2013

Оригинал-макет данного издания является собственностью Воронежского государственного университета инженерных технологий, его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия университета запрещается

ПРОГРАММА КУРСА

Введение

Перспективы развития машиностроения для обрабатывающей промышленности. Значение курса. Необходимость повышения производительности, экономичности, эксплуатационной надежности и безопасности конструкций машин и аппаратов, снижения их материалоемкости.

Задачи и содержание дисциплины. Ее связь с общетехническими, общенаучными и специальными дисциплинами [1, 5].

Выбор материала и влияние его свойств на конструкцию

Требования к материалам, применяющимся в пищевой промышленности. Основные характеристики материалов, учитываемые при конструировании. Особенности прочностных расчетов при действии низких и высоких температур (явление охрупчивания, ползучести, релаксации). Влияние вида нагружения и режима эксплуатации на прочностные характеристики материалов. Коэффициенты запаса прочности. Механические характеристики металлов и сплавов. Неметаллические материалы. Армированные пластмассы. Покрывания [1, 4].

Основы методологии проектирования машин

Прогнозирование конструкций машин. Отработка конструкций на технологичность. Решение многовариантных задач. Выбор формы, размеров и материала детали. Стадии разработки конструкторской документации. Основное содержание стадий разработки. Оформление конструкторской документации. Применение системы автоматизированного проектирования [2, 5].

Общие принципы конструирования технологического оборудования

Основные требования, предъявляемые к рабочему проек-

ту машины или аппарата. Техничко-экономический фактор. Технологичность оборудования. Унификация элементов конструкций пищевых машин и аппаратов.

Сравнительная оценка конструкций машин и аппаратов по массе. Снижение материалоемкости методами конструирования равнопрочных деталей, подбора рациональных сечений, заменой изгиба растяжением и сжатием, улучшением силовой схемы, уменьшением длины кинематической цепи, сокращением размеров, применением прочных и легких материалов [3, 5].

Проблема обеспечения жесткости в конструкциях пищевых машин и аппаратов. Характеристика жесткости конструкций при растяжении, сжатии, кручении, изгибе [3].

Принципы конструирования – ведение деталей по направляющим, метод инверсии, сменность изнашивающихся деталей, сопряжение деталей из материалов разной твердости, принцип самоустанавливаемости, разгрузка от побочных усилий [1, 5].

Тепловые взаимодействия

Тепловые напряжения смежности и торможения формы. Расчет тепловых напряжений. Конструирование деталей с учетом тепловых напряжений. Тепловая прочность материала. Основные методы снижения тепловых напряжений при торможении формы и торможении смежности [3].

Емкостная аппаратура

Типаж емкостной аппаратуры. Конструирование прямоугольных резервуаров. Способы блокирования деформаций стенок и днище.

Конструирование цилиндрических резервуаров. Определение оптимальных размеров вертикально установленных цилиндрических резервуаров. Укрепление места стыка днища и обечайки цилиндрических резервуаров. Установка горизонтальных резервуаров на опоры. Расчет горизонтальных цилиндрических резервуаров.

Расчет аппаратов, работающих под внутренним избыточным и внешним избыточным давлением [4, 5, 6].

Типы фланцевых соединений. Конструкции уплотнительных поверхностей. Материал прокладок. Расчет фланцевых соединений на плотность и прочность. Надежность и долговечность емкостных и теплообменных аппаратов [4, 5].

Разъемные и неразъемные соединения

Соединения с натягом. Несущая способность. Напряжения в охватываемой и охватывающей деталях. Правила конструирования соединений с натягом. Обеспечение распрессовки [2, т. 2].

Стяжные соединения. Расчет нагруженных и ненагруженных стяжных Соединений, контроль силы затяжки. Способы, стопорения крепежных деталей [2, т. 2].

Резьбовые соединения. Правила конструирования. Разгрузка резьбовых соединений от изгиба и среза. Продольная и поперечная фиксация детали [2, т. 2].

Центрирующие соединения. Центрирование по полной и неполной окружностям, по выступам. Центрирование резьбовых соединений [2, т. 2].

Уравновешивание пищевых машин

Вывод уравнения динамического равновесия машины под действием сил инерции. Методы уравновешивания сил инерции. Амплитуда колебаний вала под действием центробежной силы. Методы уравновешивания центробежных сил. Режимы работы валов. Статическая и динамическая балансировка роторов. Уравновешивание на заданные силы на примере молотковой дробилки [1, 5].

