

А.Ю. Боташев
Р.С. Малсугенов

Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств

Учебно-методическое пособие по выполнению
курсовой работы для обучающихся направления подготовки
15.03.02 - Технологические машины и оборудование очной и
заочной форм обучения

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГУМАНИТАРНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ**

А.Ю. Боташев
Р.С. Малсугенов

Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств

Учебно-методическое пособие по выполнению
курсовой работы для обучающихся направления подготовки
15.03.02 - Технологические машины и оборудование очной и
заочной форм обучения

Черкесск
2018

УДК 62-1
ББК 36
Б86

Рассмотрено на заседании кафедры «Технологические машины и переработка материалов».

Протокол № 11 от «03» 07 2018 г.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом СевКавГГТА.

Протокол № 15 от «30»10 2018 г.

Рецензенты: Джашеев А.-М. С. – д. т. н., профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин»

Б86 Боташев, А.Ю. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств: учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы для обучающихся направления подготовки 15.03.02 - Технологические машины и оборудование очной и заочной форм обучения / А. Ю. Боташев, Р.С. Малсугенов. – Черкесск: БИЦ СевКавГГТА, 2018. – 58 с.

Учебно-методическое пособие разработано согласно учебному плану образовательной программы бакалавров по направлению подготовки 15.03.02. Технологические машины и оборудование. Оно предназначено для обеспечения выполнения курсовых работ по курсу «Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств». В нем представлены методики расчета основных параметров машин и аппаратов пищевых производств.

УДК 62-1
ББК 36

© Боташев А. Ю., 2018
© Малсугенов Р.С., 2018
© ФГБОУ ВО СевКавГГТА, 2018

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ЕДИНАЯ СИСТЕМА КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ	7
1.1. Основные положения.....	7
1.2. Виды изделий и их структура	8
1.3. Виды и комплектность конструкторских документов	11
2. ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН.....	14
2.1. Прогнозирование конструкций машин	14
2.2. Основные принципы оптимального конструирования	14
2.3. Основные требования, предъявляемые к конструированию машин и аппаратов.....	15
2.4. Основные направления снижения материалоемкости	18
3. РАСЧЕТ ПЛАСТИН	20
3.1. Основные предпосылки.....	20
3.2. Осесимметричный изгиб круглых пластин	21
3.3. Равномерно нагруженная круглая сплошная пластина	22
4. РАСЧЕТ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК.....	27
4.1. Основные допущения	27
4.2. Напряжения в осесимметричной оболочке	28
4.3. Распорные кольца в оболочках.....	31
5. МАШИНЫ ДЛЯ РЕЗАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	35
5.1. Расчет машин с пластинчатыми ножами.....	35
6. МАШИНЫ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СЫРЬЯ	48
6.1. Машины для измельчения раздавливанием	48
6.2. Машины для измельчения ударом	53
Список использованной литературы литература.....	57

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств» изучается на последнем курсе подготовки бакалавров по направлению 15.03.02 Технологические машины и оборудование. Он относится к числу дисциплин, обобщающих знания, приобретенные обучающимися на предыдущих курсах обучения, и предназначен для формирования профессиональных компетенций в области технологических машин и оборудования. Для закрепления знаний, полученных обучающимися, и формирования у них соответствующих умений и навыков проведения расчетов и конструирования технологического оборудования по данному курсу предусмотрено выполнение курсовой работы. Данное пособие предназначено для обеспечения выполнения обучающимися этой курсовой работы.

В пищевой промышленности для переработки сырья и производства продуктов питания используются большое разнообразие машин и аппаратов. Причем для выполнения одной и той же технологической операции применяется несколько видов оборудования, отличающихся конструкцией, принципом действия и используемым инструментом, осуществляющим обработку пищевой продукции. Например, для измельчения мяса применяются мясорубки, волчки и куттеры, а для измельчения твердых продуктов используются дробилки и мельницы различных конструкций. При выборе оборудования для осуществления какой-то технологической операции проводится сравнительный анализ технических характеристик существующих видов оборудования и, исходя из результатов этого анализа, принимается соответствующее решение. При этом основное внимание уделяется производительности и потребляемой мощности оборудования, которые оказывают наиболее существенное влияние на себестоимость выпускаемой продукции. Производительность также играет ключевую роль при определении основных размеров машин

и аппаратов при их проектировании. В этой связи в данной работе приведены формулы для определения производительности и потребляемой мощности различных технологических машин.

При конструировании машин и аппаратов для обеспечения безопасной их эксплуатации большое внимание уделяется расчету на прочность основных их элементов. Как правило, рассчитываются на прочность корпуса и силовые элементы конструкции. В курсе «Детали машин» приведены методики расчета на прочность многих элементов машин. В конструкциях машин и аппаратов пищевых производств широко используются тонкостенные цилиндры и сосуды со сферообразными и плоскими днищами и крышками. В курсе «Детали машин» не рассматривается расчет таких изделий. Поэтому в данной работе приведены методики расчета пластин и тонкостенных оболочек, позволяющие произвести прочностной расчет указанных изделий.

Курсовая работа должна быть выполнена с соблюдением требований Единой системы конструкторской документации, в частности требований к текстовым документам. Курсовая работа должна содержать следующие обязательные разделы: введение, назначение и область применения изделия, описание принципа работы изделия, расчеты определяемых параметров изделия, заключение.

1. ЕДИНАЯ СИСТЕМА КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

1.1. Основные положения

Единая система конструкторской документации (ЕСКД) — это комплекс государственных стандартов, устанавливающих взаимосвязанные правила и положения о порядке разработки, оформления и обращения конструкторской документации, создаваемой и применяемой организациями и предприятиями России.

Основное назначение ЕСКД заключается в установлении единых оптимальных правил выполнения, оформления обращения конструкторской документации [1].

Для обозначения стандартов ЕСКД принята следующая структура [2]

ГОСТ 2.000-00,

где ГОСТ — государственный стандарт;

2 — класс стандарта (ЕСКД);

0 — классификационная группа стандартов;

00 — порядковый номер стандарта в группе;

00 — год регистрации стандарта (две последние цифры).

Комплекс стандартов ЕСКД содержит более 125 стандартов, условно разделенных на 10 групп.

Группа 0 — Общие положения (ГОСТ 2.001-93).

Группа 1 — Основные положения (ГОСТ 2.101-91).

Группа 2 — Классификация и обозначение изделий в конструкторских документах.

Группа 3 — Общие правила выполнения чертежей.

Группа 4 — Правила выполнения чертежей изделий машиностроения и приборостроения.

Группа 5 — Правила обращения конструкторских документов — учет, хранение, дублирование, внесение изменений (ГОСТ 2.501-89).

Группа 6 — Правила выполнения эксплуатационной и ремонтной документации.

Группа 7 — Правила выполнения схем.

Группа 8 — Правила выполнения документов строительных и судостроения.

Группа 9 — прочие стандарты.

Основное назначение ЕСКД заключается в установлении единых правил выполнения, оформления и обращения конструкторской документации (КД), обеспечивающих:

возможность взаимобмена КД между организациями без их переоформления;

стабилизацию комплектности, исключая дублирование и разработку не требуемых документов;

возможность расширения унификации при конструкторской разработке;

упрощение форм КД и графических изображений;

сокращение трудоемкости проектно-конструкторских разработок и работ по изменению КД;

механизацию и автоматизацию обработки технических документов за счет применения ЭВМ;

улучшение условий технической подготовки производства (благодаря единым правилам учета, хранения и дублирования документации повышается эффективность работы служб размножения документов).

1.2. Виды изделий и их структура

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Изделия делят на:

в зависимости от их назначения — изделия основного (предназначенные для поставки или реализации) и изделия вспомогательного

(предназначенные только для собственных нужд предприятия) производства;

в зависимости от наличия или отсутствия в них составных частей — неспецифицированные (детали) — не имеют составных частей и специфицированные (сборочные единицы, комплексы, комплекты), состоящие из двух и более составных частей.

Таким образом, существуют следующие виды изделий: детали, сборочные единицы, комплексы, комплекты. Общий случай структуры произвольного изделия представлен на рис. 1.

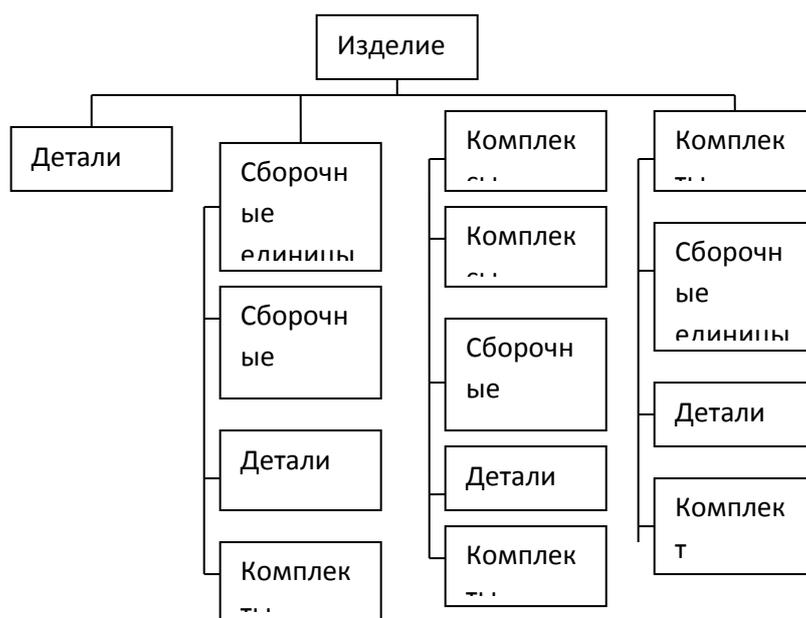


Рис. 1. Общий случай структуры произвольного изделия

Деталь — это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций (маховик, литой корпус, пластина); это также изделие с защитным или декоративным покрытием (хромированный винт), или изделие, изготовленное с применением местной сварки, пайки, склейки, сшивки (коробка из картона, сваренная труба из одного куска листового материала и т. д.).

Сборочная единица — изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на заводе-изготовителе с помощью сборочных

операций (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, опрессовкой, развальцовкой, склеиванием, сшивкой, укладкой и т. п.), например станок, редуктор, шприц-машина, вакуум-аппарат. К сборочным единицам относят также совокупность сборочных единиц и (или) деталей, имеющих общее функциональное назначение и совместно устанавливаемых на предприятии-изготовителе в других сборочных единицах, например электрооборудование машины, автомата, автоматической линии, комплект составных частей фланце-резьбового соединения для стеклянного трубопровода (полумуфты, резиновые уплотнительные кольца, накидная гайка) и прочее.

Комплекс — два и более специфицированных изделия, не соединенных на заводе-изготовителе с помощью сборочных операций, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Например, в установку (комплекс) для производства сливочного масла входят дезодоратор, маслосби-ватель, сливкоподготовитель и др. Каждое из входящих в комплекс специфицированных изделий служит для выполнения одной из нескольких основных функций, установленных для всего комплекса.

Комплект — два и более изделия, не соединенных на заводе-изготовителе с помощью сборочных операций и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (комплект ЗИП, комплект измерительной аппаратуры, комплект упаковочной тары). К комплектам также относят сборочные единицы или деталь, поставляемую вместе с набором других сборочных единиц и (или) деталей, предназначенных для выполнения вспомогательных функций при эксплуатации этой сборочной единицы или детали (например, осциллограф в комплекте с укладочным ящиком, запасными частями, монтажным инструментом и сменными частями).

1.3. Виды и комплектность конструкторских документов

К конструкторским документам относят графические и текстовые документы, которые в отдельности или совокупности определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для его разработки и изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта.

