

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА.
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего образования
по специальности «Техническое обеспечение процессов
сельскохозяйственного производства»*

Минск
БГАТУ
2018

УДК 631.3:636(075.8)

ББК 40.729я73

Авторы:

доктор технических наук, профессор *А. В. Китун* (раздел 2; подразделы 3.1; 3.5)
кандидат технических наук, старший преподаватель *А. А. Романович* (подразделы 3.2; 3.4)
старший преподаватель *И. И. Скорб* (подраздел 3.2)
старший преподаватель *И. М. Швед* (раздел 1; подразделы 3.1; 3.5)
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *С. А. Костюкевич* (подраздел 3.3)
ассистент *Д. В. Касперович* (раздел 1; подразделы 3.3; 3.4)
кандидат технических наук, доцент *Д. Ф. Кольга* (подраздел 3.7)
кандидат технических наук, доцент *Г. Г. Тычина* (подраздел 3.6)
старший преподаватель *В. М. Колончук* (подраздел 3.8)
ассистент *В. В. Захаров* (подраздел 3.8)
кандидат технических наук, доцент *Ф. Д. Сапожников* (подразделы 3.8; 3.9)
кандидат технических наук, доцент *О. В. Понталев* (подраздел 3.1)
кандидат технических наук, доцент *Д. А. Григорьев* (подраздел 3.1)
ассистент *Ф. И. Назаров* (подраздел 3.9)

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механизации животноводства
и электрификации сельскохозяйственного производства
УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» *К. Л. Пузевич*;
главный научный сотрудник РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации
сельского хозяйства» *В. И. Передня*

Технологии и техническое обеспечение производства продукции животноводства.
Т38 Курсовое проектирование : учебное пособие / А. В. Китун [и др.]. – Минск : БГАТУ,
2018. – 132 с.
ISBN 978-985-519-934-3.

Содержит методику определения оптимальных параметров машин и оборудования для механизации технологических процессов в животноводстве при заданных условиях работы. В пособии изложены принципы основ проектирования конструкций машин и оборудования; приводятся расчеты машин и оборудования для подготовки всех видов кормов к скармливанию животным, приготовления кормосмесей, хранения и первичной обработки молока, удаления навоза, а также для основных узлов доильной установки.

Для студентов учреждений высшего образования; конструкторов сельскохозяйственной техники, инженеров и научных работников.

УДК 631.3:636(075.8)

ББК 40.729я73

ISBN 978-985-519-934-3

© БГАТУ, 2018

Содержание

Введение	6
1 Цель и задачи, тематика курсового проектирования	7
2 Структура и содержание курсового проекта, требования к оформлению	
2.1 Требования к оформлению курсового проекта	
2.1.1 Структура и обозначение проектной документации	9
2.1.2 Оформление структурных элементов пояснительной записки	11
2.2 Требования к оформлению курсового проекта.....	14
2.2.1 Оформление листов пояснительной записки	14
2.2.2 Оформление формул	16
2.2.3 Оформление таблиц	17
2.2.4 Оформление иллюстраций.....	18
3 Методика выполнения основной части курсового проекта	
3.1 Определение оптимальных параметров дробилки закрытого типа с горизонтально расположенным ротором для технологической линии подготовки зернофуража к скармливанию	
3.1.1 Описание конструкции и рабочего процесса дробилки зерна.....	19
3.1.2 Расчет параметров дробилки.....	21
3.1.3 Расчет потребной мощности на привод молотковой дробилки	23
3.1.4 Конструкторский расчет	24
3.2 Определение оптимальных параметров плющилки зерна для технологической линии подготовки к скармливанию зернофуража молочно-восковой спелости.....	28
3.2.1 Определение радиуса вальцов.....	31
3.2.2 Определение производительности плющилки зерна.....	34
3.2.3 Расчет потребной мощности на привод плющилки зерна	34
3.2.4 Конструкторский расчет	35
3.3 Определение оптимальных параметров шнека мойки-измельчителя для технологической линии подготовки к скармливанию корнеклубнеплодов.....	41
3.3.1 Расчет параметров шнека мойки-измельчителя.....	41
3.3.2 Расчет потребной мощности привода шнека мойки-измельчителя	44

3.3.3	Конструкторский расчет	45
3.4	Определение оптимальных параметров сепаратора-сливкоотделителя для линии первичной обработки молока на молочно-товарной ферме.....	53
3.4.1	Описание конструкции и процесса работы сепаратора-сливкоотделителя.....	53
3.4.2	Расчет конструктивных параметров сепаратора-сливкоотделителя	56
3.4.3	Конструкторский расчет	59
3.4.4	Расчет потребной мощности на привод сепаратора-сливкоотделителя.....	60
3.4.5	Расчет эффективности работы сепаратора-сливкоотделителя	61
3.5	Определение оптимальных параметров гомогенизатора для технологической линии уборки навоза.....	67
3.5.1	Определение основных технических показателей гомогенизатора для навоза.....	67
3.5.2	Энергетический расчет.....	70
3.5.3	Конструкторский расчет.....	71
3.5.3.1	Расчет сварного соединения лопасти к ступице винта.....	71
3.5.3.2	Расчет шпоночного соединения винта к валу.....	72
3.6	Определение оптимальных параметров роторного измельчающего аппарата вертикального типа для технологической линии приготовления кормов	79
3.6.1	Зоотехнические требования к приготовлению кормов крупному рогатому скоту.....	79
3.6.2	Измельчители стебельчатых кормов	80
3.6.3	Выбор типа режущих элементов рабочих органов измельчителя вертикального типа.....	81
3.6.4	Определение затрат энергии на привод измельчителя	83
3.6.5	Выбор толщины ножа	86
3.7	Определение оптимальных параметров скреперной установки для технологической линии уборки навоза	94
3.7.1	Описание и обоснование конструкторской разработки	94
3.7.2	Определение мощности скреперной установки	94
3.7.3	Расчет ползуна	96
3.7.4	Расчет скрепера.....	97
3.7.5	Расчет сварных швов.....	99

3.8	Определение оптимальных параметров водокольцевого вакуумного насоса для технологической линии доения	102
3.8.1	Описание конструкции и процесса работы	102
3.8.2	Расчет конструктивных параметров водокольцевого вакуумного насоса	103
3.9	Определение параметров предоохладителя молока холодильных установок косвенного охлаждения.....	111
3.9.1	Устройство и принцип работы холодильной установки.....	111
3.9.2	Описание модернизации холодильной установки.....	114
3.9.3	Расчет потребности в холоде	115
3.9.4	Тепловой расчет теплообменника	117
3.9.5	Прочностной расчет теплообменника.....	119
	Список использованных источников.....	123
	Приложения.....	125

Введение

В рыночных условиях конкурентоспособной будет продукция, имеющая меньшую стоимость и лучшее качество. Такие показатели нельзя получить только за счет ресурсосбережения или энергосбережения. Необходимы комплексные сбережения, когда все показатели, характеризующие технологию, находятся на оптимальном уровне.

Рост производства продукции животноводства, снижение затрат труда на единицу продукции немислимы без рационального использования машин и оборудования на животноводческих фермах и комплексах. Часто отдельная машина может иметь достаточно высокие технико-экономические показатели вне системы. Однако в технологической линии она порой может давать даже отрицательный эффект.

При выборе машин для производства продукции животноводства следует исходить из того, что число машин, входящих в каждую линию, должно быть минимальным. Чем меньше машин в линии, тем она более надежна в эксплуатации (при прочих равных условиях).

1 Цель и задачи, тематика курсового проектирования

Цель курсового проектирования – формирование у студентов системы теоретических знаний, навыков и профессиональных компетенций в области современных и перспективных технологий комплексной механизации животноводства.

Для достижения поставленной цели представлены методики определения оптимальных параметров машин и оборудования для заданных условий работы.

Задачи курсового проектирования:

- изучение машин и оборудования, применяемых в технологических процессах производства и первичной переработки продукции животноводства;
- освоение технологических приемов, методов, машин и оборудования для комплексной механизации животноводческих предприятий;
- формирование навыков применения современных технологий при механизации животноводческих ферм и комплексов.

Тематика курсового проектирования:

1. Определение оптимальных параметров дробилки закрытого типа с горизонтально расположенным ротором для технологической линии подготовки зернофуража к скармливанию.

В проекте необходимо рассчитать параметры дробилки закрытого типа с горизонтально расположенным ротором для подготовки к скармливанию кормов влажностью до 14 %

2. Определение оптимальных параметров плющилки зерна для технологической линии подготовки к скармливанию зернофуража молочно-восковой спелости.

В проекте необходимо рассчитать параметры плющилки зерна

3. Определение оптимальных параметров шнека мойки-измельчителя для технологической линии подготовки к скармливанию корнеклубнеплодов.

В проекте необходимо рассчитать шнек мойки-измельчителя корнеклубнеплодов.

4. Определение оптимальных параметров сепаратора-сливкоотделителя для линии первичной обработки молока на молочно-товарной ферме (МТФ).

В проекте необходимо рассчитать конструктивные параметры сепаратора-сливкоотделителя в соответствии с заданием.

5. Определение оптимальных параметров гомогенизатора для равномерного перемешивания навоза для технологической линии уборки навоза.

В проекте необходимо рассчитать параметры гомогенизатора для навоза. Определить мощность, затрачиваемая на процесс перемешивания навоза, производительность гомогенизатора и определить конструктивные параметры винта.

6. Определение оптимальных параметров роторного измельчающего аппарата вертикального типа для технологической линии приготовления кормов.

В проекте необходимо рассчитать конструктивные параметры роторного измельчающего аппарата в соответствии с заданием.

7. Определение оптимальных параметров скреперной установки для технологической линии уборки навоза.

В проекте необходимо рассчитать конструктивные параметры скреперной установки в соответствии с заданием.

8. Определение оптимальных параметров водокольцевого вакуумного насоса для технологической линии доения.

В проекте необходимо рассчитать конструктивные параметры водокольцевого вакуумного насоса в соответствии с заданием.

9. Определение параметров предохранителя молока холодильных установок косвенного охлаждения.

В проекте необходимо рассчитать конструктивные параметры предохранителя молока холодильных установок косвенного охлаждения в соответствии с заданием.

2 Структура и содержание курсового проекта, требования к оформлению

2.1 Требования к оформлению курсового проекта

Курсовой проект — самостоятельная работа студента, представляющая собой решение учебной задачи. Курсовой проект может носить реферативный или исследовательский характер.

2.1.1 Структура и обозначение проектной документации

Структура курсового проекта определяется учебной программой дисциплины.

В состав проектной документации по разрабатываемым курсовым проектам входят:

- графические материалы (чертежи, таблицы, диаграммы и т. п.), наглядно представляющие выполненную работу и полученные результаты;
- пояснительная записка (ПЗ), содержащая исходные данные для проектирования, расчеты, пояснения, описания, таблицы, иллюстрации, список использованных источников.

Графические материалы. Состав и содержание графической части курсового проекта зависит от специфики и особенностей разрабатываемой темы и определяется заданием на данный проект. Объем графической части курсовых проектов составляет не менее 2 листов формата А1.

Графические материалы курсового проекта выполняются в виде иллюстраций по тексту пояснительной записки или соответствующих приложений с наименованиями и пояснительными данными (при необходимости) и представляются в формате А4 или А3 [10, с. 41–42].

Пояснительная записка. Способ выполнения текстовых материалов – машинописный, с применением печатающих устройств ЭВМ, в текстовом редакторе Word с использованием шрифта Times New Roman размером 14 пт (пунктов) с полуторным интервалом, выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 12,5 мм.

Ориентировочный объем пояснительной записки курсового проекта 35–40 страниц машинописного текста на листах формата А4 (без приложений).

Пояснительная записка должна быть сброшюрованной в папке.

Структурно пояснительная записка состоит из следующих элементов (материалы приведены в порядке их расположения):

- титульный лист;
- задание;
- ведомость комплекта проектной документации;
- реферат;
- содержание;
- введение;
- текст пояснительной записки с иллюстративным материалом, таблицами, графиками и т. п.;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Структура обозначения проектной документации курсового проекта (работы), имеющей основную надпись:

$$X_1X_2.X_3X_4.X_5X_6X_7.X_8X_9.X_{10}X_{11}X_{12} \text{ АБ,}$$

где X_1X_2 – индекс проекта (02 – курсовой проект, 03 – курсовая работа);

X_3X_4 – индекс кафедры;

$X_5X_6X_7$ – три последние цифры зачетной книжки или номер варианта задания;

X_8X_9 – шифры сборочных единиц;

$X_{10}X_{11}X_{12}$ – шифры деталей;

АБ – шифр документа.

Например: ПЗ – пояснительная записка; ПД – ведомость проектной документации; ТБ – таблица; Д – прочие документы, не имеющие установленного шифра [10, с. 16].

Индекс кафедры, например: основы научных исследований и проектирования – 13; теоретической механики и теории механизмов и машин – 38; технологий и механизации животноводства – 44; тракторов и автомобилей – 55; сельскохозяйственных машин – 56; эксплуатации машинно-тракторного парка – 59 [10, с. 16–17].

Примеры обозначения документов: 02.44.121.00.000 ПЗ – пояснительная записка (ПЗ) курсового проекта (02), выполненного на кафедре технологии и механизации животноводства (44) студентом, три последние цифры зачетной книжки которого 121.

2.1.2 Оформление структурных элементов пояснительной записки

Титульный лист является первой страницей расчетно-пояснительной записки. Выполняется на бланке установленной формы. На титульном листе рамки и штамп основной надписи не ставят [10, приложение И].

Задание на проектирование является главным руководством, на основании которого разрабатывается проект. Задание выполняется на бланке установленного образца, который выдается руководителем курсового проекта. Задание утверждается заведующим кафедрой. При получении задания студент ставит свою подпись на нем.

Форма задания на курсовой проект приведена в [14, приложение А].

Ведомость комплекта проектной документации (для курсовых проектов) является сводным перечнем всех материалов, разработанных при проектировании [10, приложение К].

Реферат – это краткая характеристика выполненного проекта, предназначенная для предварительного ознакомления с проектом и отражающая основное содержание работы с точки зрения ее достоинств и достижения цели, поставленной в теме проекта.

Текст реферата пишется на стандартном листе, оформленном рамкой. Основную надпись на данном листе не помещают. Номер страницы не проставляют.

Заголовок «Реферат» пишется с прописной буквы и располагается на отдельной строке по центру. Объем реферата не более одной страницы. Вначале указывают объем проектной документации: общий объем текстовых материалов, с выделением в том числе иллюстраций (эскизов, рисунков, таблиц и т. п.); указывают объем графической части проекта, количество использованных источников. Далее приводят ключевые слова. Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста пояснительной записки, которые в наибольшей степени характеризуют содержание. Ключевые слова приводятся в именительном падеже и записываются строчными буквами в строку через запятые после слов «Ключевые слова». Затем дают краткое содержание проекта, отражающее цель работы, методы разработки, принятые решения, итоговые результаты и основные показатели, указывают возможности внедрения основных результатов проекта. Образец реферата приведен в [10, приложение Л].

Содержание предназначено для облегчения поиска необходимых материалов при чтении записки, а также для общего ознакомления с работой и представления об объемах всех разделов. Содержание начинается текстовую часть по-

яснительной записки. Его размещают сразу после листа реферата с новой страницы и при необходимости продолжают на последующих листах. Слово «Содержание» пишут с прописной буквы по центру строки. В содержании приводят порядковые номера и наименования разделов, подразделов и пунктов, имеющих наименование, а также приложения с их обозначениями и наименованиями. Указывается номер листа (страницы), на котором размещено начало материала (раздела, подраздела и т.п.). На первой странице содержания приводят основную надпись по форме, соответствующей основной надписи первого листа текстового материала. Пример оформления содержания приведен в [10, приложение М].

Введение отражает основные задачи, вытекающие из общих направлений развития сельского хозяйства Республики Беларусь, характеризует состояние вопроса, которому посвящен курсовой проект. Во введении необходимо обосновать актуальность курсового проекта, указать цель и задачи проектирования. При необходимости дать пояснения, какие особенности имеет представленный курсовой проект по содержанию и методу выполнения в сравнении с рекомендованными.

Текст пояснительной записки. Содержание разделов, подразделов и пунктов пояснительной записки определяется заданием на проектирование.

Слова в названии разделов, подразделов и пунктов не переносятся.

Разделам присваивают порядковые номера, которые обозначают арабскими цифрами без точки и записывают с абзацного отступа полужирным шрифтом строчными буквами с первой прописной.

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номера раздела и номера подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Название подраздела пишется с абзацного отступа полужирным шрифтом строчными буквами с первой прописной.

Нумерация пунктов обычно не выполняется. При необходимости нумерации пунктов номер его состоит из номера раздела, номера подраздела и номера пункта, разделенных точками. В конце номера пункта точка не ставится. Название пункта пишется с абзацного отступа строчными буквами с первой прописной.

Заголовки подразделов (пунктов) не должны повторять содержание заголовков разделов (подразделов).

Точка в конце заголовков не ставится. Заголовки не подчеркиваются. Если заголовки состоят из двух предложений, их разделяют точкой.

Расстояние между заголовком и текстом равно трем интервалам при выполнении машинописным способом. Расстояние между заголовками раздела и подраздела – 2 интервала при выполнении машинописным способом.

Каждый раздел пояснительной записки следует начинать с новой страницы.

Изложение текста пояснительной записки осуществляется в соответствии с [10, с. 31–34].

Заключение должно отражать основные результаты работы, выводы и предложения.

Список использованных источников. Составление списка использованных источников является завершением курсового проекта (работы), основой для которого служат записи всех просмотренных и изученных книг, статей из сборников и журналов и других материалов.

Все библиографические записи в списке используемых источников составляют по определенным правилам в соответствии с ГОСТ 7.1–2003.

Список использованных источников формируется либо в порядке появления ссылок в тексте пояснительной записки, либо в алфавитном порядке фамилий первых авторов и (или) заглавий.

Как правило, используется алфавитный способ группировки материала в списках, когда источники группируют в алфавитном порядке записей. В начале списка размещаются по алфавиту книги, а затем – статьи из журналов и сборников. При этом иностранные источники размещают по алфавиту после перечня всех источников на языке выполняемой работы.

Библиографический указатель использованной при выполнении литературы дается на отдельной странице (страницах) под заголовком «Список использованных источников». Заголовок порядкового номера не имеет.

В список включают только те источники, на которые в тексте ПЗ имеется ссылка. Каждый источник, включенный в список, нумеруют арабскими цифрами с точкой и записывают с новой строки.

Примеры записи литературных источников приведены в [10, приложение Н].

Приложения. Материал, дополняющий текст документа, допускается помещать в приложениях. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы большого формата, расчеты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ, и т.д.

Приложения оформляют как продолжение записки на последующих ее листах. В тексте записки на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте записки.

Приложения, как правило, выполняют на листах формата А4. Допускается оформлять приложения на листах формата А3, А4×3, А4×4, А2 и А1 по ГОСТ 2.301.

Все приложения (при их наличии) должны быть перечислены в содержании документа с указанием их номеров и заголовков.