Ротационные машины

Особенности конструкций. Прочность простейших быстровращающихся дисков. Расчет дисков, нагруженных собственной инерционной нагрузкой и нагрузкой от присоединенных деталей. Критические скорости вращения валов и роторов при от-

сутствии и наличии сил сопротивления.

Обеспечение виброустойчивости простейших ротационных машин [1, 5].

Роторные машины

Особенности конструкций роторных машин. Прочность сплошных роторов. Прочность перфорированных роторов. Воздействие жидкости в роторе на критическую скорость. Зависимость виброустойчивости валов от вылета центра массы ротора. Специфика расчета критических скоростей вращения валов центрифуг и сепараторов. Вероятность разрушения, надежность и ресурс работы роторов [1, 5].

Современные методы экспериментальных исследований и промышленных испытаний технологического оборудования

Основы тензометрического метода исследования технологического оборудования. Метод лаковых пленок фотоупругих покрытий, опико-поляризационный метод. Применение лазерной техники. Использование вычислительной техники.

Правила проведения гидравлических и пневматических испытаний аппаратов [3, 4, 5].

Заключение

Перспективы создания экологически безопасных машин и аппаратов. Робототехника. Новые направления в расчетах на прочность в связи с применением ЭВМ и САПР [5].

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Контрольная работа выполняется в отдельной тетради. Текстовая часть контрольной работы может быть выполнена вручную или печатающих устройствах вывода ЭВМ. Контрольная работа должна быть написана четким почерком, разборчиво, ручкой одного цвета, без редактирования. С необходимыми поясне-

ниями, показывающими, что студент разобрался во всех вопросах задания. Разрешается приводить ксерокопии поясняющих схем. **(для студентов обучающихся дистанционно, контрольная работа предоставляется в электронном виде).**

Контрольная работа состоит из пяти контрольных вопросов, общих для всех студентов, и одной контрольной задачи, которая выполняется по варианту, соответствующему цифрам учебного шифра (ЛОГИНА – для студентов обучающихся дистанционно) студента.

Без указания шифра работа не рецензируется. Ответы на контрольные вопросы должны быть изложены по возможности кратко. Решение контрольной задачи должно иллюстрироваться расчетными схемами, сопровождаться расшифровкой и указанием единиц измерения каждой величины и ссылками на литературные источники.

Данные и результаты расчетов оформляются в виде таблиц. Результаты расчета представляются в величинах и единицах измерения СИ.

Контрольная работа № 1

Контрольные вопросы

Вопрос 1. Перечислите основные принципы конструирования [1, 2, 3]. Назовите общие правила конструирования [2, т. 1].

Дайте определение унификации, ее количественную оценку. Покажите экономическую целесообразность унификации. Перечислите и поясните основные метода унификации: секционирование, метод изменения линейных размеров, метод базового агрегата, конвертирование, модифицирование, использование унифицированных, параметрических и размерно-подобных рядов и др. [2, т. 1].

Вопрос 2. Приведите формулы для определения удельной массы и удельной металлоемкости. Перечислите и кратко охарактеризуйте основные способы снижения металлоемкости: использование рациональных сечений, конструирования равнопрочных дета-

лей, применения листовых штампованных конструкций, рационального нагружения деталей, совершенство конструктивной схемы и т. д. Каждый из вышеуказанных способов проиллюстрируйте [2, т. 1].

Вопрос 3. Дайте определение жесткости. Приведите формулы для расчета коэффициента жесткости и коэффициента податливости. Перечислите основные факторы, определяющие жесткость конструкций при различных видах нагружения – растяжении, сжатии, кручении и изгибе: модуль упругости материала, геометрические характеристики сечения детали, линейные размеры, характер нагружения, тип опор и т. д. Раскройте содержание влияния каждого фактора.

Приведите конструктивные способы повышения жесткости. Приведите пример в графической форме [2, т. 1].

Вопрос 4. Дайте определение торможения смежности и торможения формы. Приведите вывод формулы для определения термической силы и дайте формулы для определения напряжений растяжения в болте и сжатия во втулке.