К графическим конструкторским документам относят:

чертеж детали — содержит изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля;

сборочный чертеж (СБ) — содержит изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки и контроля;

чертеж общего вида (ВО) — содержит изображение изделия с видами, сечениями, разрезами, а также текстовую часть и надписи необходимые для понимания конструктивного устройства изделия, взаимодействия его основных составных частей и принципа работы, и данные о составе изделия (допускается помещать техническую характеристику изделия);

теоретический чертеж (ТЧ);

габаритный чертеж (ГЧ);

монтажный чертеж (МЧ), электро- (МЭ);

упаковочный чертеж (УЧ) (ТЧ, ГЧ, МЧ, МЭ, УЧ - предназначены для схематичного (упрощенного) показа изделия с координатами составных частей, габаритными, установочными и присоединительными размерами);

схемы - на них показывают в виде условных изображений и обозначений составные части изделия и связи между ними. По ГОСТу 2.701-84 различают:

виды схем: Э - электрическая; Г - гидравлическая; П - пневматическая; К - кинематическая; С - комбинированная;

типы схем: 1 - структурная; 2 - функциональная; 3 - принципиальная; 4 - схема соединений; 5 - схема подключения; 6 - общая; 7 - схема расположения. Например, ГЗ - схема гидравлическая принципиальная.

К текстовым конструкторским документам относятся:

спецификация определяет состав сборочной единицы, комплекса, комплекта - состоит из следующих разделов: документация комплексы, сборочные единицы, детали, стандартные изделия, прочие изделия, материалы, комплекты. Наличие тех или иных разделов определяется составом специфицируемого изделия;

ведомость спецификаций (ВС) - содержит перечень всех спецификаций составных частей изделия с указанием их количества и входимости;

ведомость ссылочных документов (ВД) - содержит перечень документов, на которые имеются ссылки в КД изделия;

ведомость покупных изделий (ВП) - содержит перечень покупных изделий; ведомость разрешения применения покупных изделий (ВИ);

ведомость держателей подлинников (ДП);

ведомость технического предложения (ПТ);

ведомость эскизного проекта (ЭП);

ведомость технического проекта (ТП);

пояснительная записка (ПЗ) — содержит описание устройства и принципа действия разрабатываемого изделия, а также обоснование принятых при его разработке технических и технико-экономических решений — состоит из следующих разделов: введение, назначение и область применения изделия, техническая характеристика, описание и обоснование выбранной конструкции, расчеты по работоспособности и надежности изделия, описание организации работ с применением изделия, ожидаемые технико-экономические показатели, уровень нормализационной оценки или уровень унификации (ГОСТ 2.106-84);

технические условия (ТУ) — содержат требования (т. е. совокупность всех показателей, норм, правил и положений) к изделию, его изготовлению, контролю, приемке и поставке. ТУ составляются по ГОСТ 2.114-70;

программа и методика испытаний (ПМ);
эксплуатационные, ремонтные и другие документы (Д...);
расчеты (РР);
инструкция (И...);
таблица (ТБ).

2. ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН

2.1. Прогнозирование конструкций машин

Конструированию машин должно предшествовать прогнозирование (т. е. моделирование ситуации, объекта); наиболее распространенные методы прогнозирования [1]:

метод экстраполяции, основанный на использовании накопленного опыта, применяется при краткосрочном прогнозировании;

метод экспертных оценок, заключающийся в использовании мнения группы специалистов-экспертов — этот метод носит субъективный характер;

метод моделирования, основанный на использовании для анализа моделей, созданных на базе теории подобия;

метод аналогий, позволяющий переносить ряд свойств одних объектов на другие.

Прогнозирование конструкций машин может включать рассмотрение функционального назначения машин, основные их технические и экономические параметры, возможные компоновочные схемы, новые материалы и виды заготовок, новую технологию изготовления деталей и узлов

2.2. Основные принципы оптимального конструирования

1. *Оптимальность* — принимаемые решения должны быть оптимальными, т. е. наилучшими для заданных условий и времени — убирается из возможных вариантов тот, который может дать наибольший эффект при наименьших затратах.

2. *Системный подход* — необходимо учитывать наибольшее число определяющих качество факторов, их взаимосвязь, а иногда и противоречивость.

3. *Творческий подход* — конструктор должен творчески подходить к решению всех возникающих перед ним технических задач, не копировать

бездумно импортные образцы, использовать не только опыт прошлого, свою эрудицию, но и изобретательность.

4. Нормализационный подход — сущность заключается в максимальном использовании существующих стандартов, модулей, параметрических рядов (секционирование и агрегатирование).

5. Приоритет технологии — новая технологическая машина создается для выполнения определенных технологических процессов (учитывать особенности технологии) и с наименьшими энергетическими затратами. Она должна соответствовать современному уровню науки и техники и обеспечивать высокое качество выпускаемой продукции.

6. Учет социальных последствий — обеспечить выполнение требований санитарии и гигиены, безопасности, безвредности не только для человека, но и для окружающей среды, учитывать эргономические и эстетические требования.

2.3. Основные требования, предъявляемые к конструированию машин и аппаратов

Технологичность конструкции. Это совокупность свойств изделия, проявляемых в возможности оптимальных затрат труда, средств, материалов и времени при технической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте. Основные показатели технологичности конструкции: трудоемкость изготовления изделий; технологическая себестоимость изделия. Дополнительные показатели технологичности подразделяются на две группы: технико-экономические — характеризуют затраты труда или стоимостных средств на изготовление, эксплуатацию или ремонт изделия; технические — определяют расход и рациональное использование материалов, точность и качество изготовления, унификацию конструкций и технологических процессов.

Различают понятия технологичности конструкции детали, сборочной единицы и изделия в целом. Оценка технологичности конструкции детали может производиться по основным конструктивным характеристикам: форма поверхности, размеры, материал и др. При конструировании машин и аппаратов исходят из принципов технологической и конструктивной преемственности. Технологическая преемственность для разрабатываемой машины заключается в выборе таких деталей и сборочных единиц, которые уже применялись в других машинах и технология изготовления которых уже освоена промышленностью. Конструктивная преемственность при конструировании новой машины заключается в использовании предшествующего опыта машиностроения, во введении в разрабатываемый образец всего полезного, что есть в существующих конструкциях машин.

Стандартизация. Это установление и применение правил с целью упорядочения деятельности в определенной области для достижения всеобщей оптимальной экономии при соблюдении условий эксплуатации и требований безопасности. Составными частями стандартизации являются унификация и типизация.

Унификация. Это рациональное сокращение числа видов, типов, марок и типоразмеров изделий одинакового функционального назначения; составных элементов этих изделий; основных и второстепенных размеров; допусков и посадок; марок материалов; способов изготовления; технологических указаний; технической документации и т. п. Виды унификации: межтиповая; отраслевая и межотраслевая; унификация деталей, сборочных единиц и машин; унификация конструктивных элементов машин и аппаратов; унификация марок и сортамента материалов, электродов, типоразмеров крепежных и других стандартных изделий; унификация технической документации.

Типизация — это разработка и установление типовых конструктивных или технологических решений с общими техническими характеристиками.

Образование производных машин на базе унификации производится следующими методами:

- секционирование — заключается в разделении машины на одинаковые секции и образования производных машин набором унифицированных секций (транспортёры ленточные, скребковые, цепные, ковшовые элеваторы);

- метод изменения линейных размеров — состоит в изменении длины машины или агрегата, с сохранением формы поперечного сечения; метод применим главным образом к роторным машинам (шестеренные и центробежные насосы, компрессоры, валковые машины, мешалки и т. п.);

- метод базового агрегата — применение базового агрегата, превращаемого в машины различного назначения присоединением к нему специального оборудования (дорожные машины, самоходные краны, погрузчики, сельскохозяйственные машины, кухонные комбайны);

- конвертирование — базовую машину или основные ее элементы используют для создания агрегатов различного назначения, например перевод поршневых двигателей внутреннего сгорания с одного вида топлива на другой, бензиновые в газовые;

- компаундирование — метод параллельного соединения машин применяют с целью увеличения общей мощности или производительности установки, например установка двух и более двигателей на крыле самолета;

- модифицирование — переделка машины с целью приспособить ее к иным условиям работы, операциям и видам продукции без изменения основной конструкции;

- агрегатирование — заключается в создании машин путем сочетания унифицированных агрегатов, представляющих собой автономные узлы, устанавливаемые в различном числе и комбинациях на общей станине.

2.4. Основные направления снижения материалоемкости

Основными направлениями снижения материалоемкости машин и аппаратов являются: снижение массы, повышение коэффициента использования материала, выбор рационального материала, унификация узлов и деталей, рационализация конструктивных схем путем устранения излишних запасов прочности, замены металлических материалов неметаллическими, применения прочных материалов.

Снижение массы. Наиболее эффективным способом снижения массы машин и аппаратов является рациональное нагружение деталей, когда напряжения будут одинаковы в каждом сечении детали по ее продольной оси и в каждой точке этого сечения. Это возможно только тогда, когда нагрузка вызывает деформацию сжатия или растяжения. При изгибе, кручении напряжения распределяются по сечению неравномерно, поэтому стараться по возможности осуществить замену изгиба и кручения растяжением-сжатием).

Повышение коэффициента использования материала обеспечивается заменой поковок литыми деталями; получением заготовок с помощью горячей или холодной штамповки; применением стандартных и специально облегченных профилей.

Наибольшие возможности уменьшения массы заложены в применении рациональных конструктивных схем с наименьшим числом деталей и наиболее выгодным течением силового потока. Сокращение звеньев механизма и устранение излишних звеньев способствуют значительному снижению массы машины.

Уменьшение массы машин и аппаратов, повышение их технико-экономических показателей и увеличение их долговечности достигается также применением высокопрочных материалов и использованием

технологий упрочнения материалов.

Способы упрочнения материалов

1. *Горячая обработка давлением.* При этом упрочнение происходит в результате превращения рыхлой структуры слитка в уплотненную структуру с ориентированным направлением кристаллитов. Пустоты между кристаллитами упаковываются и завариваются, прослойки примесей по стыкам кристаллитов дробятся и под действием высокой температуры и давления растворяются в металле. Из обломков кристаллитов возникают новые мелкие зерна.

2. *Легирование* — повышение прочности с дифференциальным улучшением частных характеристик: вязкости, пластичности, упругости, жаропрочности, хладостойкости, сопротивление износу, коррозионной стойкости за счет присадки некоторых элементов, например хрома, никеля, молибдена.

3. *Упрочняющая термическая обработка* (закалка с высоким, средним и низким отпуском, изотермическая закалка) вызывает образование неравновесных структур с повышенной плотностью дислокаций и сильно деформированной атомно-кристаллической структурой (сорбит, троостит, мартенсит, бейнит).

Для конструкционных сталей чаще используют *улучшение* (закалка с высоким отпуском на сорбит), обеспечивающее наиболее удачное сочетание прочности, вязкости, пластичности.

4. *Закалка с индукционным нагревом.* При этом поверхность детали приобретает высокую твердость, а ее сердцевина остается пластичной.

5. *Упрочняющая химико-термическая обработка* — насыщение поверхностного слоя углеродом (цементация), азотом (азотирование) или другими элементами.

6. *Обработка методами холодной пластической деформации* — штамповка.

3. РАСЧЕТ ПЛАСТИН

3.1. Основные предпосылки

Многие детали машин и аппаратов имеют форму, близкую к форме пластины. Это в частности крышки и плоские днища цилиндров различного назначения и технологических емкостей. Расчет их на прочность производится так же, как пластин.