2.2 Требования к оформлению курсового проекта

2.2.1 Оформление листов пояснительной записки

Текстовые материалы пояснительной записки выполняются на листах белой машинописной бумаги, оформленных рамками в соответствии с рисунком 2.1.

На листах формата А4 основная надпись располагается вдоль короткой стороны листа. Формы основных надписей выполняются в соответствии с ГОСТ 2.104 и приведены на рисунках 2.2 и 2.3:

– форма рисунка 2 – для первого листа пояснительной записки, с которого начинается изложение текстовой части, ведомости комплекта проектной документации;

– форма рисунка 3 – для последующих листов пояснительной записки.

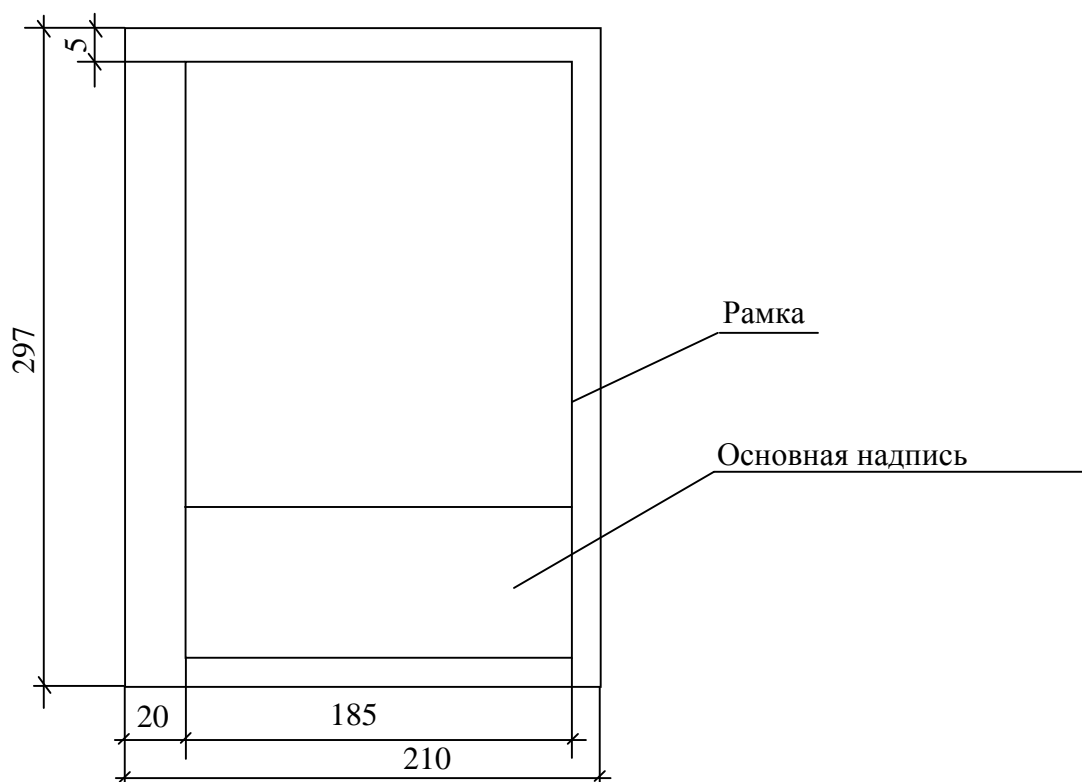


Рисунок 2.1 – Компоновка и размеры листа текстовой части пояснительной записки

Указания о заполнении основной надписи. В графах основной надписи (на рисунках 2.2 и 2.3 номера граф показаны в скобках указывают:

– в графе 1 – наименование документа, если этому документу присвоен код (например: Тема курсового проекта. Пояснительная записка);

- в графе 2 – обозначение документа (шифр);
 - в графе 4 – литеру документа (в учебных проектах У);
 - в графе 7 – порядковый номер листа (для одного листа графа не заполняется);
 - в графе 8 – общее количество листов проекта;
 - в графе 9 – наименование организации и номер учебной группы студента, выпускающего документ (БГАТУ, гр. 51 мпт);
 - в графе 10 – указание лиц, подписывающих документ: «разработал» (студент); в следующей строке – «руководитель», далее – «консультант», «нормоконтролер», «зав. кафедрой»;
 - в графе 11 – фамилии лиц, подписывающих документ: студента, руководителя, консультанта, нормоконтролера, зав. кафедрой;
 - в графе 12 – подписи;
 - в графе 13 – даты.
- Графы 14–18 в курсовых проектах (работах) не заполняются.

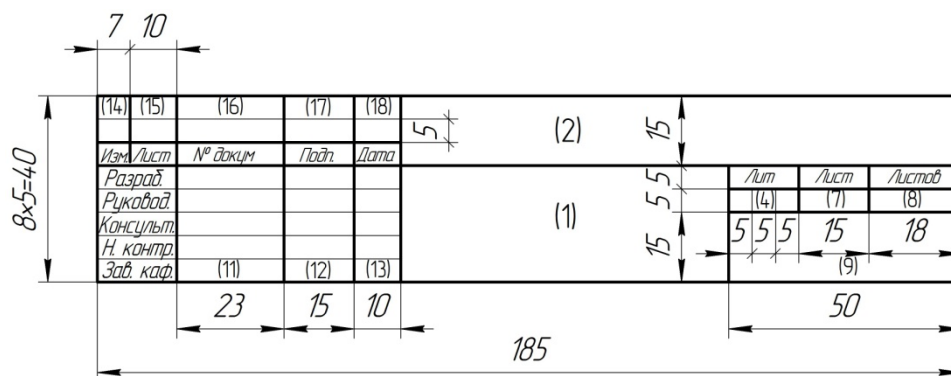


Рисунок 2.2 – Форма основной надписи, которая применяется для листа пояснительной записки, с которой начинается изложение текстовой части (обычно лист «Содержание») и ведомости комплекта проектной документации

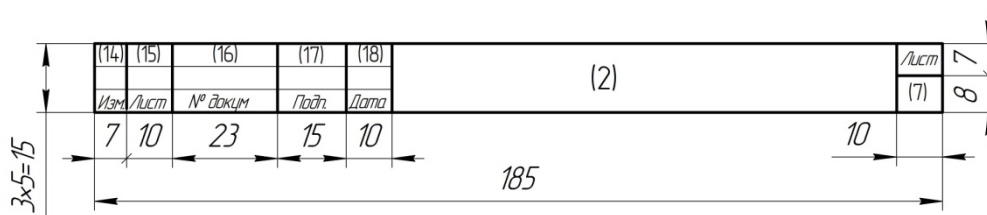


Рисунок 2.3 – Форма основной надписи, которая применяется для последующих листов пояснительной записки

Листы записки имеют сквозную нумерацию арабскими цифрами. Титульному листу, заданию на проектирование, реферату номера присваивают, но не проставляют. Номера страниц начинают проставлять с листа «Содержание».

Иллюстрации (таблицы, чертежи, схемы и т. п.), расположенные на отдельных листах записки, включают в общую нумерацию страниц. При этом лист, формат которого больше формата А4, учитывают как одну страницу.

Размещение текста на поле листа в соответствии с [10, с. 28–29].

2.2.2 Оформление формул

В пояснительной записке математические формулы могут располагаться внутри текста или отдельными строками. Внутри текста помещают несложные и не дробные формулы. Такие формулы, как правило, не нумеруют.

На отдельных строках приводят более сложные формулы, которые обычно сопровождаются пояснениями примененных символов. При этом выше и ниже формулы необходимо оставлять по одной свободной от записи строке.

Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой.

Если формула не умещается в одну строку, то делается перенос. Переносить формулу на следующую строку допускается только на знаках выполнения операций: плюс (+), минус (–), умножение (\times) или на знаках равенства (=), неравенства (\neq), знаках соотношений и т. п. При переносах формул знак операции, на котором выполняется перенос, проставляется дважды: в конце первой строки и в начале следующей строки.

Все формулы, помещенные в тексте пояснительной записки, нумеруют арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа от нее в круглых скобках в крайнем правом положении на строке.

Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и номера формулы, разделенных точкой, например: (3.1).

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него. Обозначение единиц измерения физических величин в каждом пояснении следует отделять запятой от текста пояснения. Расшифровку буквенного символа производят один раз при первом его использовании в тексте или формуле.

Пример. Напряжение растяжения σ_p , МПа, возникающее в тяге, определяется по формуле

$$\sigma_p = \frac{4F}{\pi d^2}, \quad (1)$$

где F – сила, действующая в тяге, Н;
 d – диаметр тяги, мм.

При написании формул следует соблюдать пунктуацию и орфографию математического предложения. В формулах точка как знак умножения перед буквенным символом после скобки и перед скобкой не ставится.

2.2.3 Оформление таблиц

Название таблицы должно отражать содержание таблицы, быть точным, кратким. Название следует размещать над таблицей после слова «Таблица».

При переносе части таблицы на другие страницы название помещают только над первой частью таблицы.

Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой. *Пример:* «Таблица 1», или «Таблица 1.1», или «Таблица А.1», если она приведена в приложении А.

На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте. При ссылке необходимо писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблиц в соответствии с рисунком 2.4.

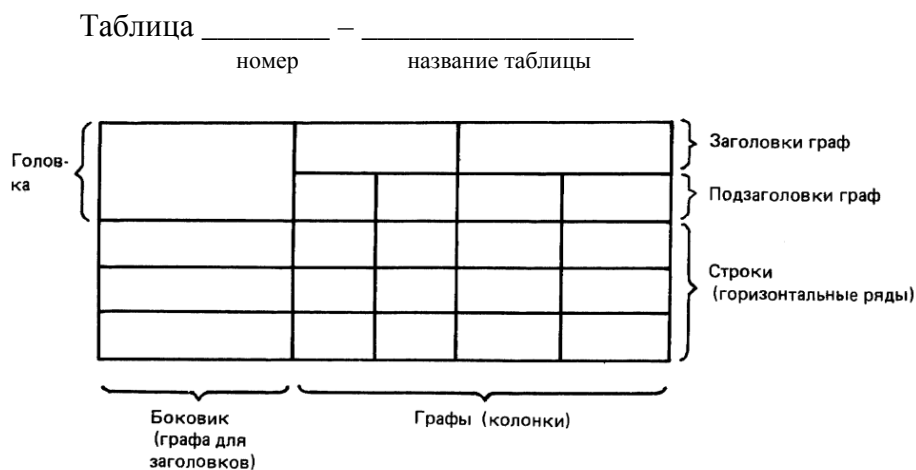


Рисунок 2.4 – Оформление таблицы

Название таблицы выравнивается по ширине без отступа. Шрифт названия таблицы и текста внутри таблицы меньше на 2 пт по сравнению с основным текстом пояснительной записки.

Заголовки граф и строк в таблице следует писать с прописной буквы, а подзаголовки граф – со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят.

Требования к заполнению таблиц приведены в [10, с. 36–41].

2.2.4 Оформление иллюстраций

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста.

Иллюстрации могут быть выполнены на белой бумаге, «миллиметровке», ватмане и т. п. При использовании в качестве иллюстраций записи самопишущих приборов бумажная лента наклеивается на лист записки.

Иллюстрации именуется (обозначаются) словом «Рисунок» и нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией, даже если в тексте приводится только одна иллюстрация. Слово «Рисунок» с номером помещают под иллюстрацией.

При большом количестве иллюстраций допускается нумеровать их в пределах раздела. В этом случае указываются номера раздела и рисунка в пределах данного раздела, разделенные точкой.

На все рисунки должны быть ссылки в тексте.

Иллюстрации должны иметь наименование, которое записывается под иллюстрацией с обозначением. Например, «Рисунок 1 – Дробилка КДУ-2,0».

Слово «Рисунок» и название рисунка выравниваются по центру и пишутся шрифтом на 2 пт меньше, чем текст основной записки.

Иллюстрации могут иметь пояснительные данные. Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных [10, с. 42]. Если в тексте документа имеется иллюстрация, на которой изображены составные части изделия, то на этой иллюстрации должны быть указаны номера позиций этих составных частей в пределах данной иллюстрации, которые размещают в возрастающей последовательности слева направо.

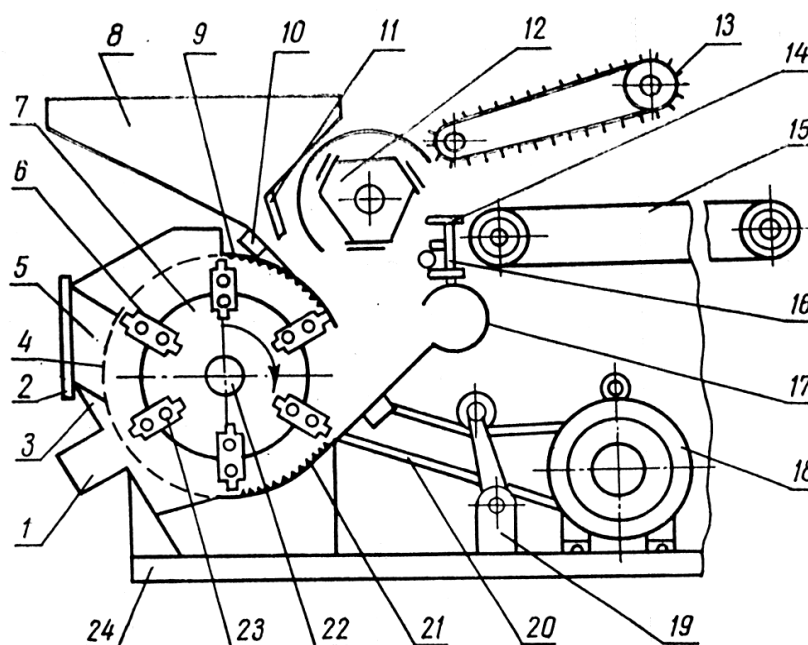
Листы, на которых размещены иллюстрации, включают в общую нумерацию листов записки.

3 Методика выполнения основной части курсового проекта

3.1 Определение оптимальных параметров дробилки закрытого типа с горизонтально расположенным ротором для технологической линии подготовки зернофуража к скармливанию

3.1.1 Описание конструкции и рабочего процесса дробилки зерна

Широкое распространение для измельчения кормов в сельскохозяйственном производстве нашли молотковые дробилки [4, 5]. В дробилках закрытого типа КДУ-2 (рисунок 3.1) решето и деки охватывают весь барабан.



- 1 – отсасывающий патрубок; 2 – крышка выгрузного люка;
 3 – вставная выбросная горловина; 4 – решето; 5 – крышка дробильной камеры;
 6 – молоток; 7 – диск ротора; 8 – бункер; 9 – верхняя дека; 10 – верхний магнитный сепаратор;
 11 – поворотная заслонка; 12 – режущий барабан; 13 – прессующий транспортер;
 14 – противорежущая пластина; 15 – питающий транспортер; 16 – коллектор;
 17 – подводящий воздушный патрубок; 18 – электродвигатель; 19 – натяжное устройство;
 20 – нижний магнитный сепаратор; 21 – нижняя дека; 22 – вал ротора; 23 – ось; 24 – рама

Рисунок 3.1 – Схема дробилки КДУ-2

Поступающий в рабочую камеру зерновой материал при своем перемещении совершает многократное круговое движение, концентрируясь при этом на внутренних стенках дробильной камеры в виде воздушно-продуктового слоя.

Рабочий процесс в этих машинах характеризуется тем, что разрушение корма производится ударами частиц о неподвижную поверхность (сито или деку), ударами частиц друг о друга и молотками. Дробилки с данным типом измельчающего аппарата нашли большое распространение в технологических линиях подготовки кормов к скармливанию, так как просты по устройству и не требуют повторного измельчения. Техническая характеристика дробилки закрытого типа КДУ-2,0 представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Техническая характеристика дробилки

Марка машины	Производительность, т/ч	Установленная мощность, кВт	Масса, кг	Размеры, м
КДУ-2,0	2	30	1200	3,1×1,6×2,9

Более объективным критерием, отражающими полноценность организации рабочего процесса, является удельная энергоёмкость процесса. Этот показатель равен 15 кВт·ч/т.

К основным техническим показателям молотковой дробилки относятся диаметр и длина рабочей камеры.

Для определения диаметра рабочей камеры дробилки воспользуемся схемой, представленной на рисунке 3.2.

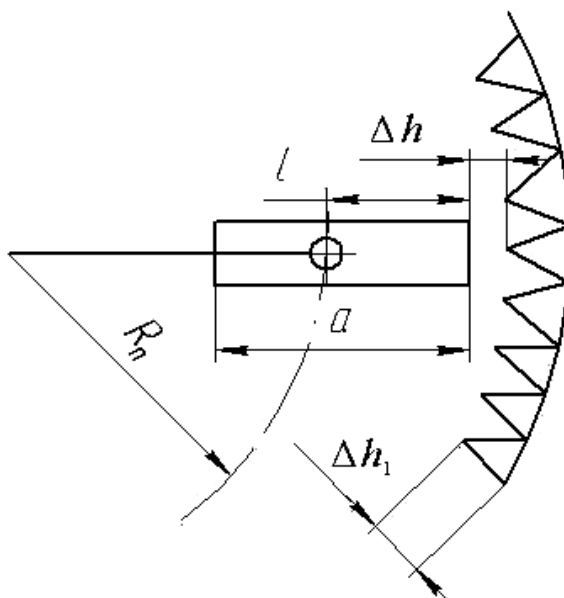


Рисунок 3.2 – Схема к расчету диаметра молотковой дробилки

Расстояние от оси крепления молотка до его торцевой грани определяем из соотношения

$$l = \frac{a}{1,5}, \quad (3.1)$$

где a – длина молотка (из таблицы 3.4), м.

Расстояние от оси барабана до оси подвеса молотка определяем по формуле

$$R_n = 2,25l. \quad (3.2)$$

Подставив рассчитанные по формулам (3.1) и (3.2), значение диаметра рабочей камеры определим по формуле

$$D = (l + R_n + \Delta h + \Delta h_1)2, \quad (3.3)$$

где l – расстояние от оси крепления молотка до его торцевой грани, м;

R_n – расстояние от оси барабана до оси подвеса молотка, м;

Δh – зазор между торцами молотка и декой, м ($\Delta h = 0,004 \dots 0,010$);

Δh_1 – толщина сита ($\Delta h_1 = 0,05$ м).

Определим длину дробильного барабана, м:

$$L = \frac{D}{4 \dots 7}. \quad (3.4)$$

3.1.2 Расчет параметров дробилки

В дробилке закрытого типа корм, поступая в рабочую камеру измельчителя, подвергается воздействию вращающихся рабочих органов и начинает перемещаться по плоскости решета. Если на пути измельченных частиц зерна встречается отверстие решета, в раствор которого частица вписывается, то она перемещается по каналу в сторону выгрузки.

Из схемы скоростей просеиваемого продукта через отверстия в решете (рисунок 3.3) видно, что частицы перемещаются в зарешетное пространство в направлении вектора абсолютной скорости, которая и определяет скорость прохождения измельченного продукта через отверстия в решете, то есть $V_{пр} = V_{абс}$.