Перечислите причины возникновения тепловых напряжений и деформаций конструктивные способы уменьшения тепловых напряжений: введение тепловых зазоров, температурных швов, применение термических зазоров и компенсаторов (линзовые, сильфонные, и гильзовые и т. д.).

Приведите примеры конструирования деталей с учетом тепловых деформаций [2, т. 1].

Вопрос 5. Приведите примеры ротационных машин и перечислите их основные части. Приведите вывод уравнения для определения критической скорости вращения валов ротационных машин при отсутствии сил сопротивления. Укажите влияние сил сопротивления на критическую скорость вращения вала. Опишите режимы работа валов в зависимости от скорости вращения. Приведите примеры расположения опор ротационных машин и их влияние на жесткость, и несущую способность валов [5].

Задача: рассчитать толщину стенки цилиндрической обечайки и паровой рубашки аппарата, работающим под заданным давлением.

Исходные данные: расчетная схема аппарата выбирается в соответствии с вариантом по рис. 1. Внутренний диаметр аппарата – D , м; высота цилиндрической обечайки аппарата – H , м; высота паровой рубашки – h , м; толщина паровой рубашки – температура насыщенного пара, поступающего в паровую рубашку – t , °С; абсолютное давление пара в паровой рубашке – P , МПа; материал корпуса аппарата и паровой рубашки принимается в соответствии с вариантом (табл. 2).

Исходные данные для расчета задачи № 1 взять из табл. 1 и 2.

Таблица 1

Предпоследняя цифра шифра	D , м	H , м	h , м	P , МПа	t , °С
1	0,8	1,2	0,80H	0,476	150
2	0,9	1,3	0,75·H	0,416	145
3	1,0	1,4	0,70·H	0,361	140
4	1,1	1,5	0,65·H	0,313	135
5	1,2	1,6	0,60·H	0,270	130
6	1,3	1,7	0,55·H	0,232	125
7	1,4	1,8	0,50·H	0,199	120
8	1,5	1,9	0,45·H	0,169	115
9	1,6	2,0	0,40·H	0,143	110
0	1,7	2,1	0,35·H	0,121	105

Таблица 2

Последняя цифра шифра	Вариант схемы аппарата	Материал корпуса аппарата	Материал паровой рубашки
1	I	Сталь 08X18H10T	Сталь Ст3пс
2	II	Сталь ВСт3пс	Сталь ВСт3пс
3	III	Сталь ВСт3Гсп	Сталь Ст3пс
4	IV	Сталь 10	Сталь 10
5	V	Сталь 12X18H10T	Сталь 09Г2С
6	I	Сталь 08X18H10T	ВСт3пс
7	II	Сталь 20К	Сталь 20К
8	III	Сталь 08X17H13M2T	Сталь 16Г2С
9	IV	Сталь 08X17H13M2T	Сталь 16Г2С
0	V	Сталь 08X17H13M2T	Сталь 16Г2С

Примечания:

1. Давление в аппарате принять равным $P_a=9,81 \cdot 10^4$ Па.
2. Температуру продукта в аппарате принять равной 100 °С.
3. Толщина паровой рубашки $\delta_p=0,040$ м.
4. Угол раскрытия конусного днища $\alpha=90^\circ$.