Пластиной называют тело, ограниченное двумя плоскостями, расстояние между которыми h (толщина) мало по сравнению с размерами этих плоскостей, т.е. $h \ll b$; $h \ll a$. Плоскость, которая делит везде толщину пластины пополам, называется срединной плоскостью. Пластины, у которых толщина не превышает $1/5$ меньшей стороны пластины, относятся к *тонким*, т.е. $h < 0,2 b$ [3].

Основное значение при расчете пластин на прочность имеет величина изгибающих напряжений. Напряжения, вызванные остальными внутренними силовыми факторами (растягивающие силы, поперечные силы, крутящие моменты) существенного влияния на прочность не оказывают.

При изгибе пластина прогибается, величина прогиба W переменна, т.е. зависит от координат x , y (рис. 3.1). Поверхность, в которую превращается срединная плоскость при изгибе, называется срединной поверхностью.

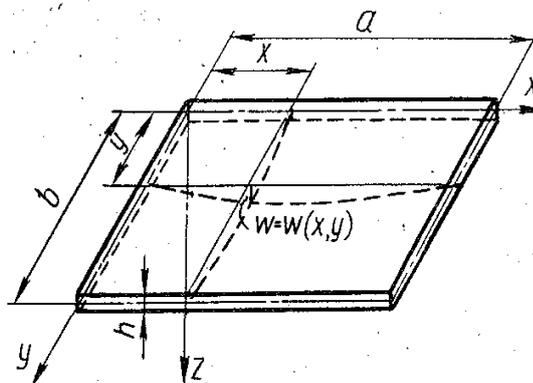


Рис.3.1. Изгиб прямоугольной пластины

Тонкие пластины, у которых $W < 1/5 h$, называются *жесткими*. При расчетах жестких пластин можно пользоваться принципом сложения (независимости) действия сил. Например, складывать напряжения от изгибающего момента и растягивающих сил.

Приближенная теория изгиба жестких пластин базируется на двух гипотезах Кирхгофа [3]:

1. Точки пластины, расположенные до изгиба на прямой, нормальной к срединной плоскости, при изгибе остаются на этой же прямой, которая поворачивается, оставаясь нормальной к изогнутой срединной поверхности (гипотеза прямых нормалей).

2. Слои пластины, параллельные срединной плоскости, не давят друг на друга. Следовательно, нормальные напряжения в этих плоскостях равны нулю, поэтому изгиб находится в плоском напряженном состоянии.

3.2. Осесимметричный изгиб круглых пластин

Детали в виде круглых пластин постоянной толщины находят широкое применение в технике (плоские днища, крышки резервуаров). Вырежем из пластины двумя цилиндрическими поверхностями радиусов r и $r+dr$ и двумя осевыми сечениями элементарный параллелепипед (рис.3.2). На гранях его действуют радиальные и тангенциальные нормальные напряжения σ_r и σ_θ .

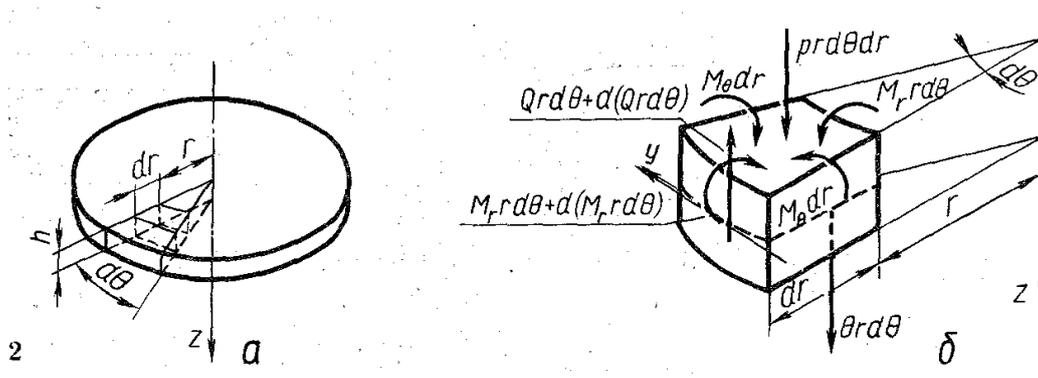


Рис. 3.2. Схема расчета круглой пластины:

a – пластина; b – элементарный объем пластины

Из условия равновесия элементарного параллелепипеда можно получить следующие зависимости [3]:

$$\sigma_r = (M_r / (h^3 / 12)) z, \quad \sigma_\theta = (M_\theta / (h^3 / 12)) z, \quad (3.1)$$

где M_r, M_θ – изгибающие моменты;

σ_r, σ_θ – радиальные и широтные напряжения;

z – координата.

Максимальной величины напряжения достигают у поверхности пластины, т.е. при $z = \pm h/2$

$$\sigma_{r \max} = \pm 6M_r / h^2, \quad \sigma_{\theta \max} = \pm 6M_\theta / h^2 \quad (3.2)$$

3.3. Равномерно нагруженная круглая сплошная пластина

Рассмотрим круглую сплошную пластину (рис. 3.3), нагруженную равномерно распределенной нагрузкой при двух способах закрепления по контуру.

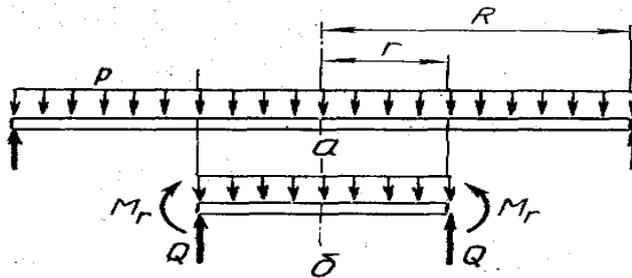


Рис.3.3. Расчетная схема пластины, нагруженной распределенной нагрузкой

3.3.1. По контуру пластина закреплена

Расчетная схема заземленной пластины представлена на рис.3.4 а

В этом случае при $r=R$ угол поворота нормали $\varphi=0$ и прогиб $W=0$.

В этом случае угол поворота нормали:

$$\varphi = (Pr / 16 D)(R^2 - r^2) \quad (3.3)$$

где D – жесткость пластины;

P – давление.

Изгибающие моменты :

$$M_r = P/16 ((1+\mu)R^2 - (3+\mu)r^2), \quad M_\theta = P/16 ((1+\mu)R^2 - (1+3\mu)r^2). \quad (3.4)$$

У контура пластины, то есть при $r = R$:

$$M_r = - PR^2/8, \quad M_\theta = - \mu PR^2/8. \quad (3.5)$$

На оси пластины, то есть при $r = 0$:

$$M_r = M_\theta = ((1+\mu)PR^2)/16 \quad (3.6)$$

Максимальный прогиб в центре пластины:

$$W_{\max} = PR^2/(64 D). \quad (3.7)$$

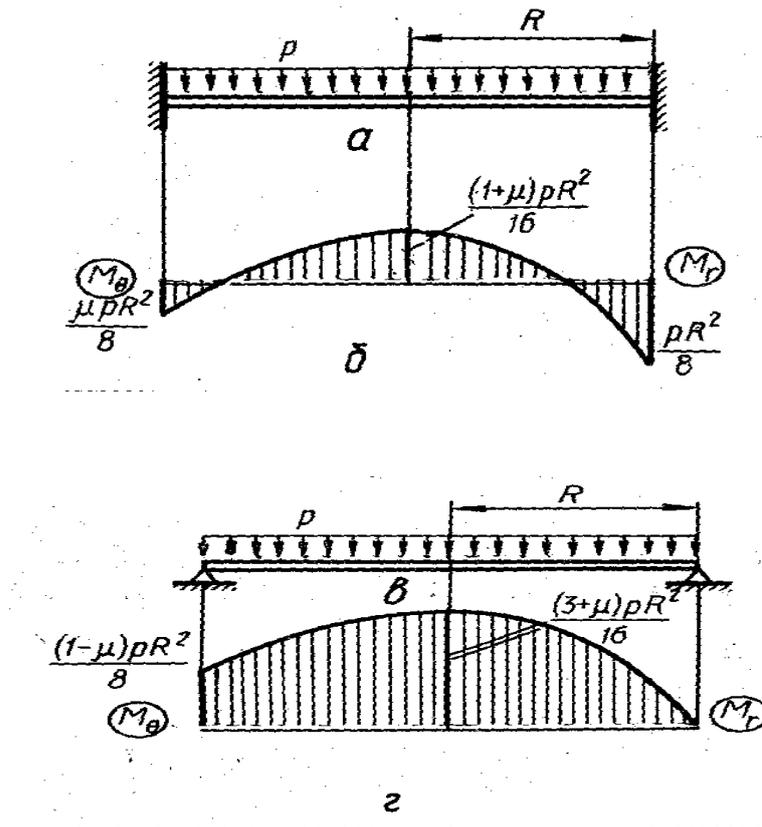


Рис. 3.4. Расчетная схема:

- а, б – защемленная пластина и ее эпюра изгибающих моментов;
- в, г – шарнирно опертая пластина и ее эпюра изгибающих моментов

3.3.2. По контуру пластина шарнирно оперта

Расчетная схема шарнирно опертой пластины представлена на рис.

3.4 в

В этом случае при $r=R$ $M_r=0$, $W=0$.

Тогда угол поворота нормали:

$$\varphi = (R^2 r (3+\mu) / (1+\mu) - r^3) P / (16D) \quad (3.8)$$

Изгибающие моменты:

$$M_r = ((3+\mu)P/16) (R^2 - r^2), \quad M_\theta = P/16 ((3+\mu)R^2 - (1+3\mu)r^2) \quad (3.9)$$

У контура пластины:

$$M_\theta = (1-\mu)/8 PR^2 \quad (3.10)$$

На оси пластины:

$$M_r = M_\theta = (3+\mu)PR^2/16 \quad (3.11)$$

Максимальный прогиб в центре пластины:

$$W_{\max} = (PR^2 (5+\mu) / (1+\mu)) / (64D). \quad (3.12)$$

В обеих задачах жесткость пластины D определяется следующей зависимостью:

$$D = Eh^3 / (12(1-\mu^2)). \quad (3.13)$$

Пример. Определить необходимую толщину h крышки цилиндра, а также вычислить ее максимальный прогиб (рис.3.5). Радиус цилиндра $R=200$ мм. Давление в цилиндре $P=2$ МПа. Материал крышки - сталь: $\mu=0,3$;

$$E=2 \cdot 10^5 \text{ МПа}; [\sigma]_p = [\sigma]_{сж} = 160 \text{ Мпа.}$$

Расчет проведем для двух случаев закрепления.

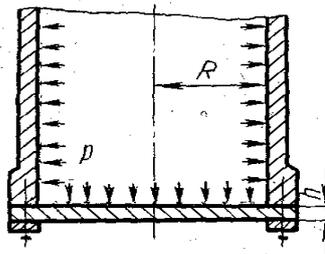


Рис.3.5. Цилиндр, нагруженный давлением

1. Крышка по контуру заземлена

В этом случае опасная точка будет у внутренней поверхности крышки возле заземления ($r=R$). В цилиндрическом и осевом сечениях, проведенных через эту точку, величины изгибающих моментов:

$$M_{r \max} = -PR^2/8; \quad M_{\theta} = -\mu PR^2/8$$

Напряжения в рассматриваемой точке:

$$\sigma_{r \max} = 6PR^2/8h^2; \quad \sigma_{\theta \max} = \mu 6PR^2/(8h^2)$$

Так как материал пластичный, используем критерий прочности наибольших касательных напряжений. Учитывая, что $\sigma_1 = \sigma_{r \max}$; $\sigma_2 = \sigma_{\theta \max}$; $\sigma_3 = \sigma_{\text{я}} = 0$, получим условие прочности

$$\sigma_{\max 3} = \sigma_1 - \sigma_3 = 6PR^2/(8h^2) = [\sigma]$$

Отсюда найдем необходимую толщину крышки

$$h = \sqrt{6PR^2/8[\sigma]} = \sqrt{(6 \cdot 2 \cdot 10^6 (200 \cdot 10^{-3})^2 / 8 \cdot 160 \cdot 10^6)} = 0,0194 \text{ м} \approx 20 \text{ мм.}$$

Максимальный прогиб крышки будет в ее центре

$$W_{\max} = PR^4/(64D)$$

При заданных числовых значениях E , h , μ , P , R находим

$$D = Eh^3/(12(1-\mu^2)) = 2 \cdot 10^{11} (20 \cdot 10^{-3})^3 / 12(1-0,3^2) = 1,46 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тогда величина прогиба

$$W_{\max} = 2 \cdot 10^6 (200 \cdot 10^{-3})^4 / (64 \cdot 1,46 \cdot 10^5) = 0,34 \cdot 10^{-4} = 0,34 \text{ мм.}$$

Так как наибольший прогиб мал по сравнению с толщиной пластины, то применение теории жестких пластин оправдано.