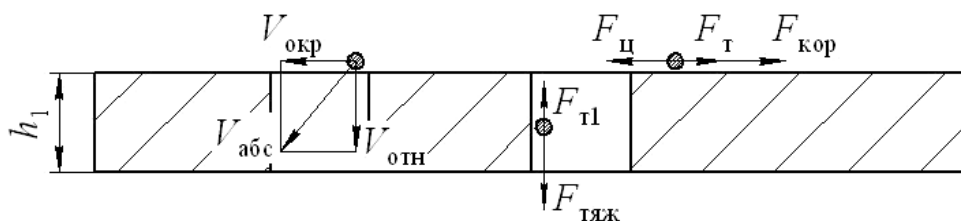


Рисунок 3.3 – Схема для определения пропускной способности решета

Принимаем условие, в соответствии с которым окружная скорость корма приблизительно равна окружной скорости молотков ($V_{\text{окр}} = V_{\text{м}}$). В соответствии с принятым условием окружная скорость корма определяется по формуле

$$V_{\text{окр}}^2 = \left[\frac{\pi D n_6}{60} (0,4 \dots 0,5) \right]^2, \quad (3.5)$$

где D – диаметр рабочей камеры, м (по формуле (2.3));

n_6 – число оборотов барабана, об/мин (из таблицы 3.2).

Относительную скорость определим по формуле

$$V_{\text{отн}}^2 = 2 D h_1 g \frac{f}{\text{tg } \alpha}, \quad (3.6)$$

где f – коэффициент трения корма, (таблица 1, приложение 4);

g – ускорение свободного падения, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

Δh_1 – толщина решета, $\Delta h_1 = 0,05 \text{ м}$;

α – угол охвата барабана решетом, град. (из таблицы 3.2).

Заданное значение $\text{tg } \alpha$ перевести в натуральное значение.

Подставив значения формул (3.5) и (3.6), определим абсолютную скорость перемещения корма по каналам решета по формуле

$$V_{\text{пр}} = V_{\text{абс}} = \sqrt{V_{\text{окр}}^2 + V_{\text{отн}}^2}. \quad (3.7)$$

Определим длину дуги сита:

$$l_c = \frac{2\pi R \alpha}{360^\circ}, \quad (3.8)$$

где R – радиус дробильной камеры, м ($R = D/2$);

D – диаметр рабочей камеры, м (из формулы (3.3));

α – угол охвата барабана решетом, град. (из таблицы 3.2).

Определим площадь решета:

$$s_c = l_c L, \quad (3.9)$$

где l_c – длина дуги сита, м;

L – длина барабана, м (из формулы (3.4)).

Площадь сепарирующей поверхности решета можно определить по формуле

$$s_{сеп} = (0,08 \dots 0,35) s_c, \quad (3.10)$$

где s_c – площадь решета, м².

Производительность дробилки определим по формуле

$$Q_p = s_{сеч} \rho V_{пр}, \quad (3.11)$$

где $s_{сеч}$ – площадь сепарирующей поверхности, м² (формула 3.10);

$V_{пр}$ – скорость прохождения измельченного продукта через отверстия в решете, м/с (из формулы (3.7));

ρ – плотность корма (таблица 1, приложение 4), кг/м³.

Число отверстий в решете:

$$Z_{отв} = \frac{4s_{сеп}}{\pi d_{отв}^2 0,001}, \quad (3.12)$$

где $d_{отв}$ – диаметр отверстия в решете (таблица 1, приложение 4), мм.

3.1.3 Расчет потребной мощности на привод молотковой дробилки

Площадь молотка определяется по формуле

$$S = lh_m, \quad (3.13)$$

где l – расстояние от оси крепления молотка до его торцевой грани, м (см. формулу (3.1));

h_m – толщина молотка, м ($h_m = 0,002 \dots 0,004$ м).

Сила, затрачиваемая на измельчение корма

$$P_{\text{изм}} = S \sigma_{\text{разр}}, \quad (3.14)$$

где S – площадь молотка, м^2 ;

$\sigma_{\text{разр}}$ – разрушающее контактное напряжение, Н/м^2 .

Для зерновых $\sigma_{\text{разр}} = (70 \pm 20) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; для стебельчатых $\sigma_{\text{разр}} = (100,4 \pm 20) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$.

Скорость молотка определяется по формуле

$$V = \frac{\pi D n_6}{60}, \quad (3.15)$$

где D – диаметр рабочей камеры (формула (2.3)), м ;

n_6 – число оборотов барабана (из таблицы 3.4), об/мин .

Мощность, затрачиваемая на разрушение материала, определяется по формуле

$$N_{\text{изм}} = P_{\text{изм}} V. \quad (3.16)$$

Мощность, затрачиваемая на циркуляцию корма в рабочей камере и холостого хода дробилки, определим по формуле

$$N_{\text{ц}} + N_{\text{хх}} = (0,15 \dots 0,20) N_{\text{изм}}. \quad (3.17)$$

Потребная мощность на измельчение корма определяется по формуле

$$N = N_{\text{изм}} + (N_{\text{ц}} + N_{\text{хх}}), \quad (3.18)$$

где $N_{\text{изм}}$ – мощность, затрачиваемая на разрушение материала, кВт ;

$N_{\text{ц}}$ – мощность, затрачиваемая на циркуляцию корма в рабочей камере, кВт ;

$N_{\text{хх}}$ – мощность холостого хода дробилки, кВт .

3.1.4 Конструкторский расчет

Произведем расчеты вала для его работы без скручивания, деформирования и излома частей вала. Рассчитываем диаметр вала дробильного аппарата, который передает крутящий момент от электродвигателя к молоткам.

Вал дробилки передает крутящий момент на молотки дробилки, определить величину которого можно по формуле

$$M_k = \frac{9550N}{n_6}, \quad (3.19)$$

где N – мощность на измельчение корма (формула (3.18)), кВт;
 n_6 – число оборотов барабана (из таблицы 3.4), об/мин.

Поперечный момент сопротивления рассчитаем по формуле

$$W_p = \frac{M_k}{[\tau]} = \frac{M_k \cdot 10^3}{90}. \quad (3.20)$$

Определяем диаметр вала из условия нахождения поперечного момента:

$$d = \sqrt[3]{\frac{W_p}{0,166}}. \quad (3.21)$$

Принимаем ближайшее число для диаметра вала из стандартного ряда.

Площадь поперечного сечения вала равна

$$S = \frac{\pi d^2}{4}; \quad (3.22)$$

где d – диаметр вала, м.

Расчет вала на прочность производим по формуле

$$\sigma = \frac{M_k}{S \cdot 10^6} \leq [\sigma], \quad (3.23)$$

где M_k – приведенный момент, Н·м;

S – площадь поперечного сечения вала, м²;

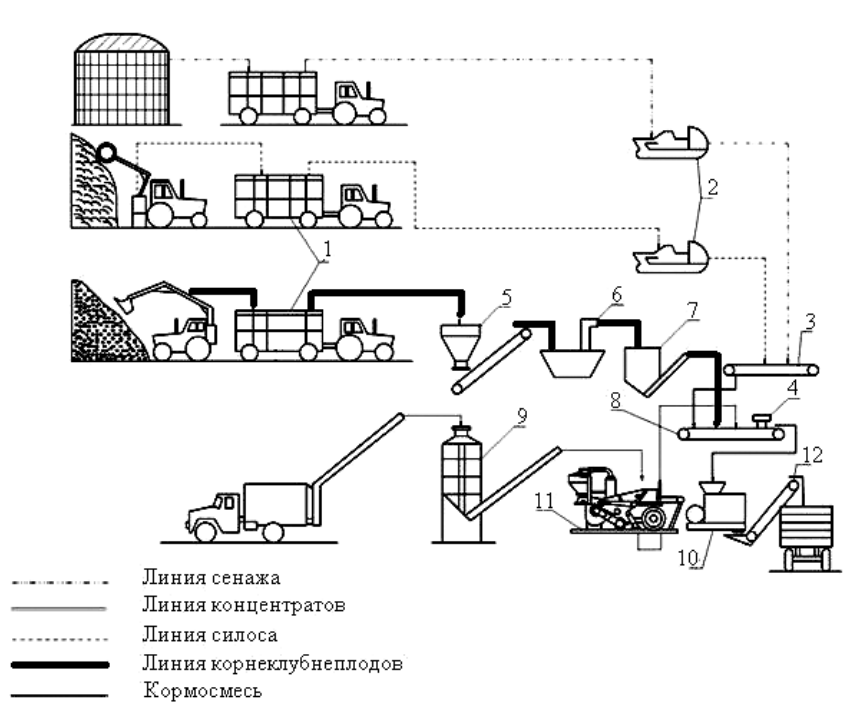
$[\sigma]$ – допустимые напряжения (0,1 МПа).

Условие прочности соблюдается, если полученное значение меньше допустимого.

$$\sigma \leq [\sigma] = 0,1 \text{ МПа.}$$

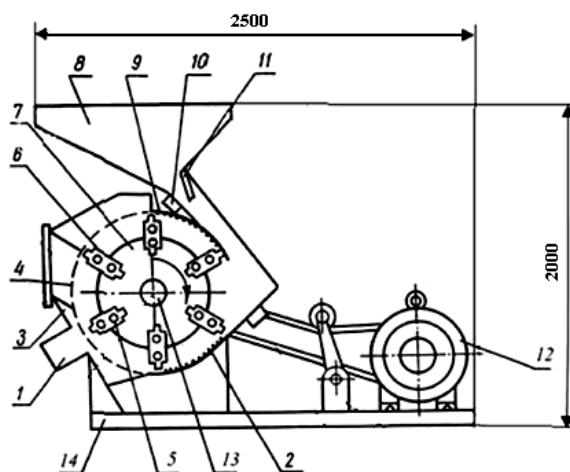
Исходя из условий прочности выбираем металл, который будет соответствовать условиям прочности и среде работы детали. Принимаем Сталь 40.

Выполнить графическую часть проекта в соответствии с заданием. На листах соответствующего формата разместить схемы и чертежи (рисунок 3.4–3.5).



- 1 – транспортное средство; 2 – измельчитель зеленых стебельчатых кормов; 3 – транспортер;
 4 – магнитный уловитель; 5 – бункер микродобавок; 6 – мойка корнеклубнеплодов;
 7 – дозатор корнеклубнеплодов; 8 – сборный транспортер; 9 – бункер-дозатор зернофуража;
 10 – измельчитель-смеситель; 11 – дробилка кормов; 12 – раздатчик кормов

Рисунок 3.4 – Линия приготовления кормов



- 1 – Отсасывающий патрубок; 2 – нижняя дека; 3 – выбросная горловина; 4 – решето;
 5 – ось; 6 – молоток; 7 – дробильный аппарат; 8 – бункер; 9 – верхняя дека;
 10 – верхний магнитный сепаратор; 11 – поворотная заслонка

Рисунок 3.5 – Дробилка кормов

Таблица 3.2 – Варианты для расчета параметров дробилки

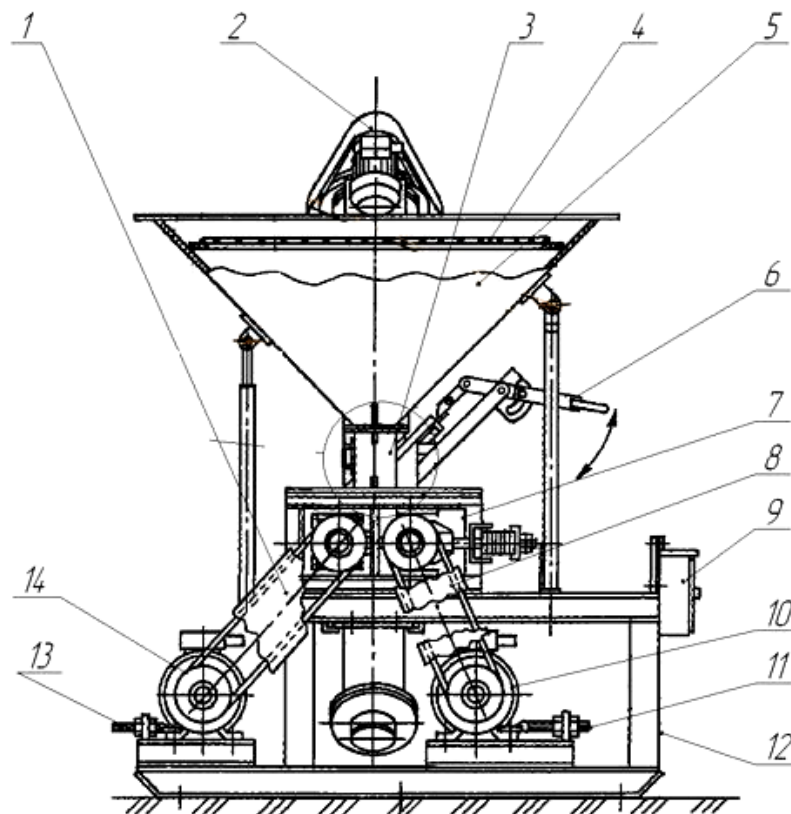
Вариант	Вид корма	Число животных	Годовой удой, кг	Степень измельчения корма, мм	Длина молотка, мм	Число оборотов барабана, об/мин	Диаметр отверстия в решетке, мм	Угол охвата барабана решетом, град.
1	Ячмень	100	2500	1,5	110	800	2	20
2	Сено	150	2700	2	115	900	3	30
3	Солома	200	3000	3	120	1000	6	40
4	Овес	250	3500	1,7	125	1100	10	50
5	Сено	300	4000	2,3	130	1200	2	60
6	Солома	350	4500	3,5	135	1300	3	70
7	Рожь	400	5000	2,5	140	1400	6	80
8	Сено	450	2500	2,5	145	1500	10	90
9	Солома	500	2700	5,5	150	800	2	100
10	Пшеница	550	3000	5,0	110	900	3	110
11	Сено	600	3500	7	115	1000	6	120
12	Солома	650	2500	2	120	1100	10	130
13	Горох	700	2700	6,5	125	1200	2	140
14	Сено	750	3000	6,5	130	1300	3	150
15	Солома	800	3500	2,5	135	1400	6	160
17	Ячмень	850	4000	4	140	1500	10	170
18	Сено	900	4500	4	145	800	2	180
19	Солома	1000	2500	2	150	900	3	190
20	Ячмень	250	2700	5	120	1000	6	40
21	Сено	300	3000	7	125	1100	10	50
22	Солома	350	3500	6	130	1200	2	60
23	Овес	400	4000	9	135	1300	3	70
24	Сено	450	4500	8	140	1400	6	80
25	Солома	500	5000	2,3	110	1500	10	90
26	Рожь	550	4200	3,5	115	800	2	100
27	Сено	600	5100	2,5	120	900	5	40
28	Овес	450	4500	7	155	1500	6	70
29	Сено	400	4000	6	150	1300	3	80
30	Солома	550	5500	2,8	130	2000	10	90
31	Рожь	500	4200	3,9	105	800	8	100
32	Сено	650	5500	4,5	130	900	6	60

3.2 Определение оптимальных параметров плющилки зерна для технологической линии подготовки к скармливанию зернофуража молочно-восковой спелости

Плющилка зерна «КОРМ-10» (рисунок 3.6) предназначена для плющения зерна, кукурузы и бобовых влажностью до 40 %, а также может быть использована для дробления сухого зерна.

Технологический процесс заключается в том, что зерно из бункера поступает по горловине в плющильную камеру в зазор между вращающимися с частотой 1480 об/мин навстречу друг другу вальцами. В результате взаимодействия зерно раздавливается и расплющивается.

Расплющенное зерно сыпается в контейнер, расположенный под вальцовой камерой, и далее в заборную камеру винтового выгрузного конвейера. Сюда же подается консервант. При перемещении плющеного зерна по винтовой поверхности происходит его смешивание с консервантом и передвижение. Выгрузка осуществляется в накопительные емкости или транспорт.



- 1 – кожух; 2 – выгрузной шнек; 3 – рабочая камера; 4 – решето; 5 – бункер;
 6 – рукоятка; 7 – подвижный валец; 8 – кожух; 9 – шкаф управления;
 10, 14 – электродвигатель; 11, 13 – регулировочный винт; 12 – рама

Рисунок 3.6 – Плющилка зерна

Для предотвращения попадания металлических изделий в зону плющения и повреждения дисков в горловине установлен магнитный сепаратор.

Для переработки зерна различной величины и бобовых в плющилке предусмотрена возможность регулирования зазоров между вальцами.

При необходимости остановки плющилки прекращается подача консерванта. Полностью закрывается шиберная заслонка, после чего вырабатывается и выгружается все оставшееся зерно. После выгрузки зерна отключается сначала привод валцов, а потом привод винтового конвейера. После остановки необходимо выдвинуть из горловины магнитный сепаратор, очистить его от металлических включений и задвинуть в горловину.

Плющение зерна осуществляется посредством двух гладких или рифленых валцов (рисунок 3.7), вращающихся в разные стороны, с одинаковой ($V_1 = V_2$) или разной ($V_1 \neq V_2$) окружной скоростью.

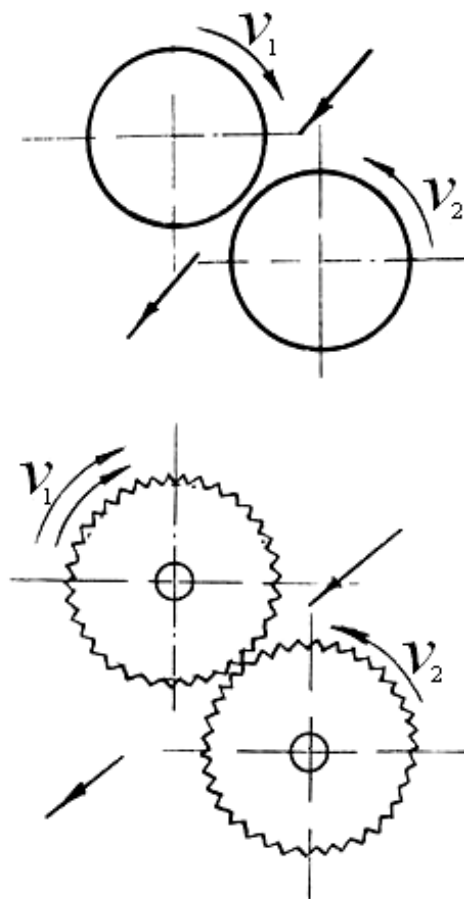


Рисунок 3.7 – Принципиальные схемы вальцовой плющилки

Зерно подводится к рабочей щели валцов и под действием силы трения, за-таскивается валцами в щель, сжимается и раздавливается. При этом происходит плющение зерна.