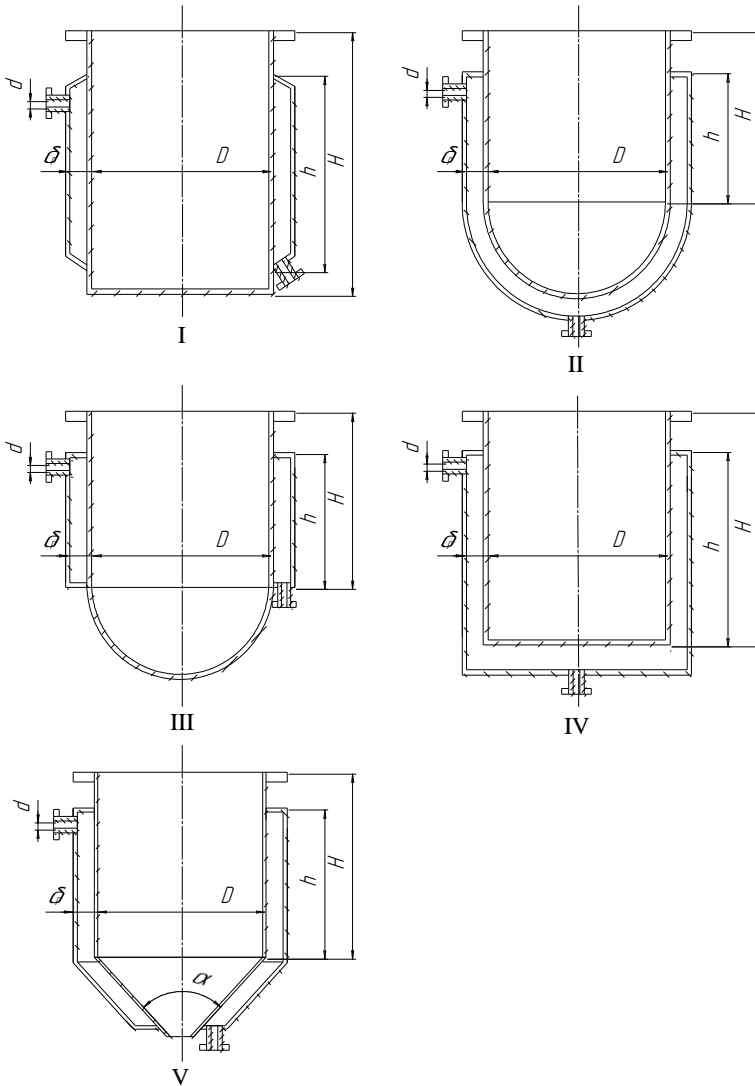


Рис. 1. Расчетные схемы оболочек
Методика расчета

Аппараты, представленные на рис. 1, снабжены паровой рубашкой. Учитывая, что рабочее давление равно атмосферному, корпус рассчитывается как оболочка, работающая под внешним избыточным давлением, а паровая рубашка – как оболочка, работающая под внутренним избыточным давлением [4].

Расчет аппарата. Расчетная температура стенки аппарата и паровой рубашки принимается равной температуре насыщенного пара.

Определяется расчетная и исполнительская толщина стенки аппарата в первом приближении. Затем рассчитываются допускаемое давление из условия прочности в рабочем состоянии и при испытаниях.

Определяются критическая $l_{кр}$ и расчетная l_p длины аппарата.

Рассчитывается допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости в рабочем состоянии и при испытаниях.

Рассчитывается допускаемое наружное давление с учетом условий прочности и устойчивости в рабочем состоянии, при испытании и пробное давление при гидравлических испытаниях.

Проверить, выполняется ли условие устойчивости корпуса аппарата.

Днища аппаратов рассчитываются только на прочность по методике, изложенной в литературе [4].

При расчете паровой рубашки рабочее давление рассчитывается как разность давления пара в паровой рубашке и атмосферного. Затем определяются прочностные характеристики материала паровой рубашки и аппарата: модуль упругости E , МПа; допускаемые напряжения в рабочем состоянии и при гидравлическом испытании.

Определяется расчетная и исполнительная толщины стенки паровой рубашки на цилиндрической обечайке и днище; до-

пускаемое давление в паровой рубашке в рабочем состоянии и при гидравлических испытаниях [4].

Днища паровых рубашек рассчитываются на прочность по методике, изложенной в литературе [4].

Контрольная работа № 2

Контрольные вопросы

Вопрос 1. Расчет и конструирование ротационных машин.

Дайте определение ротационным машинам, приведите примеры машин данного класса в пищевой промышленности. Приведите расчет на прочность быстровращающихся дисков постоянной толщины и сложного профиля [1, 3, 7].

Вопрос 2. Расчет и конструирование режущих машин.

Приведите классификацию машин для измельчения пищевых продуктов. Что влияет на эксплуатационные свойства режущих инструментов. Дайте характеристику геометрических элементов ножа (привести иллюстрацию). Приведите методику расчета ножей на прочность [2, 7].

Вопрос 3. Расчет и конструирование поршневых машин.

Дайте определение поршневым машинам, приведите примеры машин данного класса в пищевой промышленности. Приведите методику расчета шатуна и поршня [2, 7].

Вопрос 4. Расчет и конструирование вибрационных машин.