2. Крышка по контуру шарнирно закреплена

В этом случае моменты максимальны на оси симметрии пластины.

$$M_{\max} = M_{r \max} = M_{\theta \max} = PR^2 (3+\mu)/16$$

Опасная точка будет у наружной поверхности крышки на оси симметрии

$$\sigma_{\max} = M_{\max}/(h^2/6) = (6(3+\mu) PR^2)/(16h^2).$$

Условие прочности, как и в предыдущем случае, имеет вид

$$\sigma_{\text{экв } 3} = \sigma_1 - \sigma_3 = 6(3+\mu) PR^2/(16h^2) = [\sigma]$$

Из этого условия находим толщину пластины

$$H = \sqrt{(3(1+\mu)PR^2/(16[\sigma]))} = \sqrt{(3 \cdot 3,3 \cdot 2 \cdot 10^6 (200 \cdot 10^{-3})^2 / (16 \cdot 160 \cdot 10^6))} = 0,025 \text{ м} = 25 \text{ мм.}$$

Следовательно, толщина шарнирно опертой пластины требуется большая, чем толщина закрепленной.

Максимальный прогиб крышки в ее центре

$$W_{\max} = PR^4 / (64D) \cdot ((5+\mu) / (1+\mu))$$

$$D = Eh^3 / (12(1-\mu^2)) = (2 \cdot 10^{11} (25 \cdot 10^{-3})^3) / (12(1-0,3)^2) = 2,86 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тогда

$$W_{\max} = (2 \cdot 10^6 (200 \cdot 10^{-3})^4 (5+0,3)) / (64 \cdot 2,86 \cdot 10^5 (1+0,3)) = 0,71 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,71 \text{ мм.}$$

Несмотря на большую толщину крышки максимальный ее прогиб вдвое больше, чем в случае защемления по контуру. При этом он тоже мал по сравнению с толщиной с пластины.

4. РАСЧЕТ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК

4.1. Основные допущения

Оболочкой тонкостенной называют тело, ограниченное двумя близкими криволинейными поверхностями, расстояние между которыми мало по сравнению с размерами самих поверхностей. В устройствах пищевых производств к таким оболочкам могут быть отнесены цистерны и резервуары для хранения жидкостей, воздушные и газовые баллоны, корпуса и обечайки различных аппаратов.

Рассмотрим элемент оболочки (рис.4.1). В общем случае в сечениях, которыми выделен элемент, действуют погонные (отнесенные к единице длины сечения) усилия и моменты: нормальные усилия N_1 и N_2 , касательные (сдвиговые) усилия S_1 и S_2 , поперечные силы Q_1 и Q_2 , изгибающие моменты M_1 и M_2 . Дифференциальные уравнения, учитывающие все эти усилия и моменты, оказываются очень сложными, поэтому их решение возможно только для простейших случаев.

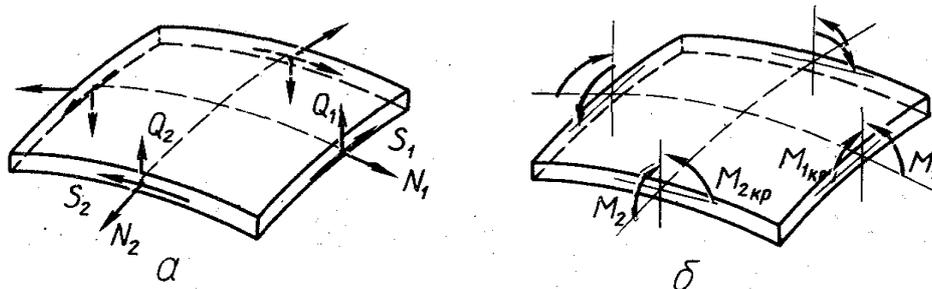


Рис.4.1. Элемент тонкостенной оболочки:

а – силы, действующие на оболочку;

б – моменты, действующие на оболочку.

Во многих частных случаях задача существенно упрощается. Если оболочка осесимметричная, то и задача становится осесимметричной. В этом случае в сечениях, образованных плоскостями, проходящими через ось симметрии и в ортогональных к ним сечениях

$$M_{1кр} = M_{2кр} = 0, \quad S_1 = S_2 = 0, \quad Q_1 = 0 \quad (\text{или } Q_2 = 0) \quad (4.1)$$

Если же вид оболочки, способ ее закрепления и характер нагрузки позволяют сделать вывод о том, что поперечные силы и моменты всюду малы по сравнению с остальными силами, то приходят к так называемой безмоментной теории оболочек [3,4], считая при этом

$$M_1 = M_2 = M_{k1} = M_{k2} = 0, \quad Q_1 = Q_2 = 0 \quad (4.2)$$

Решение осесимметричной задачи в безмоментной теории существенно упрощается. В этом случае принимают оба допущения (4.1) и (4.2).

4.2. Напряжения в осесимметричной оболочке

Рассмотрим резервуар, представляющий собой осесимметричную оболочку (рис.4.2). Пусть оболочка заполнена газом или жидкостью. Выделим в ней криволинейный элемент ABCD. Точка O - центр этого элемента. Точки O₁ и O₂ – центры кривизн срединной поверхности. OO₁ – нормаль к поверхности элемента. S₁ и S₂ - главные радиусы кривизны срединной поверхности.

Длины сторон элемента

$$dS_1 = \rho_1 d\varphi_1, \quad dS_2 = \rho_2 d\varphi_2 \quad (4.3)$$

Исходя из рис. 4.2 и 4.3, запишем условия равновесия элемента, приравняв к нулю сумму проекций сил на нормаль OO₁:

$$2N_1 dS_2 \sin d\varphi_1/2 + N_2 dS_1 \sin d\varphi_2/2 + (N_2 + dN_2) dS_1 \sin d\varphi_2/2 - PdS_1 dS_2 = 0 \quad (4.4)$$

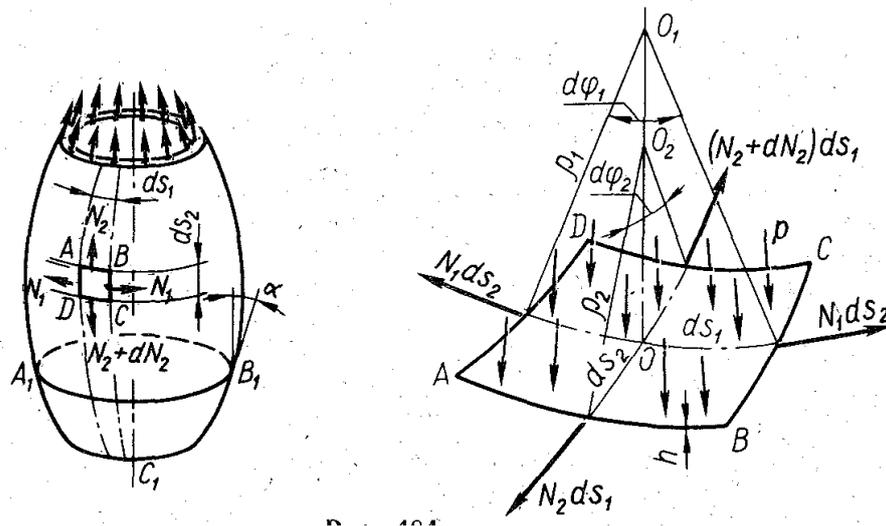


Рис. 4.2. Осесимметричная оболочка и ее элемент

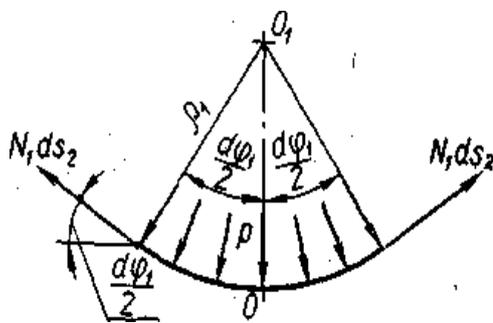


Рис.4.3. Силы, действующие на элемент дуги

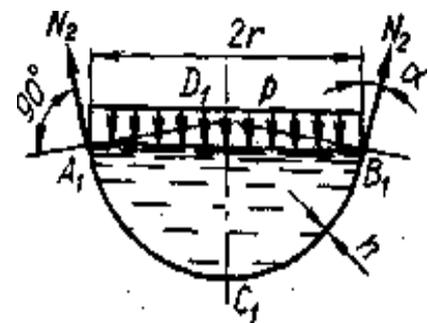


Рис. 4.4. Отсеченная часть

Учитывая малость углов $d\varphi_1$ и $d\varphi_2$, а также dN_2 , можно записать $\sin d\varphi_1/2 = d\varphi_1/2 = 0,5dS_1/\rho_1$; $\sin d\varphi_2/2 = d\varphi_2/2 = 0,5 dS_2/\rho_2$ (4.5)

Тогда, подставляя в уравнение (4.4), получим [3]:

$$N_1/\rho_1 + N_2/\rho_2 = P \quad (4.6)$$

Это уравнение устанавливает зависимость между силами N_1 и N_2 .

Для

определения этих сил необходимо составить еще одно уравнение равновесия части оболочки, отсеченной плоскостью, проходящей через

A_1B_1 По контуру этого сечения (по окружности радиуса r) действует погонные усилия N_2 .

Тогда

$$N_2 \cos \alpha \cdot 2\pi r - P\pi r^2 - Q_{ж} - Q_p = 0 \quad (4.7)$$

где α – угол наклона меридианальной кривой к оси резервуара;

$Q_{ж}$ – вес жидкости в отсеченной части резервуара;

Q_p – вес осеченной части резервуара.

Тогда

$$N_2 = Pr / (2 \cos \alpha) + (Q_{ж} + Q_p) / (2\pi r \cos \alpha). \quad (4.8)$$

Примем, что напряжения по толщине сечения оболочки распределены равномерно. Тогда

$$N = \sigma \cdot h \cdot 1 = \sigma h.$$

В сопротивлении материалов принято обозначать меридиональные напряжения и радиус кривизны σ_m и ρ_m , т.е. $\sigma_2 = \sigma_m$, $\rho_2 = \rho_m$, а для широтных величин $\sigma_1 = \sigma_t$, $\rho_1 = \rho_t$.

$$\text{Тогда } N_1 = \sigma_t h, \quad N_2 = \sigma_m h.$$

Подставляя это в уравнение (4.6), получим [3, 4]:

$$\sigma_t / \rho_t + \sigma_m / \rho_m = P / h \quad (4.9)$$

$$\sigma_m = Pr / (2h \cos \alpha) + (Q_{ж} + Q_p) / (2\pi r h \cos \alpha). \quad (4.10)$$

Уравнение (4.9) называется формулой Лапласа. Напряжение σ_m называется меридиональным нормальным напряжением, σ_t – окружным.