Вальцы располагаются под углом к горизонту в 20° или горизонтально (рисунок 3.8)

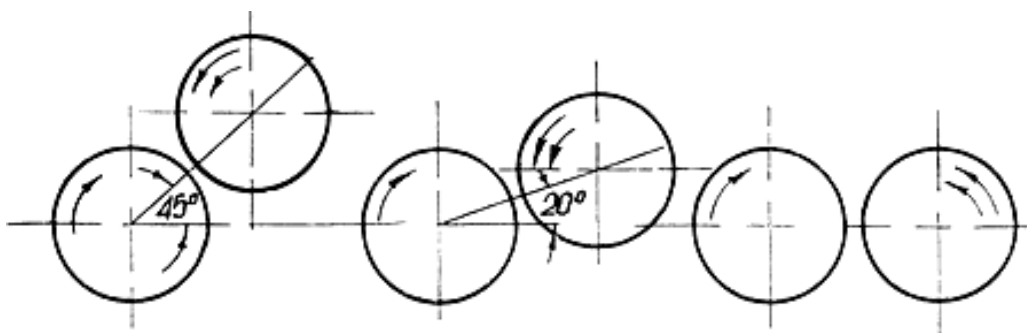


Рисунок 3.8 – Варианты расположения валцов

Чем меньше угол наклона валцов, тем благоприятнее условия подачи материала в зону измельчения, но ширина валцового станка при этом несколько увеличивается.

В рабочем процессе валцовых плющилок имеют значение следующие основные факторы: угол захвата; диаметр валцов; окружные скорости валцов и их соотношение; профиль и угол наклона рифлей; число рифлей на единицу длины окружности валца; величина рабочего зазора между валцами и свойства размалываемого материала.

Допустим, что мы имеем два гладких валца радиусом R (рисунок 3.9).

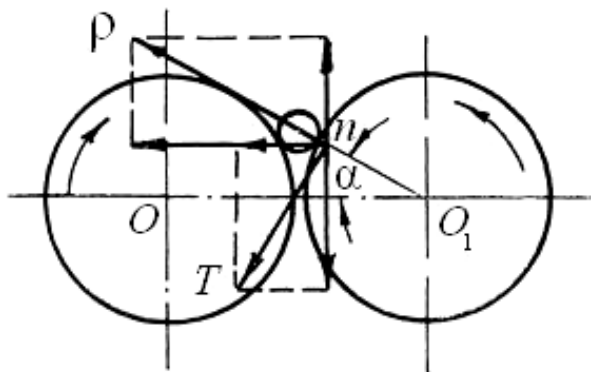


Рисунок 3.9 – К анализу рабочего процесса

В момент вхождения в зазор частица в точке соприкосновения n воспринимает давление вальца P , возникающая при этом сила трения $T = fP$ направлена по касательной. Разложим силы P и T на горизонтальные и вертикальные составляющие. Горизонтальные силы, действующие на частицу со стороны правого и левого валцов, взаимно уничтожаются. Вертикальная составляющая силы трения направлена вниз.

Она затягивает частицу материала в рабочее пространство и равна

$$T \cos \alpha = fP \cos \alpha, \quad (3.24)$$

где α – угол захвата, составленный направлением силы P и линией центров OO_1 .

Вертикальная же составляющая силы направлена вверх и препятствует вхождению частицы в рабочее пространство. Она равна $P \sin \alpha$.

Захват частицы материала вальцами будет происходить только при условии

$$2fP \cos \alpha \geq 2P \sin \alpha.$$

Следовательно, для обеспечения захватывания материала поверхностями вальцов необходимо, чтобы угол α , называемый углом захвата, был меньше угла трения φ между измельчаемым материалом и вальцом. Радиус вальцов определяется размером частиц материала и величиной угла трения.

3.2.1 Определение радиуса вальцов

Обозначим начальный размер частицы материала через B . Конечный размер частицы будет равен ширине рабочего зазора B_1 . Тогда расстояние между центрами можно представить как

$$OO_1 = 2R \cos \alpha + B + 2R + B_1. \quad (3.25)$$

Отсюда радиус вальца

$$R = \frac{B - B_1}{2(1 - \cos \alpha)} = \frac{B - B_1}{4 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}, \quad (3.26)$$

где B – начальный размер частицы материала, м;

α – угол захвата материала вальцом, град.

Угол α ее не должен превышать угла трения φ , т. е. $\alpha = \varphi$.

Это указывает на существование почти прямой зависимости между R и B и обратной зависимости между R и φ .

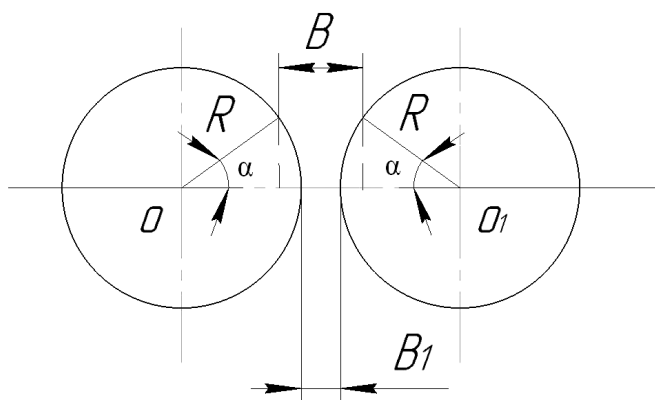


Рисунок 3.10 – Схема к определению радиуса валцов

Интенсивность измельчения материала в валцовом станке определяется длиной l пути (дуги) обработки. Чем больше l , тем интенсивнее происходит плющение и растирание продукта. Значение l можно определить по формуле

$$l = \sqrt{(B - B_1)R}, \quad (3.27)$$

где $B_1 = B/1,5$ – соотношение между зазором между валцами и размером зерна.

Таким образом, длина пути обработки тем больше, чем больше радиус валцов и разность $(B - B_1)$.

В процессе плющения зерна валцами решающее значение имеют форма и состояние поверхностей валцов. Рифленая поверхность образуется путем нарезки валцов резцами на специальных станках.

Рифли (рисунок 3.11) характеризуются профилем, количеством их на единицу длины окружности валца, уклоном рифлей и взаиморасположением их на парноработающих валцах.

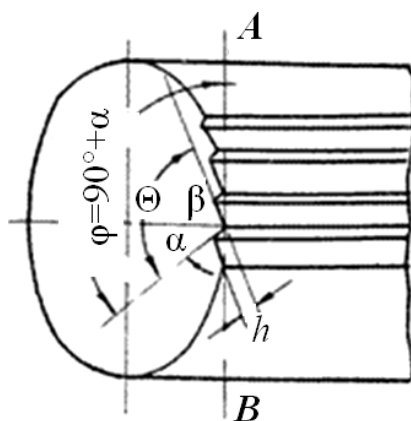


Рисунок 3.11 – Форма рифленого валца

В поперечном сечении рифли имеют две неравные боковые грани – узкую (грань острия) и широкую (грань спинки). Угол Θ , образованный этими гранями, называется углом заострения рифлей. Если из центра вальца провести радиус к вершине рифли, то угол Θ разделится на два угла: угол острия α и угол спинки β . Тупой угол, заключенный между касательной AB , проведенной через вершину рифли и гранью острия, условно называется углом резания φ .

Принятый на наших предприятиях единый профиль рифлей характеризуется углом заострения $\Theta = 90^\circ$, углом острия $\alpha = 20^\circ$ и углом спинки $\beta = 70^\circ$. Расстояние t между двумя вершинами рифлей, измеренное по окружности, называется шагом рифлей, а расстояние h между окружностью впадин и окружностью выступов, измеренное по радиусу вальца, называется высотой рифлей (рисунок 3.12).

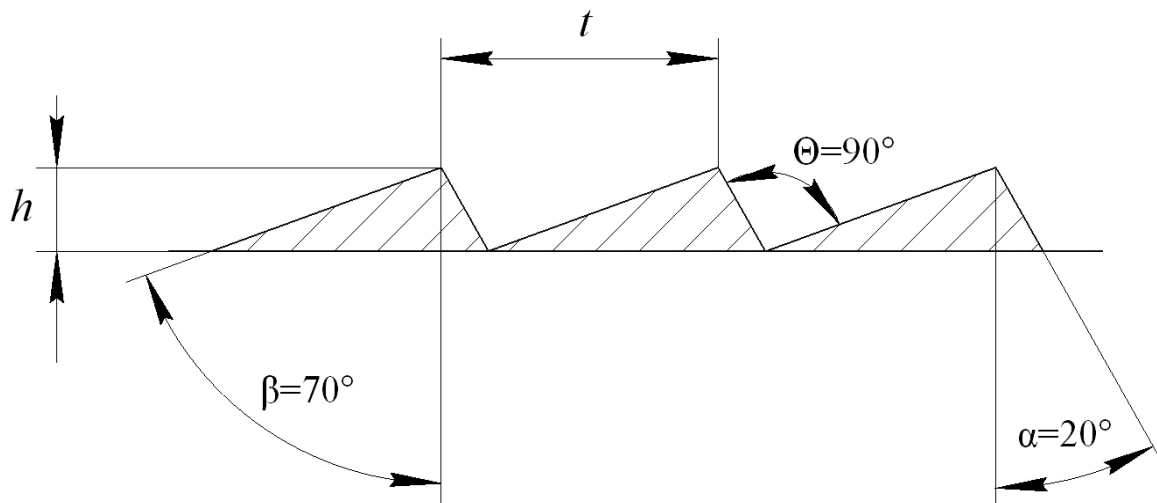


Рисунок 3.12 – Профиль рифлей

Шаг и число рифлей связаны следующим соотношением:

$$t = \frac{10}{n}, \quad (3.28)$$

где n – количество рифлей на 1 см длины окружности вальца (принимают от 4 до 10).

Высоту рифли h определяют по формуле

$$h = t \sin \alpha. \quad (3.29)$$

Во всех вальцовых плющилках рифли нарезаются по винтовой линии, то есть под углом к образующей, который выбирается в пределах от 5 до 15°. Назначение уклона рифлей – создать большую равномерность в работе вальцов и избежать их дрожания.

3.2.2 Определение производительности плющилки зерна

Производительность плющилки зависит от величины рабочего зазора между вальцами, длины вальцов, окружной скорости вальцов, свойств измельчаемого материала и степени заполнения объема рабочего зазора.

Формула для расчета производительности плющилки:

$$Q = 3600(B_1 - h)L\left(\frac{V_B + V_M}{2}\right)\gamma k, \quad (3.30)$$

где h – высота рифлей, м;

V_B, V_M – скорость быстро вращающегося и медленно вращающегося вальца, как правило, равная 5,5...6 м/с, (принимается $V_B = V_M$);

L – длина вальца, м (принимается $L = (15...30) l$);

γ – плотность измельчаемого материала, кг/м³ (таблица 1, приложение 4);

k – коэффициент объемного заполнения рабочего зазора, равный 0,1...0,2.

3.2.3 Расчет потребной мощности на привод плющилки зерна

Мощность, потребляемая на привод вальцовых плющилок, расходуется в основном на раздавливание материала, на трение частиц материала друг о друга и вальцы, на трение в цапфах и на потери в передаточном механизме.

Необходимая для работы вальцовой плющилки мощность определяется по формуле

$$N = \frac{LRn}{142800(\sigma^2(B^2 - B_1^2)/EB) + \frac{R^2}{740}}, \quad (3.31)$$

где σ – предел прочности измельчаемого материала, кг/см² (приложение 4);
 E – модуль упругости измельчаемого материала, кг/см²;
 n – число оборотов вальцов, об/мин.

Число оборотов вальцов определяется по формуле

$$n = 308 \sqrt{\frac{f}{\gamma BR}}, \quad (3.32)$$

где f – коэффициент трения материала о поверхность вальцов ($f = 0,3 \dots 0,4$);
 γ – плотность измельчаемого материала, кг/м³;

B – начальный размер частицы материала (определяется самостоятельно с использованием литературных источников [8, 9], в зависимости от выбранной культуры);

R – радиус вальцов, м.

На основании полученных данных и требований к проектированию строим чертеж плющилки зерна с рассчитанным диаметром вальцов и чертеж вальца с рассчитанными параметрами.

3.2.4 Конструкторский расчет

Произведем расчеты вала для его работы без скручивания, деформирования и излома частей вала. Рассчитываем диаметр вала плющильного вальца. Вал передает крутящий момент на вальцы, определить величину которого можно по формуле

$$M_k = \frac{9550N}{n_6}, \quad (3.33)$$

где N – мощность на плющение зерна, кВт;

n_6 – число оборотов вальца, об/мин.

Поперечный момент сопротивления, см³, рассчитаем по формуле

$$W_p = \frac{M_k}{[\tau]} = \frac{M_k \cdot 10^3}{90}. \quad (3.34)$$

Определяем диаметр вала из условия нахождения поперечного момента:

$$d = \sqrt[3]{\frac{W_p}{1,66}}.$$

Принимаем ближайшее число для диаметра вала из стандартного ряда.

Площадь поперечного сечения вала равна

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (3.35)$$

где d – диаметр вала, м.

Расчет вала на прочность производим по формуле

$$\sigma = \frac{M_k}{S \cdot 10^6} \leq [\sigma], \quad (3.36)$$

где M_k – приведенный момент, Н·м;

S – площадь поперечного сечения вала, м²;

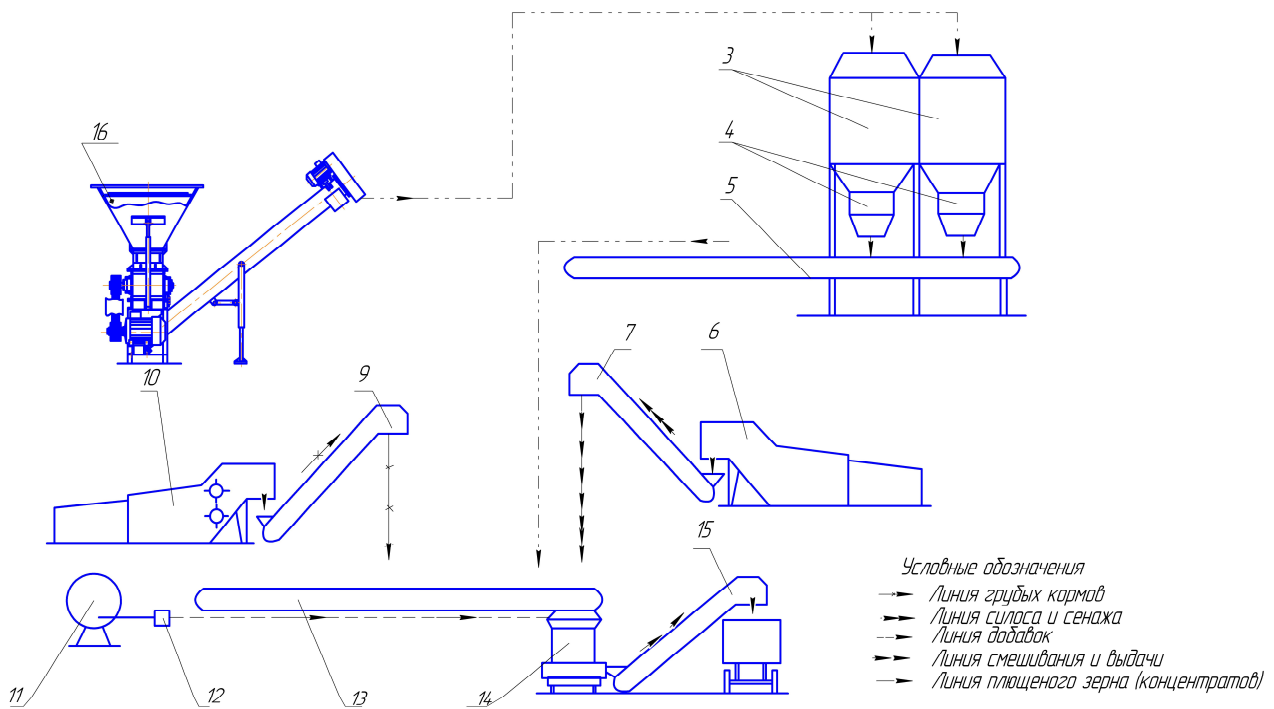
$[\sigma]$ – допустимые напряжения (0,1 МПа).

Условие прочности соблюдается, если полученное значение меньше допустимого:

$$\sigma < [\sigma] = 0,1 \text{ МПа.}$$

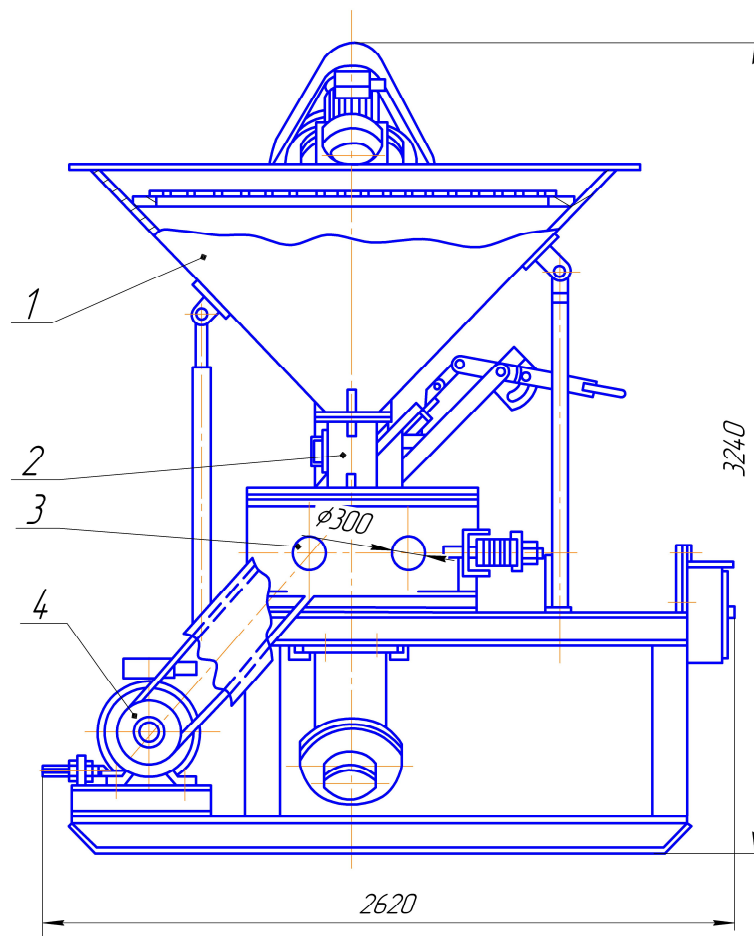
Исходя из условий прочности выбираем металл, который будет соответствовать условиям прочности и среде работы детали.

Выполнить графическую часть проекта в соответствии с заданием. На листах соответствующего формата разместить схемы и чертежи (рисунок 3.13–3.16).