Дайте определение вибрационным машинам, приведите примеры машин данного класса в пищевой промышленности. Приведите методику расчета вибрационных машин [2, 7].

Вопрос 5. Виброизоляция. Способы виброзащиты.

Приведите классификацию видов виброзащиты. Укажите способы виброзащиты оборудования. Приведите примеры в графической форме конструкций виброизоляторов. В чем заключается методика расчета виброизоляторов? [1, 7].

Задача: Выполнить прочностной расчет молотковой дробилки и построить эпюры радиальных и тангенциальных напряжений, а также выполнить расчет дробилки на виброустойчивость, если задано: количество молотков n_1 , м; количество осей n_2 , м; количество дисков n_3 , м; длина молотка A , м; ширина молотка B , м; толщина молотка δ , м; радиус вала ротора r_1 , м; радиус окружности крепления осей молотка $r_{отв}$, м; толщина диска b , м; наружный диаметр диска D , м; диаметр оси подвеса молотков $d_{ос}$, м; длина оси $l_{ос}$, м; расстояние между опорами L , м; окружная скорость крайней точки молотка v , м; радиальное напряжение на поверхности посадочного отверстия диска σ_{r1} , МПа. Исходные данные выбираются по табл. 3 и 4.

Методика расчета

Расчет молотковой дробилки состоит из двух частей: расчета дисков молотковой дробилки на прочность и расчета ротора дробилки на виброустойчивость.

Расчет дисков молотковой дробилки. Целью расчета является построение эпюр напряжений и проверка диска на прочность. Расчетная схема диска молотковой дробилки представлена на рис. 1.

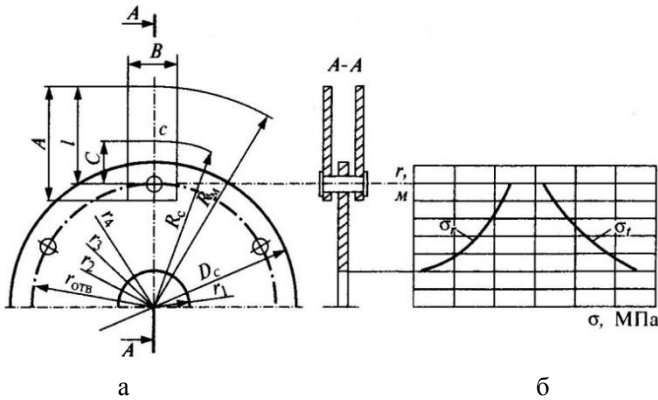


Рис. 2. Расчетная схема диска молотковой дробилки:
 а – эскиз; б – эпюры радиальных и тангенциальных напряжений

Делаем допущения, что радиальное напряжение, возникающее от центробежных сил инерции молотков и осей равномерно распределено по кольцевому сечению диска; изгиб диска от вибрации и внешних нагрузок пренебрежимо мал; температура по радиусу и толщине диска постоянна.

Определяем конструктивные размеры элементов молотка: расстояние от центра массы до оси отверстия, квадрат радиуса инерции молотка, расстояние от конца молотка до оси его подвеса [1].

Затем определяем массу молотка, радиус центра масс и радиус крайней точки молотка.

При работе молотковой дробилки в диске возникают радиальные и тангенциальные напряжения, величина которых зависит от текущего значения расчетного радиуса r . Диск молотковой дробилки можно привести к расчетной схеме диска постоянной толщины, нагруженного по радиусу $r_{отв}$ установки осей крепления молотков радиальным напряжением $\sigma_{отв}$, обусловленным центробежной силой инерции молотков и осей.

Определяем угловую частоту вращения ротора и массу оси подвеса молотков.

Значения σ_{r1} и $\sigma_{отв}$ являются граничными условиями, поз-

воляющие определить тангенциальное напряжение σ_{τ} при $r = r_1$ на поверхности посадочного отверстия диска.

Делим участок диска $r_1 - r_{\text{отв}}$ на n равных частей. Рекомендуемое значение $n = 5$. Определяем текущие расчетные значения радиуса r (в м).

По методике, изложенной в литературе [1], рассчитываются радиальные σ_r и тангенциальные σ_{τ} напряжения при текущих значениях радиуса. На основании полученных результатов строится эпюра напряжений и определяется максимальное напряжение σ_{max} .