Третье напряжение σ_3 на внутренней поверхности оболочки равно P , а на наружной равно нулю.

Так как σ_m и σ_t во много раз больше P , то напряжением пренебрегают, т.е. считают $\sigma_3 = 0$.

Таким образом, материя оболочки находится в условиях плоского напряженного состояния.

Расчет сферического баллона

В этом случае вследствие центральной симметрии $\sigma_m = \sigma_t = \sigma$, $\rho_m = \rho_t = R$

Тогда из уравнения Лапласа (4.9) следует

$$2(\sigma/R) = P/h, \text{ отсюда } \sigma = PR/(2h).$$

Условия прочности по первой, третьей и четвертой теориям прочности приводятся к виду:

$$\sigma_{ж4} = PR/(2h) < [\sigma].$$

Расчет цилиндрического баллона

Если баллон имеет цилиндрическую форму (рис. 4.5), то $\sigma_t = R$, $\sigma_m = \infty$. Тогда из формулы Лапласа (4.9) следует

$$\sigma_t/R + \sigma_m/\infty = P/h, \text{ отсюда } \sigma_t = PR/h.$$

Чтобы найти σ_m проведем сечение а-а и рассмотрим равновесие одной части баллона. Используя (10) и полагая $Q_{ж} = Q_p = 0$, получим

$$\sigma_m = PR/(2h)$$

Следовательно, широтные напряжения вдвое больше меридиональных. Поэтому в случае сварной конструкции цилиндра (или клепаного) прочность продольного шва должна быть в 2 раза больше поперечного шва

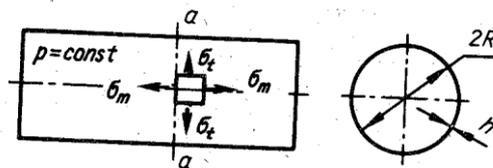


Рис. 4.5. Цилиндрический баллон

4.3. Распорные кольца в оболочках

До сих пор рассматривали оболочки, меридиональные сечения которых представляли собой плавные кривые с непрерывно изменяющейся кривизной. Расчет такой оболочки по безмоментной теории (если толщина оболочки мала) дает вполне приемлемые для практики результаты.

Теперь рассмотрим влияние переломов меридиональной кривой на напряженное состояние оболочки. Пусть в некотором сечении А-А оболочка имеет перелом (4.6), так что касательные к меридиональной кривой слева и справа от точки А образуют между собой угол не 180° , а $180^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2)$. Рассмотрим меридиональные напряжения σ_{m1} , и σ_{m2} в сечениях В - В и С - С, бесконечно близких к А-А (эти сечения образованы коническими поверхностями O_1VV и O_2CC , нормальными к срединной поверхности оболочки).

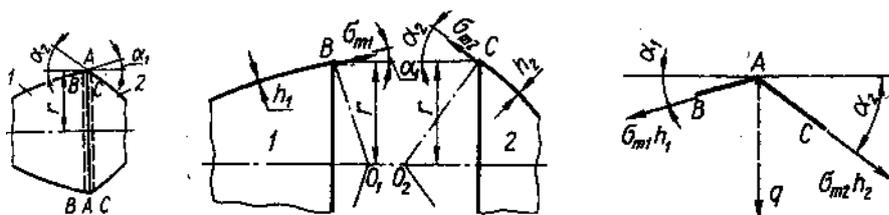


Рис.4.6. Оболочка с переломом и напряжения, действующие в зоне перелома

Погонные усилия в этих сечениях равны $\sigma_{m1}h_1$ и $\sigma_{m2}h_2$, где h_1 и h_2 - толщины частей 1 и 2 оболочки. Из условия равновесия кольца ВВСС следует, что

$$\sigma_{m1}h_1 \cos \alpha_1 2\pi r = \sigma_{m2}h_2 \cos \alpha_2 2\pi r.$$

Следовательно

$$\sigma_{m1}h_1 \cos \alpha_1 = \sigma_{m2}h_2 \cos \alpha_2 \quad (4.11)$$

Таким образом, проекции усилий $\sigma_{m1}h_1$ и $\sigma_{m2}h_2$ на ось оболочки взаимно уравновешиваются. Иная картина будет с проекциями этих усилий на плоскость А -А. Складываясь, они дадут погонное радиальное усилие

$$q = \sigma_{m1}h_1 \sin \alpha_1 + \sigma_{m2}h_2 \sin \alpha_2 \quad (4.12)$$

Усилие q можно рассматривать как местную нагрузку, сжимающую оболочку. Эта нагрузка может вызвать в оболочке значительные изгибные напряжения. Чтобы уменьшить изгиб, в резервуарах часто устанавливают

кольца жесткости или распорные кольца (рис.4.7), которые и принимают на себя радиальные усилия q .

Распорное кольцо нагружено по схеме, показанной на рис. 4.8. В нем возникают только сжимающие напряжения, и условие прочности для кольца имеет вид

$$qR_k/F_k \leq [\sigma], \quad (4.13)$$

где R_k - радиус оси кольца; F_k - площадь поперечного сечения кольца, а q определяется по формуле (4.12).

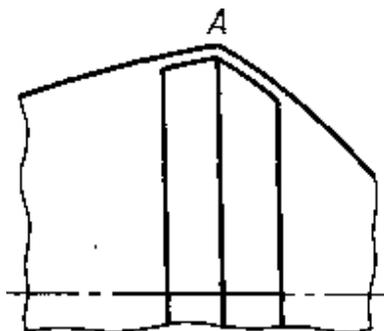


Рис. 4.7. Оболочка с распорным кольцом

Иногда вместо распорного кольца создают местное утолщение оболочки, загибая края днища резервуара внутрь обечайки (рис.4.9).

Если оболочка испытывает внешнее давление, то меридиональные напряжения будут отрицательными (сжимающими) и, согласно

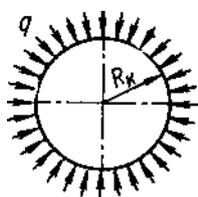


Рис. 4.8. Схема нагружения распорного кольца

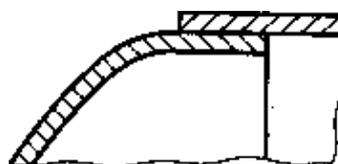


Рис. 4.9. Оболочка с утолщением стенки

формуле (4.12), радиальное усилие q получится также отрицательным, т. е. направленным наружу. Тогда кольцо жесткости будет работать не на сжатие, а на растяжение. При этом, очевидно, условие прочности (4.13) останется тем же.

Отметим, что распорное кольцо не уничтожает совсем, а лишь уменьшает изгибные напряжения. При наличии кольца причиной появления изгиба в оболочке является различие радиальных перемещений в сечении по кольцу и в соседних с кольцом поперечных сечениях оболочки (от сжатия диаметр кольца и прикрепленной к нему оболочки должен уменьшаться, а в соседних с кольцом сечениях от действия растягивающих широтных напряжений диаметр оболочки должен увеличиваться).

5. МАШИНЫ ДЛЯ РЕЗАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

5.1. Расчет машин с пластинчатыми ножами

5.1.1 Расчет хлеборезательных машин

Производительность хлеборезательных машин, кг/с может быть определена по следующей формуле [5]:

$$Q = \frac{v_n q}{l}, \quad (5.1)$$

где v_n — скорость подачи материала, м/с; q — масса буханки хлеба, кг; l — ширина буханки, м.

Производительность хлеборезки может быть также определена следующим образом [5]:

$$Q = \frac{m}{t_3 + t_0}, \quad (5.2)$$

где m — масса нарезаемой порции хлеба, кг; t_3 — время подачи хлеба в зону резания ($t_3 = 10 \dots 15$ с); $t_0 = l / (n_e \cdot \delta)$ — время нарезания, с; l — длина подаваемой порции хлеба, мм; n_e — частота вращения приводного вала, с⁻¹; δ — толщина отрезаемых ломтиков хлеба, мм.

С учетом ряда важных факторов (конструктивные особенности машины, количество и размеры отрезаемых кусков, количество отходов и брака) при непрерывной подаче продукта производительность хлеборезательной машины, кг/с

$$Q = K_0 K_x K_g v_n \rho h b (z + 1), \quad (5.3)$$

где K_0 — коэффициент, учитывающий количество крошки и брака и равный отношению количества полученного продукта к количеству переработанного продукта ($K_0 = 0,92 \dots 0,99$); K_x — коэффициент, зависящий от режима резания и типа конструкции подающего устройства; для ленточных транспортеров $K_x = 0,92 \dots 0,96$, для подающих устройств с жесткой характеристикой $K_x = 1$; K_g — коэффициент, учитывающий неравномерность высоты хлеба; ρ — плотность хлеба, кг/м³; h, b — соответственно высота и толщина куска хлеба, м; z — число ножей,

Общая мощность привода резательной машины, кВт, определяется следующей зависимостью [5]:

$$N = N'_1 + N'_2 + N'_3, \quad (5.4)$$

где N'_1 — мощность, необходимая для привода механизма резания, кВт;
 N'_2 — мощность, необходимая для преодоления сопротивления подаче, кВт;
 N'_3 — мощность, необходимая для привода транспортеров ($N'_3 = 0,15 \dots 0,20$ кВт).

Мощность N'_1 определяется следующей зависимостью

$$N'_1 = \frac{K_{тр} 0,7 R_1 v_1 l m_n}{1000 \eta_1}, \quad (5.5)$$

где $K_{тр}$ — коэффициент, учитывающий трение в направляющих ножевых рамах и силы инерции ($K_{тр} 1,4 \dots 1,5$); R_j — усилие резания, Н/см ($R_j = R \sin \mu$); R — общее сопротивление резанию, в зависимости от продолжительности выдержки сухарных плит величина $R = 3 \dots 7$ Н/см; l — активная длина пластинчатого ножа, равная высоте сахарной плиты; μ — угол трения (из опытных данных $\mu = 40^\circ, 45^\circ$); v_1 — максимальная скорость резания, м/с ($v_1 = \omega r$); ω — угловая скорость вращения кривошипа или коленчатого вала, c^{-1} ; r — радиус кривошипа или коленчатого вала, м, η_1 — КПД привода механизма резания; m_n — число ножей в ножевых рамах.

Мощность N'_2 определяется следующей зависимостью

$$N'_2 = \frac{m_n R_2 v_2 l}{1000 \eta_2}, \quad (5.6)$$

где R_l — усилие подачи ($R_2 = R \cos \mu$); v_2 — скорость подачи, м/с; η_2 — КПД привода механизма подачи,

5.1.2. Расчет свеклорезательных машин

Производительность свеклорезательных машин (кг/с) может быть определена по следующей формуле [5]:

$$Q = L \delta z v_p \rho K_1 K_2 K_3, \quad (5.7)$$

где L — длина режущей кромки ножа, м (для типовых машин с плоскими

ножами $L = 0,330\text{-}A335$ м; δ — средняя толщина стружки, м; z — число режущих устройств; v_p — скорость резания, м/с; ρ — плотность свеклы, кг/м³ ($\rho = 1050$ кг/м³); K_1 — коэффициент объемного уплотнения свеклы; K_2 — конструктивный коэффициент; K_3 — эксплуатационный коэффициент.

Толщину стружки выбирают в зависимости от качества свеклы и конструкции диффузионных аппаратов. Для диффузионных аппаратов наклонного типа толщина пластинчатой стружки свежей свеклы составляет от 1,0 до 1,5 мм, а замороженной может достигать 2,5 мм.