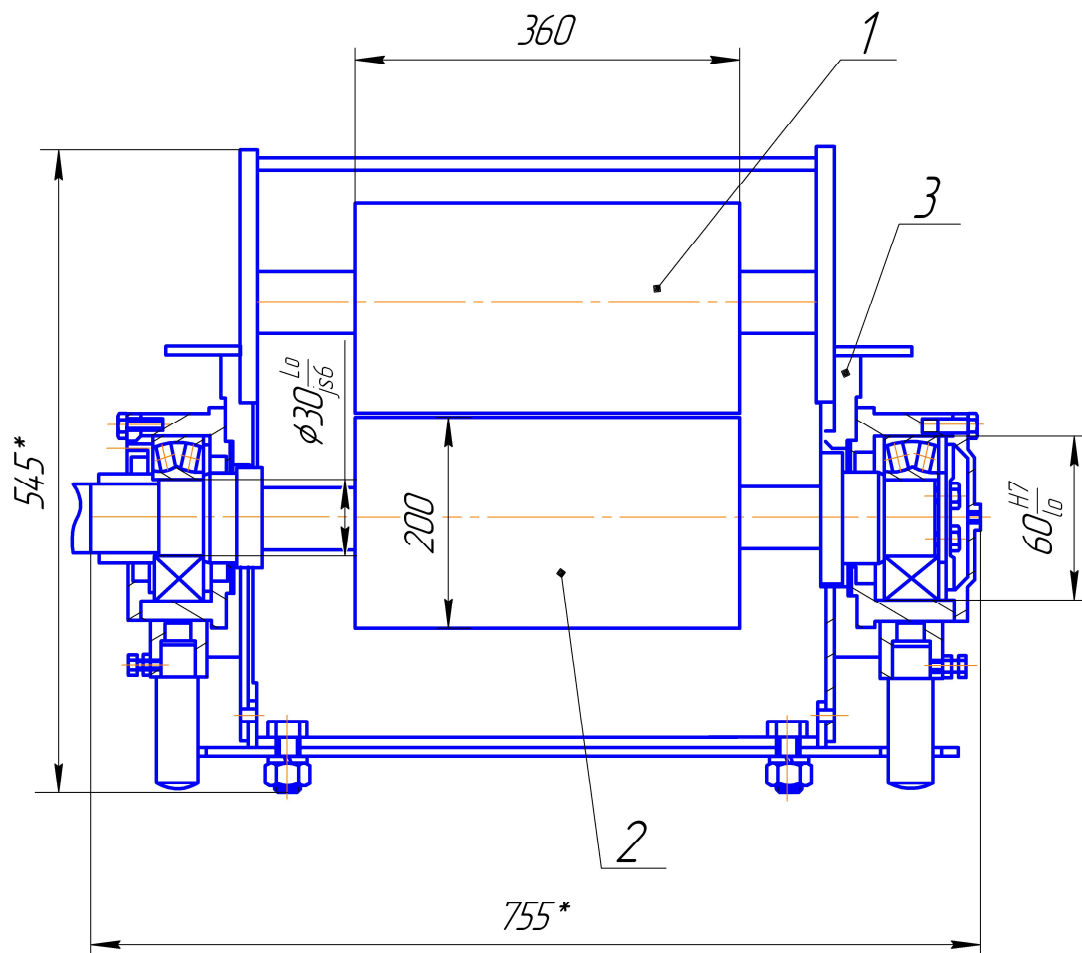
1 – плющилка зерна; 2 – бункер концкормов; 3 – измельчитель ИКВ-5; 4 – питатель;
5 – измельчитель-смеситель ИСК-3; 6 – кормораздатчик

Рисунок 3.13 – Линия приготовления и раздачи кормов



1 – бункер; 2 – рабочая камера; 3 – плющильный аппарат; 4 – привод

Рисунок 3.14 – Плющилка зерна



1 – валец; 2 – валец ведомый; 3 – корпус
Рисунок 3.15 – Плющильный аппарат

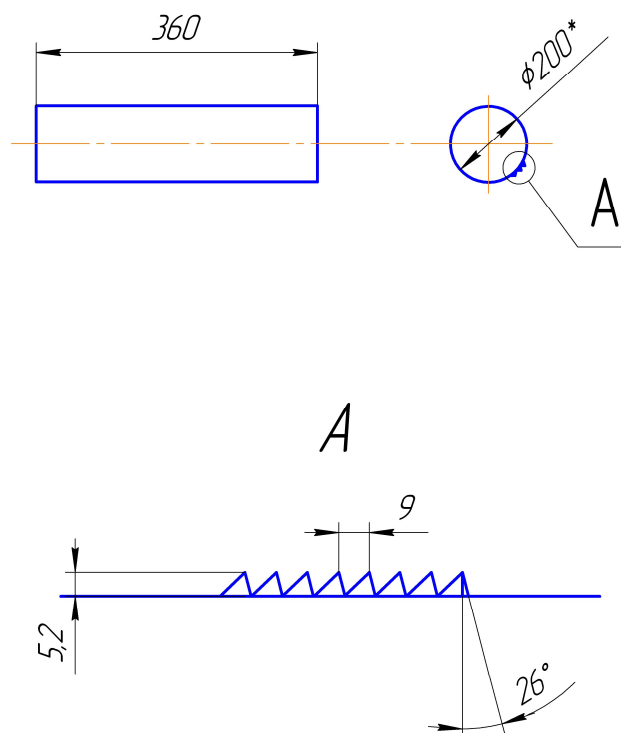


Рисунок 3.16 – Схема вальца и его профиля

Таблица 3.3 – Значения поголовья (гол.)/годового надоя (кг) для расчета генерального плана МТФ (согласно шифру зачетной книжки)

Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100/ 2500	200/ 2700	400/ 4000	600/ 3600	800/ 3900	1000/ 3100	1200/ 4100	100/ 3600	200/ 4000	1500/ 2700
1	800/ 5000	50/ 3600	1200/ 3800	100/ 4800	100/ 4000	200/ 4500	400/ 2600	600/ 3000	800/ 3400	1200/ 3600
2	200/ 4900	400/ 4000	600/ 3500	800/ 2500	1000/ 3100	1200/ 4100	100/ 2700	200/ 3700	1500/ 4100	400/ 5000
3	1000/ 2500	1200/ 3100	100/ 4000	200/ 5000	600/ 3000	400/ 4000	800/ 3700	1000/ 2500	1200/ 4000	100/ 2900
4	1500/ 5000	600/ 2600	800/ 4000	1000/ 3000	50/ 2500	100/ 3000	200/ 5000	400/ 2500	600/ 3000	800/ 5000
5	800/ 2600	200/ 3100	600/ 4300	1000/ 5000	1200/ 2600	100/ 2900	200/ 3400	200/ 5000	400/ 4400	600/ 2500
6	200/ 3000	400/ 5000	600/ 4000	800/ 3500	1000/ 4500	1200/ 2500	50/ 2600	1200/ 3100	100/ 5000	200/ 4500
7	600/ 2500	1500/ 3400	1000/ 2600	1200/ 5000	100/ 4500	200/ 4500	800/ 3900	1000/ 4900	1200/ 2500	100/ 2700
8	800/ 5000	600/ 3000	200/ 4000	1000/ 2500	1200/ 5000	50/ 2900	200/ 3600	400/ 4900	600/ 4100	800/ 5000
9	800/ 3000	1000/ 4000	1200/ 4900	100/ 3000	1000/ 2500	1200/ 4500	100/ 4900	200/ 2600	400/ 3490	1500/ 4590

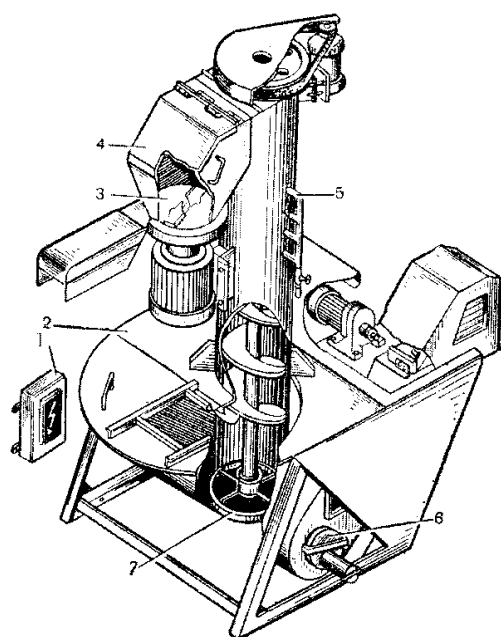
Таблица 3.4 – Данные для расчета параметров плющилки (согласно шифру зачетной книжки)

Предпоследняя Цифра шифра	Последняя цифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	Овес $\alpha = 5^\circ$ $n = 4$	Рожь $\alpha = 7^\circ$ $n = 5$	Пшеница $\alpha = 7^\circ$ $n = 8$	Кукуруза $\alpha = 6^\circ$ $n = 7$	Тритикале $\alpha = 8^\circ$ $n = 9$	Ячмень $\alpha = 9^\circ$ $n = 10$	Овес $\alpha = 11^\circ$ $n = 9$	Рожь $\alpha = 12^\circ$ $n = 5$	Пшеница $\alpha = 13^\circ$ $n = 10$	Кукуруза $\alpha = 14^\circ$ $n = 4$
1	Ячмень $\alpha = 9^\circ$ $n = 10$	Овес $\alpha = 11^\circ$ $n = 9$	Рожь $\alpha = 12^\circ$ $n = 5$	Пшеница $\alpha = 13^\circ$ $n = 6$	Кукуруза $\alpha = 14^\circ$ $n = 7$	Овес $\alpha = 15^\circ$ $n = 4$	Рожь $\alpha = 7^\circ$ $n = 7$	Пшеница $\alpha = 7^\circ$ $n = 8$	Кукуруза $\alpha = 6^\circ$ $n = 7$	Тритикале $\alpha = 8^\circ$ $n = 4$
2	Овес $\alpha = 19^\circ$ $n = 4$	Рожь $\alpha = 7^\circ$ $n = 6$	Пшеница $\alpha = 7^\circ$ $n = 10$	Кукуруза $\alpha = 6^\circ$ $n = 7$	Тритикале $\alpha = 8^\circ$ $n = 7$	Ячмень $\alpha = 9^\circ$ $n = 10$	Овес $\alpha = 18^\circ$ $n = 4$	Рожь $\alpha = 12^\circ$ $n = 5$	Пшеница $\alpha = 13^\circ$ $n = 7$	Кукуруза $\alpha = 14^\circ$ $n = 9$
3	Пшеница $\alpha = 7^\circ$ $n = 8$	Кукуруза $\alpha = 6^\circ$ $n = 4$	Тритикале $\alpha = 8^\circ$ $n = 6$	Ячмень $\alpha = 9^\circ$ $n = 10$	Овес $\alpha = 7^\circ$ $n = 7$	Ячмень $\alpha = 9^\circ$ $n = 9$	Овес $\alpha = 13^\circ$ $n = 9$	Рожь $\alpha = 12^\circ$ $n = 6$	Пшеница $\alpha = 13^\circ$ $n = 10$	Кукуруза $\alpha = 14^\circ$ $n = 4$
4	Пшеница $\alpha = 13^\circ$ $n = 10$	Кукуруза $\alpha = 14^\circ$ $n = 7$	Овес $\alpha = 12^\circ$ $n = 4$	Рожь $\alpha = 7^\circ$ $n = 6$	Пшеница $\alpha = 7^\circ$ $n = 8$	Тритикале $\alpha = 8^\circ$ $n = 9$	Ячмень $\alpha = 9^\circ$ $n = 10$	Овес $\alpha = 16^\circ$ $n = 4$	Ячмень $\alpha = 9^\circ$ $n = 7$	Овес $\alpha = 11^\circ$ $n = 9$
5	Овес $\alpha = 28^\circ$ $n = 7$	Пшеница $\alpha = 7^\circ$ $n = 4$	Кукуруза $\alpha = 29^\circ$ $n = 6$	Тритикале $\alpha = 8^\circ$ $n = 8$	Ячмень $\alpha = 9^\circ$ $n = 4$	Рожь $\alpha = 12^\circ$ $n = 7$	Пшеница $\alpha = 23^\circ$ $n = 10$	Кукуруза $\alpha = 14^\circ$ $n = 5$	Тритикале $\alpha = 27^\circ$ $n = 9$	Ячмень $\alpha = 9^\circ$ $n = 10$
6	Пшеница $\alpha = 24^\circ$ $n = 9$	Кукуруза $\alpha = 23^\circ$ $n = 7$	Тритикале $\alpha = 8^\circ$ $n = 4$	Ячмень $\alpha = 9^\circ$ $n = 10$	Рожь $\alpha = 12^\circ$ $n = 5$	Пшеница $\alpha = 13^\circ$ $n = 7$	Кукуруза $\alpha = 14^\circ$ $n = 4$	Кукуруза $\alpha = 25^\circ$ $n = 7$	Тритикале $\alpha = 8^\circ$ $n = 9$	Ячмень $\alpha = 26^\circ$ $n = 8$
7	Тритикале $\alpha = 28^\circ$ $n = 9$	Ячмень $\alpha = 29^\circ$ $n = 7$	Рожь $\alpha = 15^\circ$ $n = 4$	Пшеница $\alpha = 13^\circ$ $n = 9$	Кукуруза $\alpha = 14^\circ$ $n = 7$	Овес $\alpha = 22^\circ$ $n = 4$	Рожь $\alpha = 7^\circ$ $n = 5$	Пшеница $\alpha = 17^\circ$ $n = 8$	Кукуруза $\alpha = 26^\circ$ $n = 7$	Тритикале $\alpha = 8^\circ$ $n = 9$
8	Овес $\alpha = 5^\circ$ $n = 4$	Рожь $\alpha = 22^\circ$ $n = 5$	Пшеница $\alpha = 13^\circ$ $n = 10$	Кукуруза $\alpha = 14^\circ$ $n = 8$	Тритикале $\alpha = 8^\circ$ $n = 9$	Ячмень $\alpha = 9^\circ$ $n = 10$	Рожь $\alpha = 17^\circ$ $n = 6$	Пшеница $\alpha = 18^\circ$ $n = 8$	Рожь $\alpha = 6^\circ$ $n = 5$	Пшеница $\alpha = 13^\circ$ $n = 9$
9	Рожь $\alpha = 6^\circ$ $n = 9$	Пшеница $\alpha = 13^\circ$ $n = 10$	Кукуруза $\alpha = 14^\circ$ $n = 4$	Тритикале $\alpha = 18^\circ$ $n = 9$	Ячмень $\alpha = 19^\circ$ $n = 7$	Овес $\alpha = 29^\circ$ $n = 8$	Рожь $\alpha = 20^\circ$ $n = 5$	Пшеница $\alpha = 23^\circ$ $n = 5$	Кукуруза $\alpha = 22^\circ$ $n = 7$	Овес $\alpha = 30^\circ$ $n = 9$

3.3 Определение оптимальных параметров шнека мойки-измельчителя для технологической линии подготовки к скармливанию корнеклубнеплодов

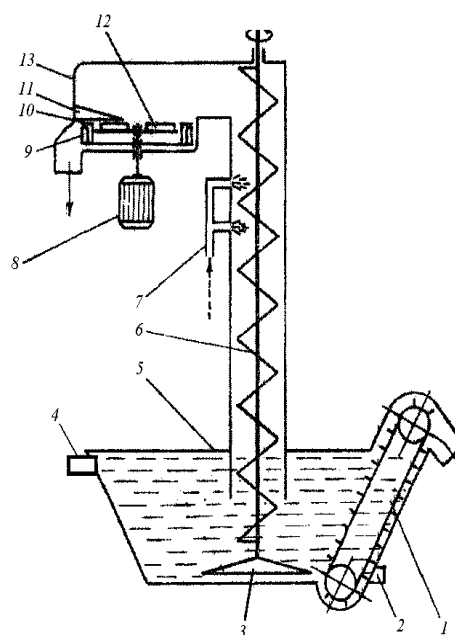
Технологические схемы приготовления корнеклубнеплодов включают мойку, измельчение, запаривание, дрожжевание, разминание и смешивание.

Для подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию в виде моноорма и кормовых смесей применяют корнеклубнемойки, мойки-корнерезки, измельчители, запарники-смесители и другие машины.



- 1 – пульт; 2 – ванна; 3 – измельчитель;
4 – крышка переходника с грузом;
5 – ороситель; 6 – люк; 7 – вертикальная шнековая мойка с диском-активатором

Рисунок 3.17 – Измельчитель корнеклубнеплодов ИКМ-5



- 1 – транспортер для выгрузки камней;
2 – сливной патрубок; 3 – активатор;
4 – переливной патрубок; 5 – ванна; 6 – шнек мойки; 7 – ороситель; 8 – электродвигатель;
9 – нижний диск с выбрасывателем;
10 – дека; 11 – упор; 12 – верхний диск с ножами;
13 – крышка переходника с грузом

Рисунок 3.18 – Технологическая схема ИКМ-5

3.3.1 Расчет параметров шнека мойки-измельчителя

Определим диаметр шнека $D_{ш}$, м:

$$D_{ш} = kd, \quad (3.37)$$

где k – коэффициент пропорциональности ($k = 4 \dots 6$, у сортированного груза – $k =$ до 10);

d – размер кусков транспортируемого материала, м ($d = 0,08$ м, приложение 1).

Принимаем диаметр шнека, учитывая, что для корнеклубнеплодов он равен $0,2 \dots 0,6$ м).

Диаметр вала шнека $d_{\text{в}}$, м:

$$d_{\text{в}} = D_{\text{ш}} k, \quad (3.38)$$

где k – коэффициент пропорциональности ($k = 0,2 \dots 0,6$).

Так как вал шнека чаще всего изготавливается из труб, то принимаем значение из перечня стандартных значений труб – d/s (наружный диаметр трубы/толщина стенки), мм.

Определим шаг шнека S , м:

$$S = D_{\text{ш}} k_1, \quad (3.39)$$

где k_1 – коэффициент для корнеклубнеплодов ($k_1 = 0,6 \dots 0,8$);

$D_{\text{ш}}$ – диаметр шнека мойки, м.

Длина шнека $L_{\text{п}}$, м:

$$L_{\text{п}} = k_2 S, \quad (3.40)$$

где k_2 – коэффициент ($k_2 = 1 \dots 4$);

S – шаг витка шнека, м.

Угол наклона витка шнека (α), град.:

$$\alpha = \text{tg}\left(\frac{0,4S}{D_{\text{ш}}}\right), \quad (3.41)$$

где S – шаг витка шнека, м;

$D_{\text{ш}}$ – диаметр шнека мойки, м.

Угол между плоскостью витка шнека и вертикально действующей силой тяжести:

$$\varphi = \alpha + \frac{\pi}{180}, \quad (3.42)$$

где α – угол наклона витка шнека, град.

Тогда максимально допустимую угловую скорость шнека ω , с^{-1} , можно определить по формуле

$$\omega = \sqrt{\frac{2g \cos(1-f \operatorname{tg} \varphi)}{D_{\text{ш}} \sin \alpha}}, \quad (3.43)$$

где $D_{\text{ш}}$ – диаметр витка шнека, м;

f – коэффициент трения груза о шнек: для картофеля – 0,45...0,79; свеклы – 0,8...0,84, моркови – 0,45...0,60.

Частота вращения шнека n , с^{-1} :

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2g \cos(1-f \operatorname{tg} \varphi)}{D_{\text{ш}} \sin \alpha}}, \quad (3.44)$$

где $D_{\text{ш}}$ – диаметр витка шнека, м.

При наличии мнимых чисел принимаем частоту вращения шнека из рекомендуемых значений. Частота вращения шнека при транспортировке корнеклубнеплодов – 1...3,3.