Определяем местный коэффициент запаса прочности для наиболее нагруженного сечения и сравниваем его с допускаемым. В случае, если $n_m < [n_m]$, необходимо уменьшить массу молотков, радиус их подвеса или угловую скорость вращения ротора и повторить расчет.

Расчет ротора молотковой дробилки на виброустойчивость.

В качестве расчетной схемы ротора принимаем стержень на двух шарнирных опорах с равномерно распределенной нагрузкой, обусловленной действием размещенных по всей длине вала однотипных конструктивных элементов одинаковой массы.

Определяем линейную массу ротора m_L , кг/м, которая складывается из линейной массы вала и конструктивных элементов.

При расчете учитываются массы следующих конструктивных элементов: вала $m_{\text{вал}}$, молотков m_M , дисков m_D , втулок $m_{\text{вт}}$ и осей $m_{\text{ос}}$. Затем определяются момент инерции сечения вала и критическая угловая скорость вращения вала ротора молотковой дробилки.

Для оценки виброустойчивости сравнивается значение угловой скорости вращения ротора с допускаемым значением. Если виброустойчивость ротора не обеспечена, необходимо увеличить диаметр вала и расчет на виброустойчивость повторить.

П р и м е ч а н и е. В расчете приводятся расчетные схемы диска и ротора молотковой дробилки, а также эпюры напряжений в диске.

Таблица 3

Предпоследняя цифра шифра	n_1 , м	n_2 , м	n_3 , м	A, м	B, м	δ , м	r_1 , м	$\Gamma_{отв}$, м
1	8	4	1	0,08	0,04	0,02	0,03	0,25
2	10	5	1	0,09	0,04	0,02	0,039	0,26
3	12	6	1	0,1	0,04	0,02	0,034	0,27
4	7	7	2	0,11	0,05	0,022	0,036	0,28
5	8	8	2	0,12	0,05	0,024	0,038	0,29
6	10	10	2	0,13	0,05	0,026	0,04	0,31
7	8	4	3	0,14	0,06	0,028	0,042	0,31
8	10	5	3	0,15	0,07	0,03	0,044	0,32
9	12	6	3	0,16	0,08	0,032	0,046	0,33
0	21	7	4	0,1	0,05	0,02	0,048	0,25

Таблица 4

Последняя цифра шифра	b, м	D, м	$d_{ос}$, м	$l_{ос}$, м	L, м	v, м/с	σ_{r1} , МПа
1	0,01	0,53	0,012	0,06	0,2	70	0
2	0,01	0,55	0,012	0,06	0,2	75	-5
3	0,012	0,57	0,012	0,06	0,2	80	-10
4	0,014	0,594	0,014	0,07	0,21	85	-15
5	0,014	0,614	0,014	0,072	0,21	90	0
6	0,016	0,634	0,014	0,074	0,21	95	-5
7	0,016	0,656	0,016	0,124	0,24	100	-10
8	0,018	0,676	0,016	0,128	0,24	105	-15
9	0,018	0,696	0,016	0,13	0,24	110	0
0	0,01	0,532	0,012	0,168	0,29	115	-5

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств [Текст] : учебник для студ. вузов (гриф УМО) / О. В.

Абрамов, А. Н. Остриков, Г. В. Калашников, Ф. Н. Вертяков. – СПб. : РАПП, 2009. – 408 с.

2. Орлов, П. И. Основы конструирования [Текст] : справ.-метод. пособие : в 2-х кн. / П. И. Орлов; под ред. П. Н. Учаева. – 3-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1988.

3. Основы расчета и конструирования машин и автоматов пищевых производств [Текст] / под. ред. проф. А. Я. Соколова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1969. – 639 с.

4. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств [Текст] : примеры и задачи : учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. П. Мильченко, В. В. Зобнин; под общ. ред. М. Ф. Михалева. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с.

5. Соколов, В. П. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств [Текст] / В. П. Соколов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1992. – 389 с.

6. Харламов, С. Р. Конструирование технологических машин пищевых производств [Текст] / С. Р. Харламов. – Л. : Машиностроение, 1983. – 224 с.

7. Курочкин, А. А. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов (гриф Пр.) / под ред. А. А. Курочкина. – М. : КолосС, 2006. – 320 с.