При получении желобчатой стружки производительность свеклорезательной машины увеличивается на 30 % по сравнению с производительностью при получении пластинчатой стружки. Толщина желобчатой стружки зависит от высоты ножа a :

$$\delta = \frac{a}{\sqrt{2}}.$$

На высоту подъема ножа влияет необходимая толщина свекловичной стружки, конструкция и шаг ножей (табл.1), а также качество перерабатываемой свеклы. Количество режущих устройств зависит от конструкции свеклорезательной машины, его выбирают из условия обеспечения заданной производительности. Скорость резания определяется типом свеклорезательной машины, качеством исходного сырья и требованиями технологического процесса. Целесообразно принимать следующие значения скоростей резания: для центробежных машин 6,7, 9,65, дисковых 8 и барабанных 7,4 м/с [5]. При использовании плоских ножей скорость резания может быть повышена до 12 м/с.

Высота подъема ножа, мм

Шаг ножей, мм	Планка	Толщина стружки, мм				
		0,7	0,8	1,0	1,5	2,0
4	Подвижная	2,0	2,5	3,0	—	—
4	Неподвижная	2,5	—	3,0	—	—
5	Подвижная	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
5	Неподвижная	3,0	—	3,5	4,0	4,5
6	Подвижная	—	3,5	4,0	4,5	5,0
6	Неподвижная	3,5	—	4,0	4,5	5,0

Коэффициент объемного уплотнения K_1 учитывает неравномерность распределения свеклы в рабочем объеме машины и зависит от угловой скорости ротора. По результатам исследований на сахарных заводах было установлено, что изменение коэффициента K_1 для свежей свеклы при изменении угловой скорости ω ротора от 5 до 20 рад/с и скорости резания от 3 до 12 м/с может быть выражено следующим эмпирическим уравнением [5]:

$$K_1 = 1,38 \cdot 10^{-5} \omega^{3,4} + 0,56. \quad (5.8)$$

Конструктивный коэффициент K_2 учитывает степень использования ножей в машине и зависит от ее конструкции. Коэффициент K_2 может быть найден по формуле,

$$K_2 = 1 - \frac{Bz}{\pi D_1}, \quad (5.9)$$

где B - ширина контрножалопастей ротора, м; z - число контрножей ротора; D_1 - внутренний диаметр корпуса машины, м.

Эксплуатационный коэффициент K_3 равен отношению времени непрерывной работы машины в течение суток в часах к длительности суток в часах. При наличии резервной машины коэффициент K_3 равен 0,9,

а при отсутствии ее — 0,8,

Мощность, потребная для привода свеклорезательной машины, зависит от ее конструкции, количества и длины ножей, скорости резания, длины и формы стружки и скорости подачи свеклы.

Общая мощность привода, кВт, определяется следующей формулой [5]:

$$N = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6}{\eta_{пр}}, \quad (5.10)$$

где $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$ — мощность, потребная соответственно на преодоление сил трения свеклы о внутреннюю поверхность корпуса машины; на преодоление сил сопротивления резанию свеклы; для ускорения массы свеклы в роторе до скорости резания, на преодоление сил трения между корнями свеклы при поступлении их из бункера в ротор; на преодоление сил трения свеклы по днищу ротора; для преодоления сопротивления воздуха при вращении ротора, кВт; $\eta_{пр}$ — КПД привода.

$$N_1 = 2 \cdot 10^{-3} \pi P_p h \omega r_k^2 f K_2 K_3, \quad (5.11)$$

где P_p — удельное усилие прижатия свеклы к корпусу, Па; h — высота слоя свеклы (принимается равной длине режущей кромки ножа), м; ω — угловая скорость вращения ротора, рад/с; r_k — внутренний радиус корпуса машины, м; f — коэффициент трения свеклы о материал корпуса машины; K_2 — конструктивный коэффициент, определяемый по формуле (3.15); K_3 — коэффициент поверхностной нес плотности.

Для проектировочного расчета свеклорезательных машин рекомендуются следующие значения удельного усилия прижатия;

Скорость резания, м/с.....	5	7	9	11	
12					
Удельное усилие, кПа.....	10	21	38	59	74

Коэффициент K_3 для свежей свеклы при угловой скорости ротора от 8 до 20 рад/с может быть определен по эмпирическому уравнению:

$$K_3 = 0,23 \cdot 10^{-5} \omega^{3,9} + 0,68;$$

$$N_2 = 10^{-3} q_x L z r_p \omega K_4 K_5, \quad (5.12)$$

где q_x — удельная сила сопротивления резанию, Н/м; L — длина режущих кромок ножей одного режущего устройства, м; z — число режущих устройств; r_p — радиус резания, равный расстоянию от центра вращения ротора до вершины ножа; для дисковых свеклорезок принимают радиус, проходящий через середину режущей кромки ножей;

K_4 — коэффициент линейной несплошности; K_5 — коэффициент, учитывающий перекрытие части режущих устройств конпрножами лопастей ротора.

Э. В. Островским предложено эмпирическое уравнение для определения удельной силы резания, Н/м [5]:

$$q_x = 66 v^{0,2} (1 + 1,81 v^{0,36}), \quad (5.13)$$

где v — скорость резания, м/с.

Уравнение справедливо при изменении скорости резания от 5 до 12 м/с и толщине пластинчатых ножей 1,5 мм. При увеличении радиуса закругления режущей кромки ножа от 15 мкм (острый нож) до 63 мкм (затупившийся нож) повышаются силы резания для свежей свеклы на 23 %. Средние значения силы резания замороженной свеклы на 50 % выше, чем свежей.

На усилия резания влияют также качество свеклы, толщина и форма стружки, конструкция ножей и состояние режущей кромки (табл. 2).

Таблица 2

Удельное усилие резания, Н/м

Форма стружки	Длина стружки, мм						
	7...8	9...10	11...13	14...16	17...21	22...27	28...34
Желобчатая	1770	1570	1420	1330	1230	—	—
Пластинчатая	—	—	—	1080	981	882	784

Коэффициент K_4 для свежей свеклы при изменении угловой скорости

ротора от 8 до 20 рад/с и диаметре корпуса 1,2 м можно определить по формуле Э. В. Островского:

$$K_4 = 4 \cdot 10^{-4} \omega^{1,7} + 0,82. \quad (5.14)$$

Значение коэффициента K_5 зависит от конструкции ротора (ширины контрножей и их количества), шага размещения режущих устройств и диаметра корпуса машины. Например, для трехлопастного ротора с шириной контрножа 0,13 м при диаметре корпуса 1,2 м и семи режущих устройствах $K_5 = 1$.

В свеклорезательных машинах центробежного типа непрерывно осуществляется разгон поступающей в ротор массы свеклы до скорости резания. При этом мощность N_3 определяется по следующей формуле

$$N_3 = 0,5 \cdot 10^{-3} Q \omega^2 r_k^2. \quad (5.15)$$

На преодоление сил трения между поступающими в ротор корнями свеклы потребляется мощность N_4 , зависящая от производительности машины:

Производительность, тыс. т/сут.....	До 1,0	1,1-2,0	2,1,..3,0	
	3,1...4,0			
Мощность, кВт.....	8	7	6	5
Мощность, потребная на преодоление сил трения свеклы по днищу ротора, кВт				

$$N_5 = 10^{-3} f Q (r_n - r_b), \quad (5.16)$$

где f — коэффициент трения свеклы; r_n, r_b — наружный и внутренний радиусы днища.

Доля мощности N_5 в общей мощности машины незначительна, и ее можно не учитывать.

Мощность N_6 для типовых свеклорезательных машин от 0,3 до 1 кВт. Меньшее значение следует принимать для машины с радиусом ротора 0,6 м, большее — с 0,8 м.

Результаты исследований Э, В, Островского показали, что на преодоление трения свеклы о внутреннюю поверхность корпуса и режущие устройства потребляется более 70 % мощности привода машины, а на само резание - менее 20%.

5.1.3. Расчет овощерезательных машин

Производительность *роторных машин* непрерывного действия, кг/с определяется седующей формулой [5]:

$$Q = F_0 v_0 \rho \varphi K, \quad (5.17)$$

где F_0 — площадь щели, через которую выходят отрезанные ломтики, m^2 ($F_0 = hl$; h — толщина ломтика, м; l — длина ножа, м); v_0 — скорость продвижения отрезаемых ломтиков через щель, м/с; ($v_0 = \omega r$, ω — угловая скорость ротора, рад/с; r — внутренний радиус рабочей камеры, м); ρ — насыпная масса, кг/м³; φ — коэффициент использования длины лезвия, $\varphi = 0,4 \dots 0,6$; K — коэффициент использования площади боковой поверхности рабочей камеры, зависящий от количества лопастей z (при $z = 2K = 0,1 \dots 0,15$; при $z = 3K = 0,15 \dots 0,2$), $K = F_l / F_K$, F_l — площадь боковой поверхности, занимаемая продуктом, находящимся в контакте с заклинивающей гранью лопасти и поверхностью рабочей камеры, м².

Производительность *дисковых овощерезательных машин* (кг/с) можно рассчитать по общей формуле определения производительности машин непрерывного действия:

$$Q = F_0 v_0 \rho \varphi, \quad (5.18)$$

где F_0 — рабочая площадь опорного диска, м²; v_0 — средняя скорость продвижения разрезаемого продукта в направлении, перпендикулярном поверхности диска, м/с;

ρ — насыпная масса продукта, кг/м³; φ — коэффициент использования рабочей площади опорного диска. Возможен расчет производительность дисковой овощерезки (в кг/с) также по следующей формуле

$$Q = 0,0166 f h n z \varphi \rho, \quad (5.19)$$

где f — площадь среза, m^2 ; h — высота срезаемого слоя, m ; n — частота вращений диска, $мин^{-1}$; Z — число ножей на диске; φ — коэффициент, учитывающий отклонение фактической производительности от расчетной ($\varphi = 0,6 \dots 0,7$); ρ — насыпная плотность продукта, $кг/м^3$

Для овощерезательных машин УММ-10 с заклинивающим устройством рабочая площадь, m^2 :

$$F_0 = \pi (r_{\max}^2 - r_{\min}^2), \quad (5.20)$$

где r_{\min} , r_{\max} — расстояние от оси вращения соответственно до начала и конца лезвия, m .

Для овощерезательных машин, в которых продукт при резании прижимается к опорному пилу толкателем, F_0 является площадью загрузочного отверстия. Для круглых загрузочных отверстий

$$F_0 = \frac{\pi D_0^2}{4}, \quad (5.21)$$

где D_0 — диаметр отверстия, m .

Для сегментных загрузочных отверстий рабочая площадь, m^2 .

$$F_0 = 0,5 [lr - a(r - c)], \quad (5.22)$$

где l — длина сегмента, m ; r — радиус этой дуги, m ; a — длина хорды, m ; c — глубина сегмента, m . Скорость перемещения продукта, m/c ,

$$v_0 = \frac{hnz_p}{60}, \quad (5.23)$$

где h — толщина отрезаемых ломтиков продукта, m ; n — частота вращения диска, $мин^{-1}$; z_p — число ножей, расположенных параллельно поверхности опорного диска.

Коэффициент использования рабочей площади диска

$$\varphi = \frac{F}{F_0}, \quad (5.24)$$

где F — площадь, занимаемая разрезаемым продуктом на опорном диске,

м².

Для овощерезательных машин с заклинивающим устройством в виде винтовой поверхности при вертикальном расположении опорного диска

$$\varphi = 0,1..0,2, \text{ для машин МРО } 50-200 \quad \varphi = 0,3...0,4.$$

Мощность дисковых овощерезательных машин рассчитывают исходя из того, что для их работы необходимо, чтобы энергии машины хватило бы на разрезание продукта ножами, параллельными опорному диску, на сгибание ломтиков, на преодоление сил трения продукта о рабочую и опорную грани ножей, а также об опорный диск. При нарезании брусочками, кроме того, мощность необходима на разрезание продукта ножами, перпендикулярными плоскости опорного диска, и на преодоление трения продукта об эти ножи.