Производительность шнека Q , кг/с, мойки-измельчителя ИКМ-5 определим из выражения

$$Q = 0,125(D_{\text{ш}}^2 - d_{\text{в}}^2) S \rho \omega K_1, \quad (3.45)$$

где K_1 – коэффициент заполнения рабочего пространства шнека для корнеклубнеплодов ($K_1 = 0,2 \dots 0,25$);

ρ – плотность корнеклубнеплодов, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Производительность шнека мойки-измельчителя W , т/ч:

$$W = 3,6Q, \quad (3.46)$$

Требуемый объем ванны для отмыывания корнеклубнеплодов V , м³:

$$V = \frac{t_0 Q}{1000 \lambda}, \quad (3.47)$$

где t_0 – время отмыывания корнеклубнеплодов, с ($t_0 = 60 \dots 90$ с);

λ – коэффициент заполнения ванны корнеклубнеплодами ($\lambda = 0,25 \dots 0,35$).

Расход воды на ополаскивание корнеклубнеплодов, м³/с:

$$G_o = 0,001 Q q_o, \quad (3.48)$$

где Q – производительность шнека мойки ИКМ-5, кг/с;

q_o – норма расхода воды на ополаскивание корнеклубнеплодов: для свеклы – 0,22; для картофеля – 0,48, моркови – 0,31 м³/т.

Расход воды на мойку корнеклубнеплодов, м³/с:

$$G_m = 0,001 Q q_m, \quad (3.49)$$

где q_m – норма расхода воды на мойку корнеклубнеплодов: при проточной системе – 0,2; замкнутой – 0,1 м³/т.

3.3.2 Расчет потребной мощности привода шнека мойки-измельчителя

Суммарная мощность на привод шнека мойки корнеклубнеплодов составит

$$N = \frac{9,81 W}{3600 \eta} L \omega K_0 K_d, \quad (3.50)$$

где W – удельный коэффициент сопротивления, кг/м ($W = 1,2 \dots 2$ кг/м);

η – КПД привода шнека;

L – длина винтового конвейера, м;

K_0 – коэффициент запаса мощности на преодоление перегрузок ($K_0 = 1,3 \dots 1,5$);

K_d – коэффициент дробления материала ($K_d = 1,05 \dots 1,04$).

3.3.3 Конструкторский расчет

Расчет подшипников скольжения шнека

Определяем вращающий момент на валу шнека:

$$T_{\text{в}} = \frac{k_z N \eta}{\omega 0,001}, \quad (3.51)$$

где k_z – коэффициент запаса (для корнеклубнеплодов $k_z = 1,1 \dots 1,2$);
 N – мощность на привод шнека, кВт;
 η – КПД привода шнека ($\eta = 0,8$);
 ω – угловая скорость шнека, с^{-1} .
 Диаметр выходного конца цапфы (d_x), м:

$$d_x = 0,001 \sqrt{\frac{5 T_{\text{в}} 1000}{\tau}}, \quad (3.52)$$

где $T_{\text{в}}$ – вращающий момент вала шнека, Нм;
 τ – допустимое напряжение материала цапфы винта шнека ($\tau = 15\text{--}20$ МПа).
 Диаметр посадочного места подшипника:

$$d_p = d_x + \Delta, \quad (3.53)$$

где Δ – запас диаметра ($\Delta = 0 \dots 5$ мм).
 Соотношение внутреннего и наружного диаметров вала шнека:

$$c = \frac{d_{\text{в}} - 2s}{d_{\text{в}}}, \quad (3.54)$$

где $d_{\text{в}}$ – диаметр вала шнека, м;
 s – толщина стенки вала шнека, м.
 Диаметр центра тяжести витка шнека:

$$d_0 = \sqrt{\frac{d_{\text{в}}^2}{D_{\text{ш}}^2}}, \quad (3.55)$$

где d_b – диаметр вала шнека, м;
 $D_{ш}$ – диаметр витка шнека, м.
 Длина образующей витка шнека:

$$l = \sqrt{(3,14 d_0)^2 + S^2}, \quad (3.56)$$

где S – шаг витка шнека, м.
 Поперечное сечение вала шнека:

$$A = \frac{3,14}{4} d_b^2 (1 - c^2), \quad (3.57)$$

где d_b – диаметр вала шнека, м;
 c – соотношение внутреннего и наружного диаметров вала шнека.
 Масса витка шнека:

$$M_{\text{вит}} = (1 \cdot 0,5(D_{ш} - d_b) \delta + A S) \rho_{ш}, \quad (3.58)$$

где δ – толщина спирали витка шнека, м ($\delta = 0,004$ м);
 A – поперечное сечение вала шнека, м²;
 S – шаг витка шнека, м;
 $\rho_{ш}$ – плотность материала шнека, кг/м³ ($\rho_{ш} = 7850$ кг/м³).

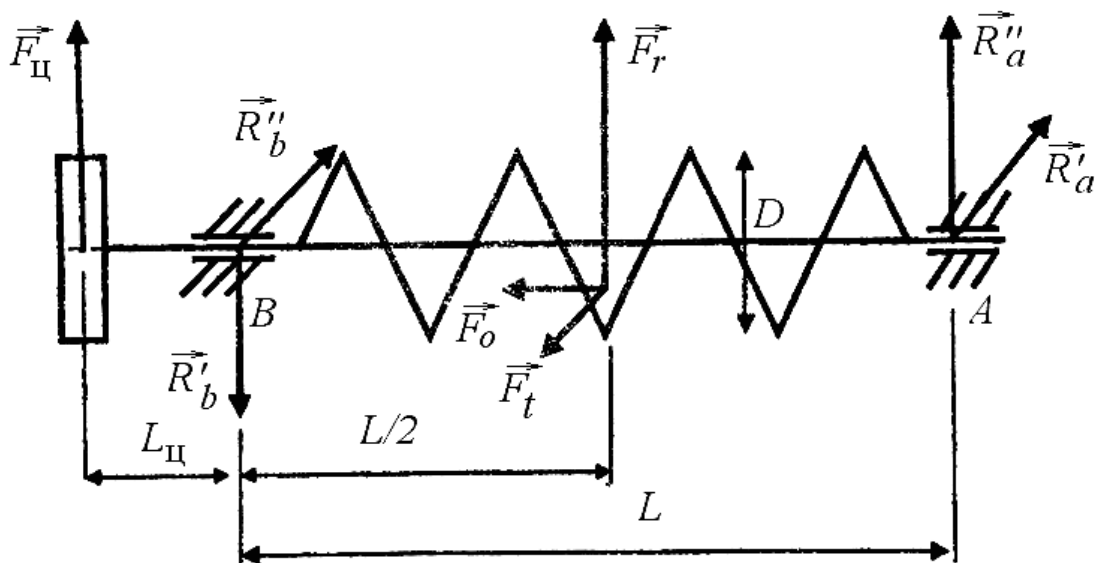


Рисунок 3.19 – Расчетная схема сил и реакций в подшипниках

Продольная сила, действующая на вал шнека (рисунок 3.19):

$$F_a = \frac{2 k_c T_B}{kl D_{\text{ш}} \operatorname{tg}(a + \operatorname{atg}(f))} + 9,81 M_{\text{вит}} \frac{L}{S}, \quad (3.59)$$

где k_c – коэффициент, учитывающий зазор между шнеком и кожухом шнека ($k_c = 1,25 \dots 1,43$);

kl – коэффициент, учитывающий положение равнодействующих сил сопротивления, ($kl = 0,7 \dots 0,8$).

Радиальная сила, действующая на вал шнека:

$$F_t = \left(\frac{2T_B}{kl \cdot D_{\text{ш}}} \right) + 9,81 M_{\text{вит}} \frac{L}{S}, \quad (3.60)$$

Окружная сила, действующая на вал шнека:

$$F_r = F_t \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.61)$$

где φ – угол между плоскостью витка шнека и вертикалью действующей силой тяжести, град.

Определяем силу предварительного натяжения ремней привода шнека (уточняется кинематическими и прочностными расчетами):

$$F_0 = \sigma F_p, \quad (3.62)$$

где σ – напряжение от предварительного натяжения ремней, МПа (для клиновых ремней – $1,2 \dots 1,5$ МПа);

F_p – площадь поперечного сечения ремня, мм^2 ($F_p = 81 \text{ мм}^2$).

Определяем нагрузку на вал со стороны клиноременной передачи (уточняется кинематическими и прочностными расчетами).

При угле обхвата $\alpha_1 > 150^\circ$, принимается $\alpha_1 = 170$.

$$F_{\text{ц}} = \frac{F_r}{D_p} + 2 F_a \sin \left(\alpha_1 \frac{\pi}{180 \cdot 2} \right), \quad (3.63)$$

где D_p – диаметр шкива привода шнека, м ($D_p = 0,2$ м);
 F_r – окружная сила, действующая на вал шнека, Н.

Реакции в подшипниках (рисунок 2.13):

$$R'_A = \frac{F_t}{2}, \quad (3.64)$$

$$R'_B = R'_A, \quad (3.65)$$

$$R''_A = \frac{F_{\text{ц}} L_{\text{ц}} + 0,5F_a(kl - D_p) - 0,5F_r L}{L}, \quad (3.66)$$

$$R''_B = \frac{(0,5F_{\text{ц}}(L + L_{\text{ц}}) + 0,5F_a(kl - D_p)) - 0,5F_r L}{L}, \quad (3.67)$$

где $L_{\text{ц}}$ – плечо действия шкива относительно подшипника вала шнека (рисунок 3.13), м ($L_{\text{ц}} = 0,1$ м);

L – длина шнека, м.

Суммарные реакции в подшипниках (R_A и R_B):

$$R_A = \sqrt{R''_A{}^2 + R'_A{}^2}, \quad (3.68)$$

$$R_B = \sqrt{R''_B{}^2 + R'_B{}^2}. \quad (3.69)$$

Длины цапф (посадочное место для подшипников) принимаем по наибольшему расчетному значению, (lx_a и lx_b):

$$lx_a = \frac{R_A \cdot 10^{-6}}{d_x P}, \quad (3.70)$$

$$lx_b = \frac{R_B \cdot 10^{-6}}{d_x P}, \quad (3.71)$$

где P – допустимое давление: для чугуна – 2...4, латуни – 12, капрона – 14, древесина – 10, резина при смазывании водой – 2...6 МПа;

d_x – диаметр выходного конца цапфы, м.

Для большинства случаев: $lx = 0,5...1,2d_p$ (d_p – диаметр посадочного места подшипника, м).

Диаметр опорной втулки $d_{оп}$:

$$d_{оп} = \sqrt{\frac{4F_a 10^{-6}}{3,14 P} + d_x^2}, \quad (3.72)$$

Определяем удельную работу сил трения:

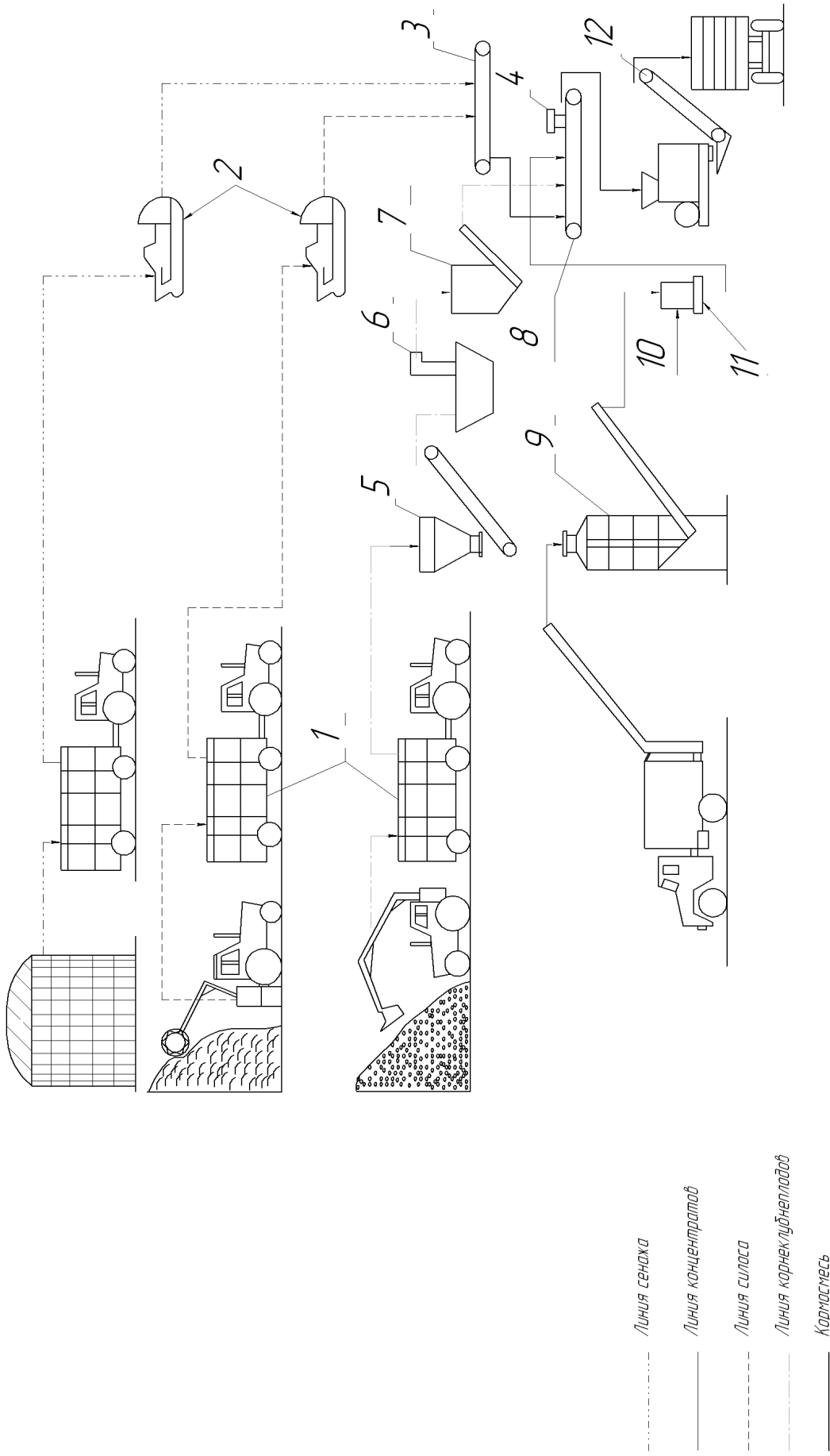
$$pv_{оп} = \frac{3,14 n R_A}{1000 d_{оп}}, \quad (3.73)$$

$$pv_a = \frac{3,14 n R_A}{1000 lx_a}, \quad (3.74)$$

$$pv_b = \frac{3,14 n R_B}{1000 lx_b}, \quad (3.75)$$

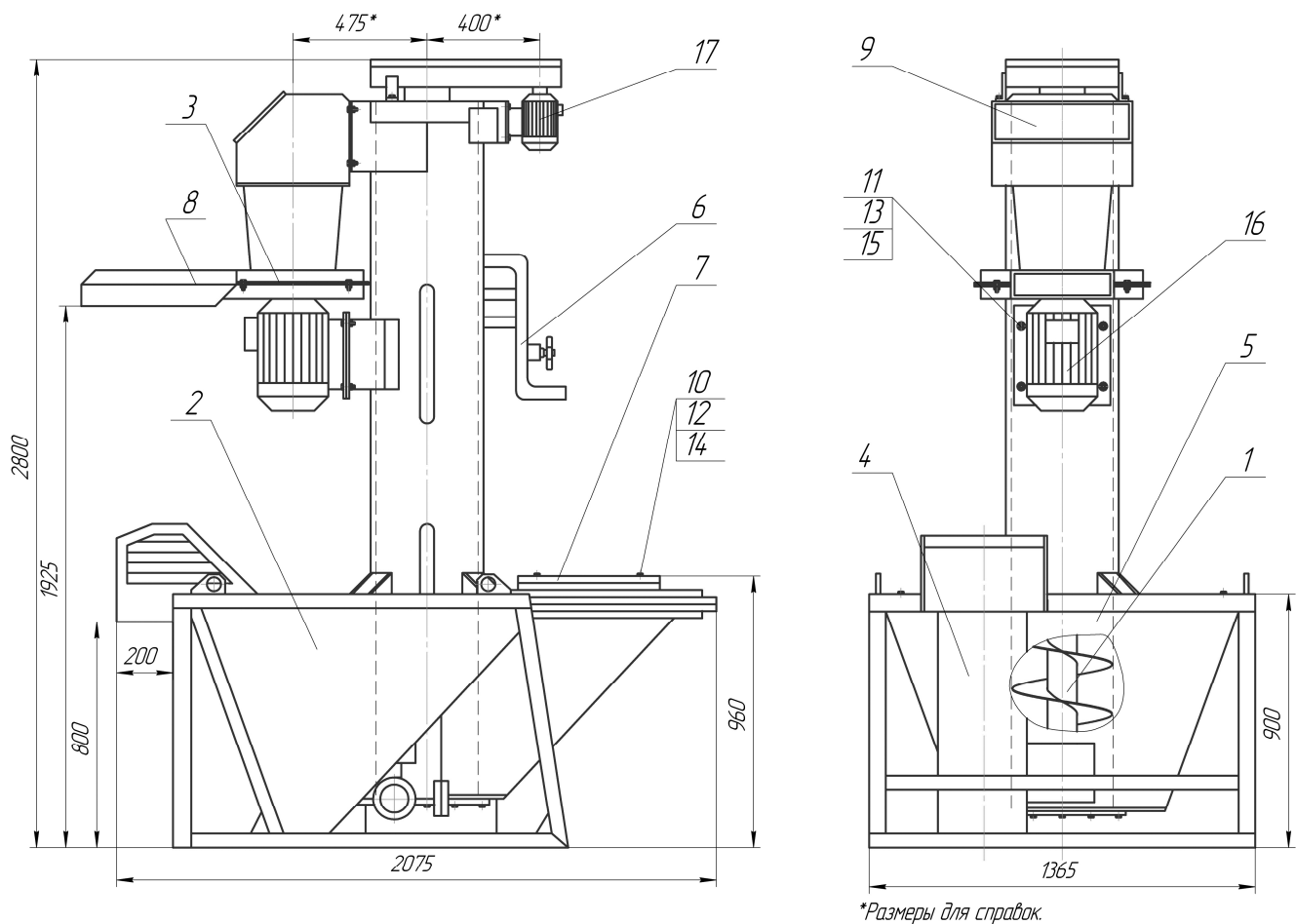
Допустимые значения Pv : для чугуна – 12000, бронзы – 12000...15000, латуни – 10000, капрона – 15000. Должно выполняться условие: $pv < Pv$.

Выполнить графическую часть проекта в соответствии с заданием. На листах соответствующего формата разместить схемы и чертежи (рисунок 3.20–3.22).