Мощность электродвигателя, кВт

$$N = M\omega = \frac{Pr_{cp}\omega z_p}{z}, \quad (5.25)$$

где M — момент сопротивления вращению рабочего органа, Н·м; ω — угловая скорость опорного диска, рад/с; P — проекция результирующего усилия, приложенного к ножу со стороны продукта на плоскость опорного диска, Н; r_{cp} — средний радиус окружности расположения ножей, м; η — КПД передачи.

Для овощерезательных машин с вертикальным расположением опорного диска усилие прижатия

$$P_{зв} = \frac{1}{\operatorname{tg} \theta - f} \cdot (P_1 + aP_2 + G_1),$$

где G_1 — вес продукта в камере обработки, Н; $(90^\circ - \theta)$ — угол подачи продукта под нож, рад; a — коэффициент:

Для овощерезательных машин с горизонтальным расположением опорного диска усилие прижатия

$$P_{3r} = \frac{1}{\operatorname{tg} \theta - f} \cdot (P_1 + aP_2 + G_1 \operatorname{tg} \theta). \quad (5.28)$$

$$a = \sin \alpha + f \cos \alpha + \cos \alpha \operatorname{tg} \theta - f \sin \alpha \operatorname{tg} \theta.$$

$$P_3 = P_r + G_1,$$

где P_r — усилие проталкивания, Н.

Для овощерезательных машин, в которых продукт удерживается толкателем и стенками загрузочного устройства.

При работе на дисковых овощерезательных машинах необходимо следить за остротой режущих кромок рабочих инструментов и при необходимости осуществлять их заточку, так как при работе затупленными ножами и терочными дисками снижаются качество нарезания продукта и производительность.

Производительность барабанной корнерезки, кг/с,

$$Q \approx 0,052 D n b h \rho \varphi,$$

где D — диаметр корпуса, м; n — частота вращения барабана, мин^{-1} ; b — ширина лопасти, м; φ — коэффициент использования режущего инструмента, равный 0,15...0,4.

Мощность электродвигателя для привода резальных машин (кВт) может быть рассчитана по следующей формуле

$$N = \frac{W \varphi F K_1}{K_2 \eta},$$

где W — удельный расход энергии на резку (для моркови $W = 1,4 \dots 1,6$, для лука 1,7...1,8; для капусты 1...1,2; для свеклы 0,9...1,1; для картофеля 0,6...0,7 кДж/м³); φ — коэффициент использования режущей способности машины, равный 0,6...0,7 для овощерезок и 0,15...0,4 для корнерезок; F — режущая способность машины, м²/с; K_1 — коэффициент запаса мощности,

равный 1,25...1,35; K_2 — коэффициент, учитывающий расход энергии на подачу и отвод продукта и равный 0,9...0,95; η - КПД привода, равный 0,65...0,85.

Режущая способность машины, $\text{м}^2/\text{с}$,

$$F = \sum f_i, \quad (5.32)$$

где f_i (то есть f_1, f_2 и т. д.) — площади срезов, образуемых одной группой ножей, $\text{м}^2/\text{с}$.

$$f \approx (0,3 \dots 0,6) \frac{Q}{a\rho}, \quad (5.33)$$

здесь Q — производительность машины, $\text{кг}/\text{с}$; a — размер стороны кубика, бруска и т. п., на которые режется продукт, м ; ρ — насыпная плотность продукта, $\text{кг}/\text{м}^3$

Производительность Волчка (мясорубки) определяется по общей формуле

$$Q = F_0 \cdot v_0 \cdot \rho \cdot \varphi, \quad (5.34)$$

$$F_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \cdot z_0, \quad (5.35)$$

где F_0 - суммарная площадь отверстий в ножевой решетке, м^2 ; d_0 — диаметр одного отверстия, м ; z_0 — число отверстий ножевой решетки; $v_0 = \pi \cdot n(r_n + r_g) \text{tg } \beta_{\text{п}} K_{\text{в}}$ — скорость продвижения продукта через отверстие решетки; n — частота вращения шнека, с^{-1} ; r_n, r_g - соответственно наружный и внутренний радиусы последнего витка шнека; $\beta_{\text{п}}$ — угол между плоскостями последнего витка шнека и ножевой решетки; $K_{\text{в}}$ — коэффициент проворачивания продукта относительно оси шнека ($K_{\text{в}} = 0,35 \dots 0,4$); φ — коэффициент использования площади отверстий решетки ($\varphi = 0,7 \dots 0,8$).

Мощность для электродвигателя привода волчка (мясорубки), Вт , определяется следующей формулой [5]:

$$N = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{\eta}. \quad (5.36)$$

Мощность на разрезание, Вт

$$N_1 = F_p(K_{np} + 2 \cdot K_{p1} + K_{p2})n \cdot a \cdot z, \quad (5.37)$$

Мощность для электродвигателя привода волчка (мясорубки), Вт,

где F_p — площадь ножевой решетки, м²; K_{np} — коэффициент использования площади подрезной решетки; K_{p1} , K_{p2} — коэффициенты использования площади решеток соответственно с крупными и мелкими отверстиями; a — удельный расход энергии на перерезание продукта ($a = 2,5 \cdot 10^3 \dots 3,5 \cdot 10^3$ Дж/м²); z — число перьев у одного ножа.

Мощность на трение в режущем механизме, Вт

$$N_2 = \pi \cdot n \cdot P_3(r_{\max} + r_{\min})f \cdot \psi, \quad (5.38)$$

где $P_3 = p \cdot b \cdot z(r_{\max} - r_{\min})$ — сила затяжки режущего механизма, Н; p — усредненное давление в стыке ножей и решетки ($p = 2 - 10^6 \dots 3 \cdot 10^6$ Па); b — ширина площадки контакта лезвия ножа и решетки, м; r_{\max} , r_{\min} — соответственно наружный и внутренний радиусы вращающегося ножа, м; f — коэффициент трения скольжения ножа о решетку в присутствии измельчаемого продукта ($f = 0,1$); ψ — количество плоскостей резания.

Мощность на трение шнека о продукт и на продвижение продукта от загрузочного устройства до режущего инструмента, Вт

$$N_3 = \frac{2}{3} \cdot \pi^2 \cdot n \cdot p_0 \cdot (r_n^3 - r_p^3) m \cdot K_v \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta_{cp} + \rho}{\cos \beta_{cp}},$$

(5.39)

где p_0 — давление за последним витком шнека ($p_0 = 3 \cdot 10^5 \dots 5 \cdot 10^5$ Па); m — число витков шнека; ρ — угол трения; $\beta_{cp} = \operatorname{arctg} t_{cp} / J(\pi d_{cp})$ — средний угол подъема витков шнека; t_{cp} — средний шаг шнека; d_{cp} — средний диаметр витков шнека.

6. МАШИНЫ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СЫРЬЯ

6.1. Машины для измельчения раздавливанием

Промышленность выпускает *меланжеры* с чашами вместимостью 125...500дм³. Производительность меланжеров Q (кг/с) зависит от величины загрузки, характера измельчаемого сырья и продолжительности обработки и определяется формулой (6.1):

$$Q = \frac{m}{\tau_3 + \tau_0 + \tau_p}, \quad (6.1)$$

где m — масса загруженного сырья, кг; τ_3, τ_p — время, затрачиваемое соответственно на загрузку и разгрузку чаши, с; τ_0 — продолжительность обработки сырья, с.

Массу загружаемого сырья (кг) определяют по рецептуре, а для одного вида сырья находят из выражения (6.2)

$$m = V\rho\varphi, \quad (6.2)$$

где V — вместимость чаши, дм³; ρ — плотность сырья, кг/м³; φ — коэффициент заполнения чаши.

Установочная мощность электродвигателя (кВт) для привода меланжера определяется формулой (6.3):

$$N_{эл} = \frac{(N_1 + N_2 + N_3)k}{\eta}, \quad (6.3)$$

где N_1 — мощность, расходуемая на преодоление трения качения катка по измельчаемой массе, кВт; N_2 — мощность, расходуемая на преодоление трения скольжения катка по измельчаемой массе, кВт; N_3 — мощность, расходуемая на привод во вращение чаши, кВт; k — коэффициент мощности, равный 1,2...1,3;

η — КПД привода.

Мощность N_1 вычисляется по следующей зависимости:

$$N_1 = \frac{G_k f_k z \omega R_0}{500 D}, \quad (6.4)$$

где G_K — вес катка; H, f_k — коэффициент трения качения катка по измельчаемой массе, равный 0,04...0,06; z — количество катков, шт.; ω — угловая скорость вращения чаши, рад/с; R_0 — радиус окружности, описываемой центром тяжести катка, м; D — диаметр катка, м;

Мощность N_2 , расходуемая на преодоление трения скольжения катка по измельчаемой массе, определяется по следующей зависимости

$$N_2 = \frac{G_K f_c z \omega b}{4 \cdot 1000}, \quad (6.5)$$

где f_c — коэффициент трения скольжения катка по измельчаемой массе, равный 0,4...0,65; b — ширина катка по образующей бандажа, м;

$$N_3 = \frac{(z G_K + G_{\text{ч}} + G_{\text{в}}) f_n d_{\text{ср}} \omega}{2 \cdot 1000}, \quad (6.6)$$

где $G_{\text{ч}}$ — вес чаши с измельченным материалом, Н; $G_{\text{в}}$ — вес вала с зубчатым колесом, Н; f_n — коэффициент трения в пяте; $d_{\text{ср}}$ — средний диаметр по кольну трения, м.

Валковые машины применяются в различных отраслях пищевой промышленности для дробления и измельчения. Наибольшее применение получили двух-, трех- и пятивалковые мельницы. Валки могут быть гладкими, рифлеными и зубчатыми. Зазор между валками может быть фиксированный (регулируемый) и нерегулируемый.

Производительность Q (кг/с) двухвалковой машины можно определять по формуле (6.7):

$$Q = \frac{\pi}{60} D L b n \rho = 0,052 D L b n \rho, \quad (6.7)$$

где D — диаметр валка, м; L — рабочая длина валка, м; b — зазор между валками (в случае регулируемого зазора фиксируется, а в случае нерегулируемого — зазор принимается равным диаметру частиц материала после измельчения), м; n — частота вращения валков (если валки имеют разные частоты вращения, то принимается средняя частота вращения), об/мин; ρ — насыпная плотность

измельчаемого продукта, кг/м³; μ — коэффициент заполнения продуктом зазора между валками ($\mu = 0,2 \dots 0,8$).

Производительность вальцового станка для измельчения масличных материалов, кг/ч, определяется формулой:

$$Q = (94,2 \dots 132) D L b \mu n \rho \quad (6.8)$$

С учетом свойств измельчаемого материала и конструктивных особенностей вальцовых станков производительность их (кг/с) может определяться по формуле:

$$Q = A D L n, \quad (6.9)$$

где A — коэффициент, зависящий от конструкции машины и вида материала. Для гладкого однопарного плющильного вальцового станка при измельчении семян сои $A = 0,0309$; для рифленого однопарного горизонтального вальцового станка при измельчении семян сои $A = 0,119$; для пятивалкового вальцового станка ВС-5 при частоте вращения 150 и 180 мин A составляет соответственно на семенах подсолнечника 0,0095 и 0,0079; на шелушенных семенах хлопчатника 0,0108 и 0,009; на нешелушенных семенах хлопчатника 0,0077 и 0,0065; на семенах льна 0,0032 и 0,0027.