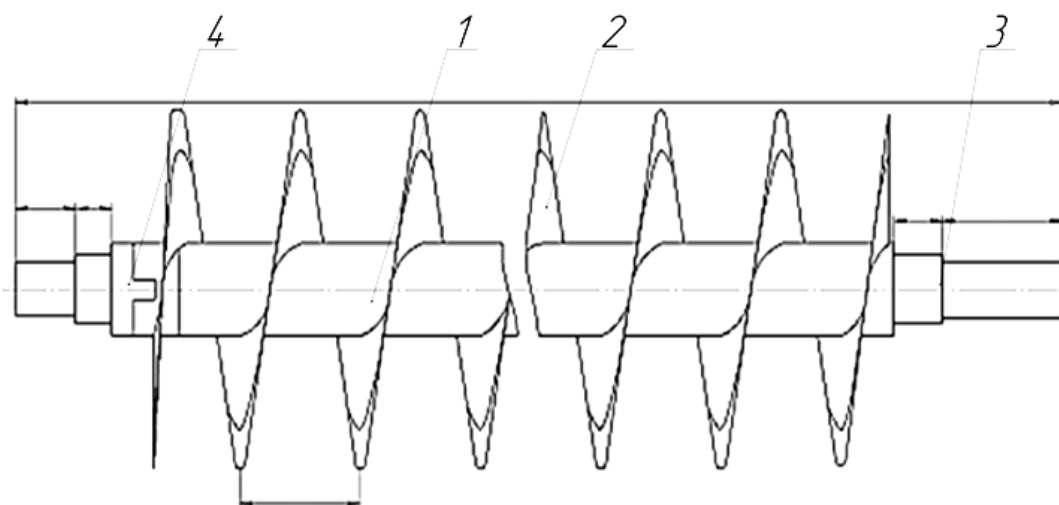
1 – Трактор грейферный погрузчик; 2 – Тракторный прицеп ПСС-15;
 3 – Бункер загрузки корнеплодов; 4 – Мойка ИКМ-5; 5 – Бункер загрузки корнеплодов;
 6 – Комбикормовоз; 7 – Транспортёр Бункер БСК-10;
 8 – Кормораздатчик ИСРК-12Г с трактором Беларус-82

Рисунок 3.20 – Линия приготовления и раздачи кормов



1 – Шнек; 2 – ванна моечная; 3 – измельчающий аппарат; 4 – транспортер; 5 – кожух шнека; 6 – патрубков подвода воды; 7 – корпус ванны; 8 – выгрузной лоток; 9 – крышка измельчителя; 10 – крышка загрузного люка; 11 – болт; 12 – загрузной люк; 13 – шайба; 14 – смотровой люк; 15 – гайка; 16 – электродвигатель измельчителя; 17 – электродвигатель шнека

Рисунок 3.21 – Измельчитель корнеклубнеплодов ИКМ-5



1 – вал; 2 – виток; 3 – цапфа ведомая; 4 – цапфа ведущая

Рисунок 3.22 – Шнек

Таблица 3.5 – Варианты для расчета параметров мойки-измельчителя-камнеуловителя

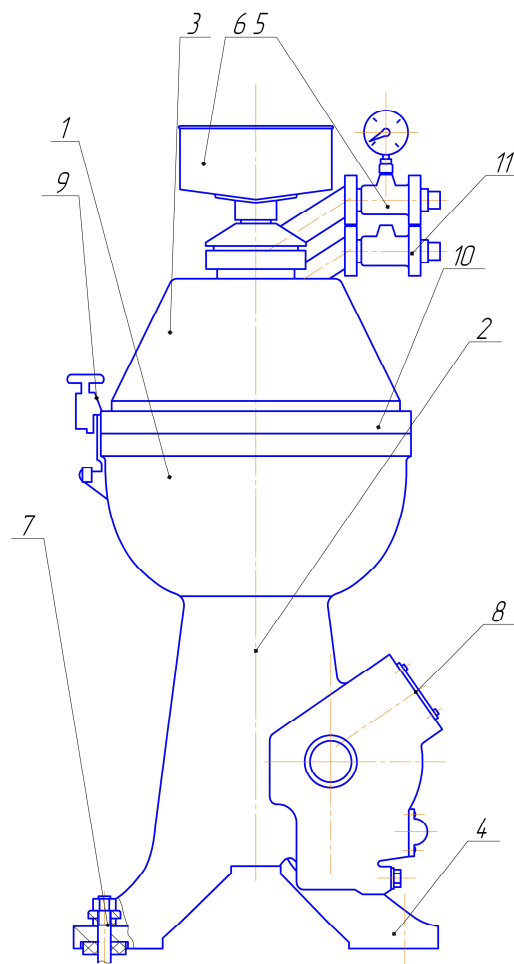
Вариант	Корм	Плотность корма, кг/м ³	Продуктивность, кг	Количество животных, гол.	Длина шнека мойки, м	Коэф. трения корнеклуб. о шнек, (f)	Коэф. заполнения шнека, (γ)	Время отмывания корнеклубнеплодов, с
1	Картофель	510	6100	430	4,3	0,49	0,25	64
2	Свекла	550	4030	490	4,8	0,81	0,31	88
3	Морковь	520	4140	550	5,2	0,60	0,33	90
4	Картофель	540	4250	610	5,7	0,59	0,27	62
5	Свекла	590	4360	680	6,2	0,82	0,29	70
6	Морковь	560	4470	750	4,5	0,55	0,35	74
7	Картофель	570	4580	820	5,0	0,69	0,28	78
8	Свекла	630	4690	890	5,5	0,83	0,30	82
9	Морковь	610	4720	960	6,0	0,65	0,32	86
10	Картофель	600	4830	510	6,5	0,79	0,34	60
11	Свекла	670	4940	540	4,0	0,84	0,30	68
12	Морковь	650	5050	590	4,4	0,45	0,32	76
13	Картофель	630	5160	630	5,3	0,55	0,33	84
14	Свекла	710	5270	660	6,7	0,80	0,35	63
15	Морковь	700	5380	700	4,7	0,63	0,29	73
16	Картофель	670	5490	730	5,1	0,75	0,27	80
17	Свекла	750	5520	780	3,5	0,82	0,26	89
18	Морковь	515	4055	433	2,8	0,50	0,25	61
19	Картофель	525	4155	444	2,9	0,51	0,26	62
20	Свекла	535	4455	455	3,0	0,52	0,27	63
21	Морковь	545	4655	466	3,5	0,61	0,28	64
22	Картофель	645	4755	477	3,1	0,62	0,29	65
23	Свекла	655	5055	488	3,2	0,71	0,30	66
24	Морковь	675	5155	499	3,3	0,72	0,31	67
25	Картофель	685	5255	511	3,5	0,81	0,32	68
26	Свекла	695	5355	522	3,7	0,82	0,33	69
27	Морковь	705	5455	533	3,6	0,56	0,34	71
28	Картофель	715	5555	544	3,8	0,57	0,35	72
29	Свекла	617	5655	555	3,9	0,66	0,34	73
30	Морковь	627	4444	566	6,2	0,67	0,33	74
31	Картофель	637	4644	577	6,3	0,77	0,32	75
32	Свекла	597	4844	588	6,4	0,78	0,31	76
33	Морковь	647	3433	599	5,1	0,53	0,30	77
34	Картофель	657	3333	611	5,2	0,54	0,29	78
35	Свекла	667	3833	622	5,3	0,63	0,28	79
36	Морковь	677	3888	633	5,4	0,64	0,27	81
37	Картофель	678	4888	644	4,1	0,73	0,26	82
38	Свекла	688	5888	744	4,2	0,74	0,25	83
39	Морковь	588	3111	755	4,3	0,77	0,35	84
40	Картофель	708	3911	766	4,1	0,56	0,33	86

3.4 Определение оптимальных параметров сепаратора-сливкоотделителя для линии первичной обработки молока на молочно-товарной ферме

3.4.1 Описание конструкции и процесса работы сепаратора-сливкоотделителя

На некоторых молочно-товарных фермах, обычно расположенных вблизи городов и поставляющих молочную продукцию непосредственно в торговую сеть, а также на предприятия молочной промышленности, осуществляют переработку молока. К последней относится разделение молока на сливки и обрат.

Сепаратор-сливкоотделитель открытого типа показан на рисунке 3.23.



а – общий вид; б – детали барабана;

1 – станина; 2 – вертикальный вал (веретено); 3 – посуда; 4 – накидная гайка;

5 – винт регулировки жирности сливок; 6 – корпус; 7 – верхняя тарелка;

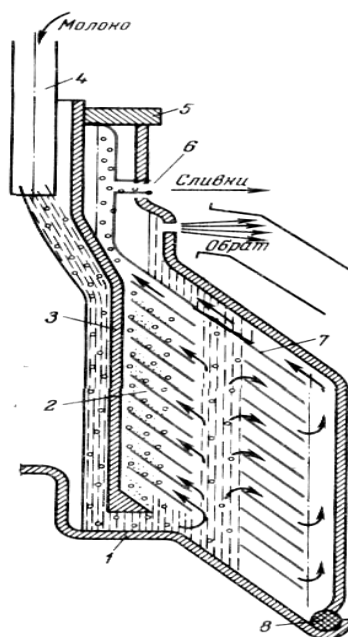
8 – пакет разделительных тарелок; 9 – тарелкодержатель; 10 – уплотнительное кольцо;

11 – основание барабана с центральной трубкой

Рисунок 3.23 – Сепаратор-сливкоотделитель открытого типа

Его корпус установлен на одном основании с электродвигателем. Вращение от двигателя через клиноременную передачу, фрикционную муфту и червячную пару передается барабану, свободно посаженному на вертикальный вал (веретено). Вал сепаратора помещается в станине на двух опорах. Верхняя упругая опора вертикального вала обеспечивает самоустановку барабана на высоких оборотах. Упругая опора веретена представляет собой шариковый подшипник, заключенный в обойму. С помощью регулировочного винта подпятника веретено можно перемещать по высоте, добиваясь правильного расположения сливных отверстий барабана относительно молочной посуды. Неправильность в установке ведет к попаданию части сливок в обрат.

Сливкоотделительный барабан (рисунок 3.24) состоит из корпуса, пакета разделительных тарельчатых вставок, тарелкодержателя, крышки, уплотнительного кольца и затяжной гайки. Верхняя разделительная тарелка имеет в центральной части цилиндрическую вытяжку, в которой сбоку помещена впадка с отверстием для регулировочного винта.



- 1 – дно; 2 – пакет тарелок, 3 – тарелкодержатель; 4 – калиброванная трубка поплавковой камеры; 5 – накидная гайка; 6 – винт регулировки жирности сливок;
7 – верхняя разделяющая тарелка; 8 – резиновое кольцо

Рисунок 3.24 – Схема работы барабана сепаратора сливкоотделителя

Разделительные тарелки имеют отверстия, образующие в пакете три канала для прохода молока. Свободное пространство между пакетом тарелок и крышкой корпуса образует грязевик. Зазор между парами тарелок в разных конструкциях находится в пределах 0,35...0,5 мм.

Рабочий процесс происходит следующим образом. Из поплавковой камеры молоко через центральную трубку и каналы тарелкодержателя поступает к каналам пакета тарелок и движется от центра барабана к его периферии по межтарелочным пространствам.

Более легкая фракция (жир) выделяется из молока в межтарелочных пространствах и всплывает в направлении оси барабана. Обезжиренное молоко поступает к периферии барабана, где в грязевой камере из него выделяются механические примеси. Очищенное и обезжиренное молоко (обрат) проходит над разделяющей тарелкой к отверстиям для выброса. Обрат выбрасывается в молочную посуду и собирается в емкость. Сливки поднимаются вокруг центральной трубки, проходя под разделительной верхней тарелкой, и выбрасываются через отверстие регулировочного винта в сборник для сливок сепаратора. Поворотами винта изменяют выход и жирность сливок.

Изменением сечения выходного отверстия обезжиренного молока регулируют его остаточную жирность и жирность сливок.

Физическая сущность процесса сепарирования молока, так же как и любого центрифугального разделения жидкостных систем, основана на осаждении дисперсной фазы под действием центробежной силы. Дисперсную фазу молока составляет плазма, а дисперсной является молочный жир в виде мельчайших шариков (диаметр 0,01...0,1 мм). Условия, при которых достигается концентрация жировых шариков в плазме молока (сливки, высокожирные сливки) и возможно более полное обезжиривание остальной ее части, выявляют расчетным путем.

Жировые шарики в межтарелочном пространстве вращающегося барабана сепаратора участвуют в сложном движении (рисунок 3.25). Одна составляющая движения определяется скоростью потока молока и направлена по образующей тарелки, другая – центробежной силой и направлена перпендикулярно оси вращения (горизонтально).

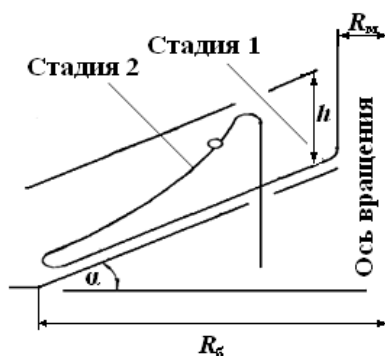
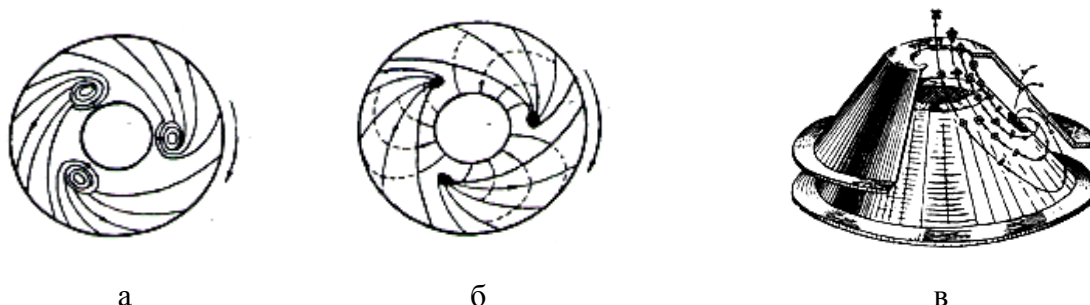


Рисунок 3.25 – Траектория движения частиц в межтарелочном пространстве сепаратора-сливкоотделителя

Таким образом, траектория движения частицы, попадающей в сливки, состоит из траектории движения жировых шариков в направлении общего потока (1 стадия) и траектории движения жировых шариков в направлении, противоположном общему потоку (2 стадия). На основании результатов стробоскопических наблюдений составлена схема движения фракций в межтарелочном пространстве (рисунок 3.25).



а – однородная жидкость; б – легкая и тяжелая фракции;
в – линии потоков с учетом возможной агрегации частиц

Рисунок 3.26 – Траектории потоков жидкости в межтарелочном пространстве сепаратора-сливкоотделителя

Твердые частицы и тяжелые примеси, выделяющиеся из молока, поступают в периферийный объем сепарирующего устройства, где происходит их накопление и уплотнение. Во избежание потерь молока применяют только частичную выгрузку осадка при открытии каналов.

Разгрузку сепараторов осуществляют в один или два этапа. При одноэтапной разгрузке осадок выгружается без перекрытия устройства для подачи исходного продукта. Однако во избежание потерь продукта в период раскрытия сепарирующего устройства выгружается не весь осадок, а лишь его часть. При двухэтапной разгрузке сначала перекрывается устройство для подачи исходного продукта и удаляется жидкость из межтарелочного пространства, а затем уже открываются щели для выгрузки, в результате чего осадок выбрасывается из сепарирующего устройства в приемник под действием центробежной силы.

3.4.2 Расчет конструктивных параметров сепаратора-сливкоотделителя

Радиус тарелки сепаратора-сливкоотделителя можно определить по формуле

$$R_6 = \sqrt[3]{\frac{Q}{16,55 \eta n z \operatorname{tg} \alpha \cdot d^2 \left[\frac{(\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{ж}})}{\mu} \right]} + R_{\text{м}}^3}, \quad (3.76)$$

где Q – производительность сепаратора-сливкоотделителя, л/ч (таблица 3.7);
 η – КПД сепаратора ($\eta = 0,5 \dots 0,7$);
 n – частота вращения ротора, с^{-1} ($n = 135 \text{ с}^{-1}$);
 z – количество тарелок, шт. (таблица 3.7);
 α – угол наклона образующей конуса тарелки ($\alpha = 60^\circ$);
 R_m – меньший радиус тарелки, м (таблица 3.7);
 $\rho_{\text{п}}$ – плотность дисперсионной среды (плазмы), кг/м^3 (таблица 3.6);
 $\rho_{\text{ж}}$ – плотность дисперсионной фазы (жира), кг/м^3 (таблица 3.6);
 μ – динамическая вязкость дисперсионной среды, $\text{Па}\cdot\text{с}$ (таблица 3.6);
 d – предельный диаметр жирового шарика, м.
 Размер жировых шариков d , мм:

$$d = \left(\frac{m \cdot 10^{-2}}{0,04} \right) + 0,05, \quad (3.77)$$

где m – массовая доля жира в обезжиренном молоке, % (таблица 3.7).

Таблица 3.6 – Свойства молока в зависимости от температуры

Температура молока	Плотность		Вязкость молока
	плазмы	жира	
$t, ^\circ\text{C}$	$\rho_{\text{п}}, \text{кг/м}^3$	$\rho_{\text{ж}}, \text{кг/м}^3$	$\mu, \text{Па}\cdot\text{с}$
5	1036,5	961,2	0,00296
10	1035,9	952,8	0,00247
15	1034,8	942,1	0,00210
20	1033,8	930,4	0,00179
25	1032,2	920,8	0,00154
30	1030,6	911,9	0,00133
35	1028,8	908,2	0,00117
40	1026,6	905,0	0,00104
45	1024,5	901,2	0,00093
50	1022,3	898,2	0,00085
55	1019,8	894,5	0,00077
60	1017,1	891,3	0,00071
65	1014,5	888,1	0,00065
70	1011,7	884,8	0,00062
75	1008,6	881,3	0,00059
80	1005,4	877,8	0,00057

Оптимальное расстояние между тарелками, при котором происходит наилучшее разделение, выбирают при следующих условиях: на поверхности тарелки должны оседать частицы возможно меньших размеров; оседая, они должны противостоят потоку. Следовательно, оптимальное расстояние между тарелками будет при условии

$$r_1 = r_2, \quad (3.78)$$

где r_1 – радиус частиц, достигших поверхности тарелки, м;

r_2 – радиус частиц, удерживающихся на поверхности тарелок, м.

Если $r_1 > r_2$, то на поверхности тарелок удерживаются частицы предельного размера. Однако многие из них могут не пройти через толщу жидкости в межтарелочном пространстве. Если $r_2 > r_1$, то часть частиц будет снесена в общий поток, хотя мелкие и достигнут поверхности нижележащей тарелки.

Следовательно, оптимальное расстояние между тарелками будет равно

$$h = \frac{2,43}{R_0} \sqrt[4]{\frac{V_d \mu \beta (R_0^3 - R_m^3) \operatorname{tg} \alpha}{z \omega^2 (\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{ж}}) \cos \alpha}}, \quad (3.79)$$

где β – отношение действительной производительности сепаратора к теоретической (заданной заданием), $\beta=0,5\dots0,7$;

ω – угловая скорость барабана, рад/с ($\omega = 2\pi n$);

n – частота вращения ротора, с^{-1} ($n = 135 \text{ с}^{-1}$);

V_d – действительная производительность сепаратора, $\text{м}^3/\text{с}$, находится по формуле

$$V_d = \beta Q \cdot 10^{-3} / 3600. \quad (3.80)$$

На качество сепарирования существенно влияют следующие конструктивно-механические факторы: количество отверстий для ввода продукта, их положение и радиус. Количество отверстий должно быть минимальным (3...4), но достаточным для того, чтобы у периферии тарелок жидкость распространилась по всей окружности их. Расстояние между отверстиями должно обеспечивать беспрепятственный отток сливок.