Для двухвалковой дробилки рекомендуемое соотношение $I/D = 2 \dots 3$, для мельниц — $I/D = 2,5 \dots 4$.

Минимальный диаметр валков (м) определяют из условия захвата частицы измельчаемого материала, имеющей максимальный размер d : приближенно принимается для гладких валков $D_{min} = (20 \dots 29)d$ для зубчатых $D_{min} = (5 \dots 10)d$.

Минимальный диаметр валка можно оценить для горизонтального вальцового станка (мм) из соотношения

$$D_{min} > 60 s_1 \frac{k-1}{k}. \quad (6.10)$$

То же для вертикального вальцового станка

$$D_{\min} > 80s_1 \frac{k-1}{k}. \quad (6.11)$$

где S_1 — первоначальный размер измельчаемого материала, мм; k — степень измельчения материала, равная отношению его первоначального размера s_1 к размеру полученных частиц s_2 то есть

$$k = \frac{s_1}{s_2}. \quad (6.12)$$

Минимальный размер валка (мм) плющильного станка для получения лепестка из жмыховой ракушки, измельченной в дробилках, то есть из жмыховой крупки,

$$D_{\min} \geq s_1 \frac{k - \sqrt{1+f^2}}{k(\sqrt{1+f^2} - 1)}, \quad (6.13)$$

где f — коэффициент трения измельчаемого материала о валок, равный для подсолнечного жмыха и соевой крупки 0,08...0,25,

Частота вращения валков, мин⁻¹

$$n = 616 \sqrt{\frac{f}{\rho s_1 D}}, \quad \dots \quad \dots\dots(6.14)$$

или(при $f=0,2$)

$$n = \frac{275,5}{\sqrt{\rho s_1 D}}. \quad (6.15)$$

Коэффициент трения надо брать динамический, зависящий от скорости скольжения (v в см/с)

$$f_d = \frac{1 + 0,0112vf}{1 + v}, \quad \text{при } v \rightarrow \infty \quad f_d = 0,2f,$$

$$v = \frac{100\pi Dn}{60} = 5,23 Dn. \quad (6.16)$$

$$n_{\min} = \frac{1}{D}, \quad n_{\max} = \frac{2}{D}. \quad (6.17)$$

Из условия ограничения центробежного отбрасывания частиц вращающимся валком или приближенно в об/с, при D (м)

Мощность измельчения на вальцах, кВт, определяется формулой:

$$N = M_{\text{пр}} 2\pi n, \quad (6.18)$$

Приведенный момент вычисляется по следующей зависимости:

$$M_{\text{пр}} = PD\xi\alpha, \quad (6.19)$$

где P – давление, МПа; D – диаметр, м.

Среднее давление в зоне измельчения

$$P = \frac{1}{d_k - \delta} \int_{\delta}^{d_k} P_x dh,$$

$$P_x = P_{\max} \left(\frac{h_n}{h_x} \right)^{f/\psi},$$

$$P_{\max} = \frac{G}{L \frac{h_n - h_p \varepsilon^{-f/\psi}}{2(f - \psi)} + \frac{R h_n (\gamma + \alpha_{\text{сж}})}{h_n + fR(\gamma + \alpha_{\text{сж}})}, \quad (6.20)$$

где G — сила давления (для ВС-5 — суммарный вес вышележащих валков).

Угол прокатки определяется формулой:

$$\alpha_p = \sqrt{\frac{h_n}{R} (\varepsilon - 1)}, \quad (6.21)$$

где $\varepsilon = h_p/h_n = d/b$ — степень измельчения; $R = D/2$; $\psi = (\alpha_p + \gamma)/2$; $\gamma \approx 0,1$ а;

для измельчения $\alpha_{\text{сж}} = 0$. Коэффициент плеча

$$\xi = 0,33 + \frac{\gamma - \alpha_{\text{сж}}}{3\alpha_p}. \quad (6.22)$$

Приближенно мощность привода вальцового станка для масличных материалов, кВт, определяется следующей зависимостью:

$$N = 0,28 L D n (50 s_1 + 0,42 D^2). \quad (6.23)$$

Мощность электродвигателя для привода барабанных дробилок (кВт) можно ориентировочно определить по формуле:

$$N = \frac{Qw}{\eta}, \quad (6.24)$$

где w — удельный расход энергии на дробление (для яблок $w = 2,16 \dots 2,88$ Дж/кг; для томатов - $1,08 \dots 1,44$ Дж/кг); η - КПД привода, равный $0,8 \dots 0,9$.

Мощность привода барабанной (валковой) дробилки, применяемой для раздавливания ягод смородины, плодов вишни, черешни, сливы, кВт,

$$N = (0,1 \dots 0,2) Q,$$

где Q — производительность дробилки, т/ч.

Пример 3.3. Определить мощность привода вальцевого плющильного станка с диаметром валков $0,8$ м и длиной валков $1,25$ м, частота вращения валков 300 мин^{-1} . Проверить, достаточен ли диаметр валков для захвата и расплющивания частиц жмыха размером 18 мм при получении лепестка толщиной $0,3$ мм? Коэффициент трения измельченного материала о валки равен $0,22$.

При $s_1 = 18$ мм степень измельчения жмыха $k = 18/0,3 = 60$.

$$D_{\min} \geq s_1 \frac{k - \sqrt{1 + f^2}}{k(\sqrt{1 + f^2} - 1)} = 18 \frac{60 - \sqrt{1 + 0,22^2}}{60 \cdot (\sqrt{1 + 0,22^2} - 1)} = 737,2 \text{ мм.}$$

Следовательно, подача в плющилку жмыха с размером частиц 18 мм допустима.

Мощность привода вальцевого плющильного станка для масличных материалов определяем по формуле (6.23)

$$N = 0,28 \cdot 1,25 \cdot 0,8 \cdot 300 \cdot (50 \cdot 0,018 + 0,42 \cdot 0,8^2) = 98,2 \text{ кВт.}$$

6.2. Машины для измельчения ударом

Молотковые и штифтовые мельницы широко применяются в пищевой промышленности. На кондитерских предприятиях молотковые и

штифтовые мельницы применяются главным образом для измельчения сахара-песка в сахарную пудру, какао-крупки в какао тертое, и какао-жмыха в порошок. Рабочими органами в молотковых мельницах являются шарнирно закрепленные быстродвижущиеся молотки прямоугольной или Т-образной формы, а в штифтовых мельницах — штифты, расположенные по концентрическим окружностям на одном или двух вращающихся дисках.

Определение возможности дробления ударом возможно по критической скорости, определяемой по следующей формуле [5]:

$$v_{кр} = 175 \sqrt{\frac{\sigma_p}{\rho_m d_H}}, \quad (6.25)$$

где σ_p — предел прочности дробимого материала на растяжение, МПа; ρ_m — плотность материала, кг/м³; d_H — исходный размер частиц, м.

Степень измельчения / в мельницах этого типа находится в пределах 150...400 и определяется из соотношения

$$i = \frac{d_H}{d_K}, \quad (6.26)$$

где d_H — размер частиц продукта до измельчения, мм; d_K — размер частиц продукта после измельчения, мм.

В молотковых мельницах отношение длины ротора L к его диаметру D обычно составляет $\kappa = L/D = 0,32...0,64$.

Молотковые и штифтовые мельницы являются быстроходными машинами, их рабочие органы вращаются с угловой скоростью до $\omega \leq 628$ рад/с, при этом окружная скорость концов молотков достигает $v = 80...84$ м/с.

Производительность молотковых мельниц, кг/ч, определяется следующей формулой [5]:

$$Q = \frac{D^2 L n^2}{3,6(i-1)} k, \quad (6.27)$$

где D — диаметр ротора (концов молотков), м; L — длина ротора (толщина молотка), м; n — частота вращения вала ротора, об/мин; i — степень измельчения продукта; k_1 — опытный коэффициент, величина которого зависит от конструкции мельницы и твердости измельчаемого материала (для пищевых продуктов его обычно можно принимать в пределах 1...4).

По заданной производительности (т/ч) можно ориентировочно определить диаметр ротора (м) молотковой мельницы

$$D = \sqrt[3]{\frac{3,6 Q(i-1)}{k k_1 n^2}}. \quad (6.28)$$

Минимальная окружная скорость движения молотка, м/с,

$$v_{\min} \approx \frac{P_m \tau}{m}, \quad (6.29)$$

где P_m — средняя мгновенная сила сопротивления разрушению частицы продукта, Н (для сахара-песка $P_m = 357$ Н); τ — продолжительность удара молотка по частице, с ($\tau = 1 \cdot 10^{-5}$ с); m — масса измельчаемой частицы, кг (для сахара $m = 4,5 \cdot 10^{-5}$ кг).

Если известны диаметр ротора (м), толщина и угловая скорость молотка, то ориентировочно мощность, расходуемую на измельчение (кВт), можно определить по формуле:

$$N_1 = 1,34 D^2 H \omega. \quad (6.30)$$

Установочная мощность электродвигателя (кВт) для молотковых мельниц определяется по формуле:

$$N_{эл} = \frac{(N_1 + N_2) k_2}{\eta}, \quad (6.31)$$

где N_2 — мощность, необходимая для привода шнекового дозатора, кВт; k_2 — коэффициент, учитывающий потери мощности на неучтенные сопротивления (принимается $k_2 = 1,1...1,3$); η — общий КПД привода (подсчитывается по кинематической схеме).

$$N_2 = \frac{Qg L_1 w}{1000}, \quad (6.32)$$

или

$$N_2 = \frac{Q L_1 w}{102}, \quad (6.33)$$

где Q — производительность шнекового дозатора, кг/с; L_1 — длина пути перемещения продукта от загрузочной воронки в измельчающую камеру, кг;
 w — коэффициент сопротивления движению материала по стенке корпуса (принимается в пределах 1...4).

Пример 3.4. Определите производительность молотковой дробилки для измельчения подсолнечного жмыха. Диаметр ротора $D = 1$ м, длина ротора $L = 0,4$ м. Степень измельчения $i = 10$.

Расчет ведем по формуле (6.27), принимая $k = 1$:

$$Q = \frac{D^2 L n^2}{3,6(i-1)} k = \frac{1^2 \cdot 0,4 \cdot 500^2}{3,6 \cdot (10-1)} \cdot 1 = 3086,4 \text{ кг/ч.}$$

Список использованной литературы

1. Остриков А.Н. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств. Учебник для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп./ А.Н. Остриков, О.Б.Абрамов, Г.В.Калашников, Ф.Н.Вертяков. – СПб: Издательство РАПП, 2009. - 408 с.
2. Фаздулин Э.М. Инженерная графика: учебник для студ. Высш.учеб.заведений/ Э.М. Фаздулин, В.А.Халдинов. – М.: Издательский центр «Академия», 2006.-400 с.
3. Сопротивление материалов/ Под ред. Акад. АН УССР Писаренко Г.С. – К. Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 775 с.
4. Сопротивление материалов: учебник для студ. учреждений высш. образования/ А.Г. Схиртладзе, Б.В. Романовский, В.В. Волков, А.Н. Потемкин. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 416 с.
5. Кошевой Е.П. Практикум по расчетам технологического оборудования пищевых производств. – СПб: ГИОРД, 2005. – 232 с.

БОТАШЕВ Анвар Юсуфович
МАЛСУГЕНОВ Роман Сергеевич

Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств

Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы для обучающихся направления подготовки 15.03.02 - Технологические машины и оборудование очной и заочной форм обучения

Корректор
Редактор

Сдано в набор
Формат 60x84/16
Бумага офсетная.
Печать офсетная.
Усл. печ. л.
Заказ №
Тираж

Оригинал-макет подготовлен в Библиотечно-издательском центре СевКавГГА

369000, г. Черкесск, ул. Ставропольская, 36