Для расчета радиуса R_o расположения отверстий используем формулу

$$R_o = \sqrt{\frac{\varphi R_6^2 + R_m^2}{1 + \varphi}}, \quad (3.81)$$

где φ – объемное отношение более легкой фракции к более тяжелой ($\varphi = 0,2 \dots 0,3$).

Диаметр отверстий принимаем равным 20 мм.

Грязевое пространство барабана должно вмещать осадок, отлагающийся во время работы сепаратора. У сепараторов объем грязевого пространства принимают из расчета 1 на 1000 л часовой производительности. Машина может работать непрерывно 3...4 часа, и отложения в грязевом пространстве достигают 0,03 % от объема пропущенного молока. Поэтому радиус барабана сепаратора сливоотделителя будет равен

$$R_{бар} = \sqrt{\frac{Q \cdot 10^{-6}}{3600 \pi z h} + R_6^2}, \quad (3.82)$$

где Q – производительность сепаратора-сливкоотделителя, л/ч (таблица 3.7);

R_6 – большой радиус тарелки, м;

h – расстояние между тарелками, м;

z – количество тарелок, шт.

3.4.3 Конструкторский расчет

Барабан сепаратора работает при больших скоростях. Развиваемые при этом центробежные силы вызывают высокие напряжения в материале, из которого изготовлены отдельные части барабана.

Поэтому необходимо провести прочностной расчет позволяющий определить толщину стенки барабана δ , м, обеспечивающую безопасную работу машины.

$$\delta = \frac{\frac{v_6^2 R_{бар} \rho_{мол}}{2 \cdot 10^4} - 0,0051 R_{бар} v_6}{\frac{v_6^2 \rho_{мет}}{10^4} - 0,08}, \quad (3.83)$$

где $\rho_{\text{мол}}$ – плотность молока, кг/м^3 ($\rho_{\text{мол}} = \frac{\rho_{\text{п}} + \rho_{\text{ж}}}{2}$);

$\rho_{\text{мет}}$ – плотность металла, из которого изготовлен барабан, ($\rho_{\text{мет}} = 7820 \text{ кг/м}^3$);

v_6 – окружная скорость барабана, м/с:

$$v_6 = \frac{1}{18} \omega^2 R_6 d^2 \frac{\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{ж}}}{\mu}. \quad (3.84)$$

3.4.4 Расчет потребной мощности на привод сепаратора-сливкоотделителя

Энергия, подводимая к сепаратору, расходуется на сообщение кинетической энергии выбрасываемой жидкости (25 %), преодоления трения барабана о воздух (50 %), преодоление трения в опорных подшипниках ротора и потери энергии в редукторе (25 %).

Мощность электродвигателя сепаратора N , работающего в установившемся режиме:

$$N = 1,2 \frac{N_1 + N_2 + N_3}{\eta_{\text{пр}}}, \quad (3.85)$$

где $\eta_{\text{пр}}$ – КПД привода ($\eta_{\text{пр}} = 0,92 \dots 0,95$);

N_1 – мощность, затрачиваемая для сообщения выбрасываемой из сепаратора жидкости избыточного давления, кВт:

$$N_1 = \frac{Q \cdot 10^{-3} p}{\eta_{\text{н.д.}} 3600}, \quad (3.86)$$

где p – давление жидкости на выходе $p = (2,0 \dots 2,5) \cdot 10^5 \text{ Па}$;

$\eta_{\text{н.д.}}$ – КПД напорного диска ($\eta_{\text{н.д.}} = 0,3$).

N_2 – мощность, необходимая для преодоления сил трения барабана о воздух:

$$N_2 = 1,8 \cdot 10^{-6} \rho_{\text{в}} F n_6^3, \quad (3.87)$$

где ρ_v – плотность воздуха ($\rho_v = 1,23 \text{ кг/м}^3$);
 F – общая площадь поверхности трения барабана, м^2 :

$$F \approx \frac{\pi(R_6^2 - R_m^2)}{\cos\alpha} + 0,4 \cdot 10^{-3} R_6 z, \quad (3.88)$$

где N_3 – мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения в подшипниках, кВт:

$$N_3 \approx 0,5N_2. \quad (3.89)$$

Мощность находится по упрощенной формуле, так как нагрузка на подшипник изменяется в процессе работы сепаратора.

В период разгона энергия сепаратора расходуется на сообщение кинетической энергии барабану (30 %); трение в пусковом механизме (40 %); трение в приводном механизме (20 %); трение ротора о воздух (10 %). В этот период мощность должна быть примерно в 1,5 раза больше, чем в период рабочего хода.

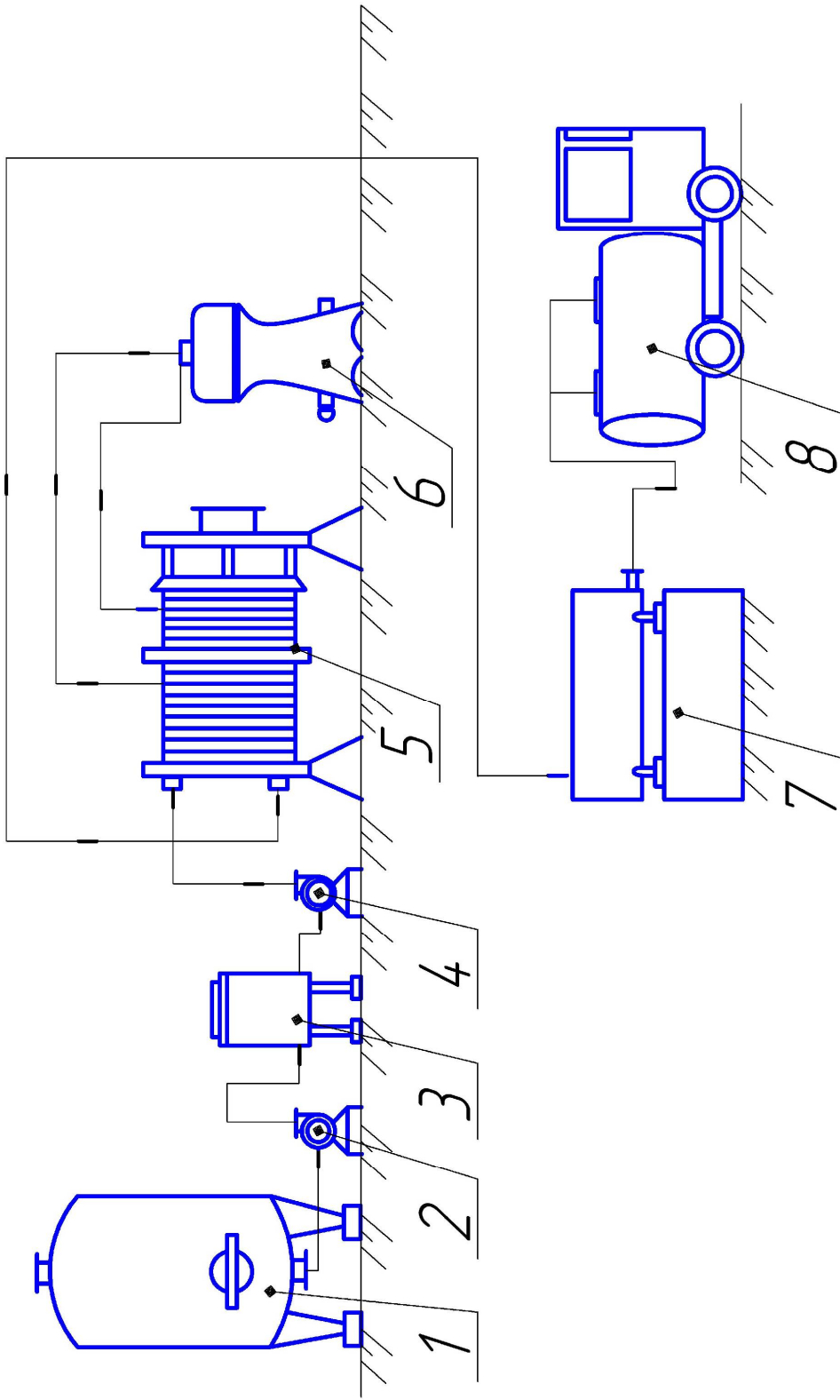
3.4.5 Расчет эффективности работы сепаратора-сливкоотделителя

Эффективность работы сепаратора-сливкоотделителя характеризуется степенью обезжиривания, %:

$$\mathcal{E} = 100 \frac{m_{\text{сл}} (m_{\text{м}} - m_{\text{об}})}{m_{\text{м}} (m_{\text{сл}} - m_{\text{об}})}, \quad (3.90)$$

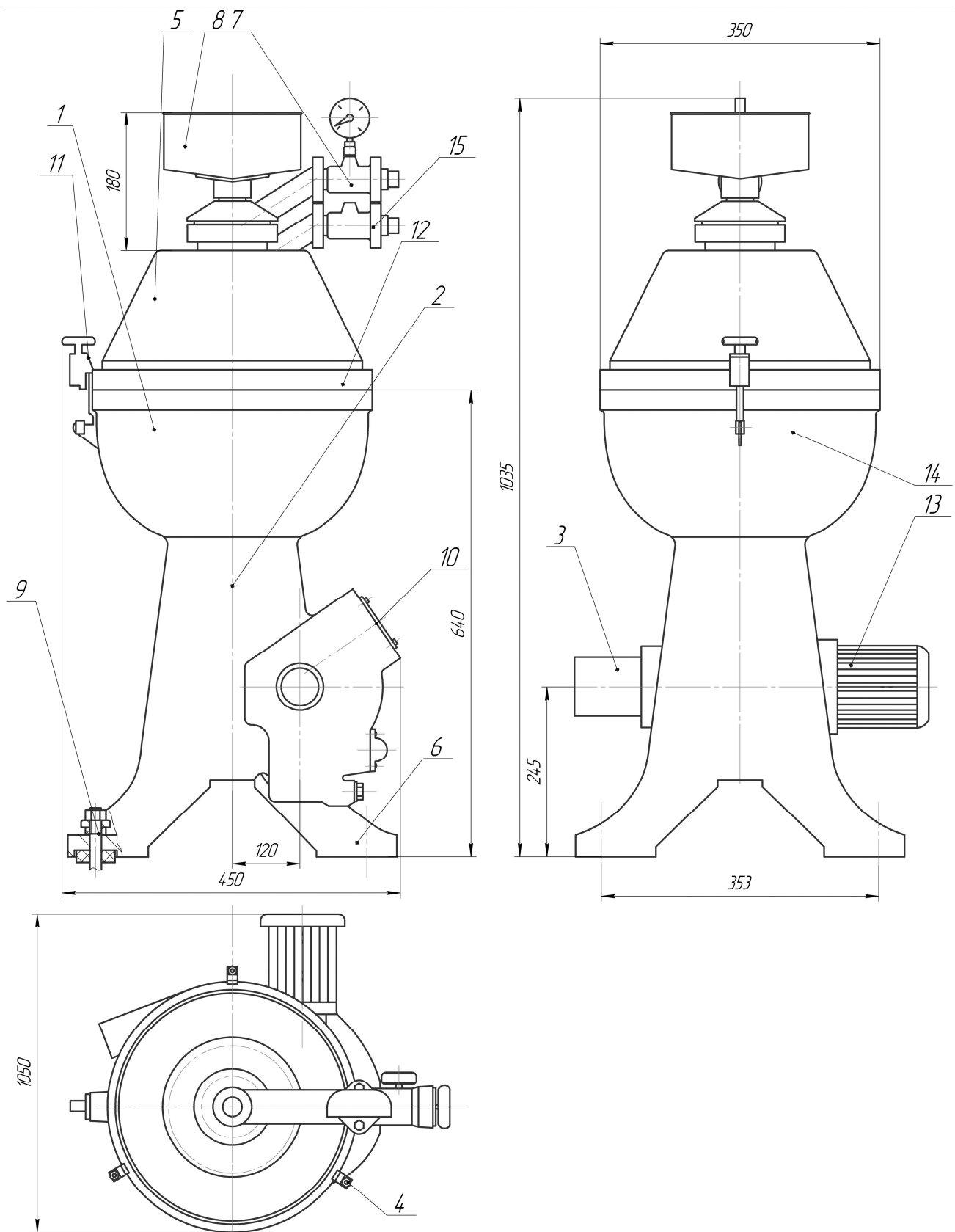
где $m_{\text{сл}}$ – жирность сливок, % ($m_{\text{сл}} = 20$ %);
 $m_{\text{м}}$ – жирность молока, % (таблица 3.7);
 $m_{\text{об}}$ – жирность обраты, % ($m_{\text{об}} = 0,05$ %).

Выполнить графическую часть проекта в соответствии с заданием. На листах соответствующего формата разместить схемы и чертежи (рисунок 3.27–3.29).



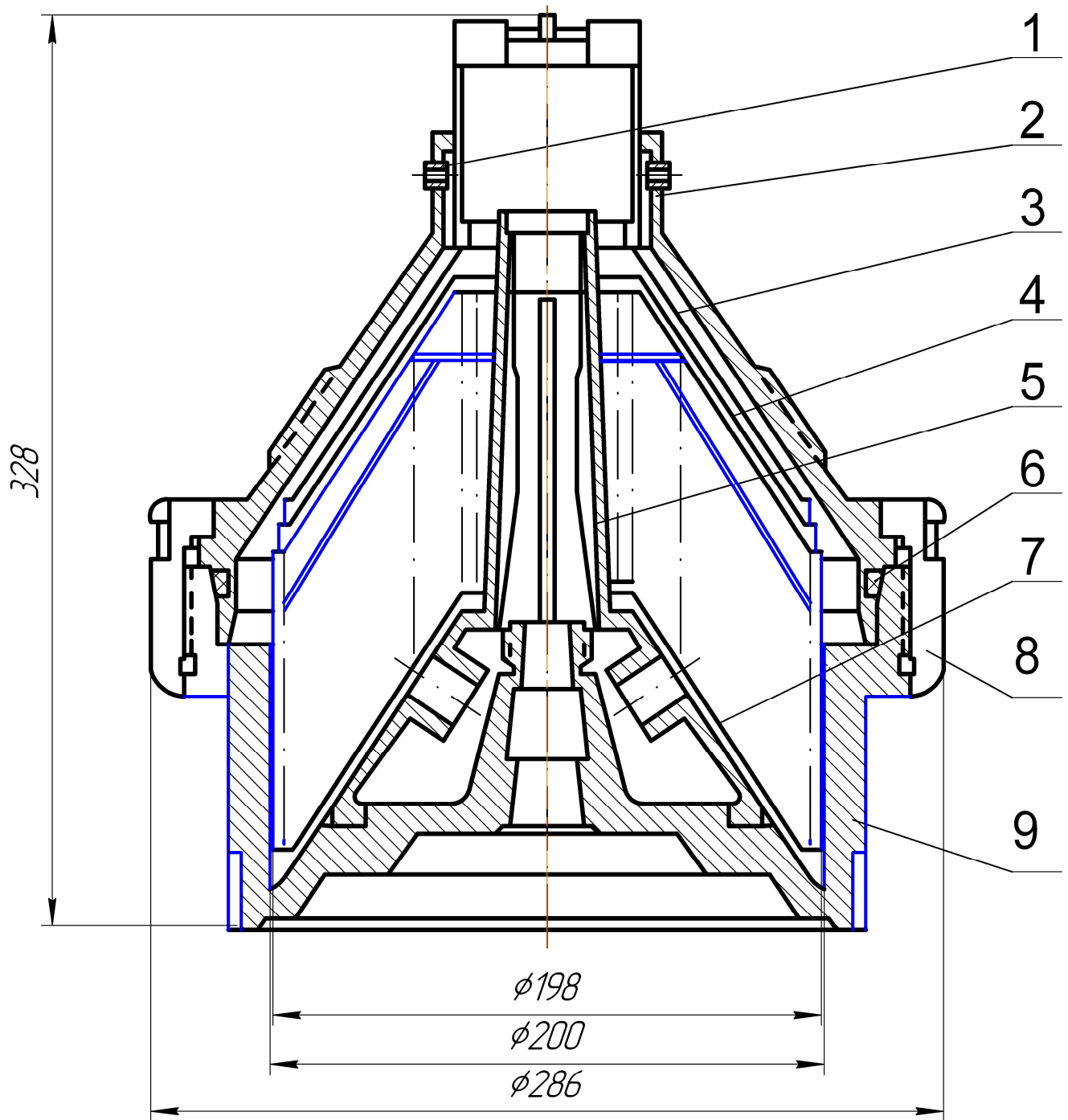
1 – резервуар для молока; 2,4 – насос; 3 – уравнительный бак; 5 – пластинчатый теплообменник;
6 – сепаратор-сливкоотделитель; 7 – танк охладитель; 8 – молокоцистерна

Рисунок 3.27 – Линия сепарации молока



1 – корпус; 2 – станина; 3 – редуктор; 4 – прижим; 5 – верхняя крышка; 6 – плита;
7 – отвод сливок; 8 – поплавковая камера; 9 – анкерный крепеж; 10 – камера редуктора;
11 – зажим; 12 – обечайка; 13 – электродвигатель; 14 – барабан; 15 – отвод обраты

Рисунок 3.28 – Сепаратор-сливкоотделитель



- 1 – регулировочный винт; 2 – кожух; 3 – тарелка разделителя; 4 – тарелка;
 5 – тарелкодержатель; 6 – уплотнительное кольцо; 7 – нижняя тарелка;
 8 – гайка; 9 – основание

Рисунок 3.29 – Барабан

Таблица 3.7 – Варианты для расчета параметров сепаратора-сливкоотделителя

Вариант	Поголовье, гол.	Количество тарелок z , шт.	Меньший радиус тарелки R_m , мм	Температура молока t , °C	Массовая доля жира m , %	Производительность Q , л/ч
1	200	150	35	5	2,0	1000
2	400	140	40	10	2,1	2000
3	800	130	45	15	2,2	3000
4	1200	120	50	20	2,3	4000
5	200	110	55	25	2,4	5000
6	400	100	57	30	2,5	1000
7	800	90	60	35	2,6	2000
8	1200	80	62	40	2,7	3000
9	200	70	60	45	2,8	4000
10	400	60	65	50	2,9	5000
11	800	50	70	55	3,0	1000
12	1200	150	35	60	3,1	2000
13	200	140	40	65	3,2	3000
14	400	130	45	70	3,3	4000
15	800	120	50	75	3,4	5000
16	1200	110	55	80	3,5	1000
17	200	100	57	5	3,6	2000
18	400	90	60	10	3,7	3000
19	800	80	62	15	3,8	4000
20	1200	70	60	20	3,9	5000
21	200	60	65	25	4,0	1000
22	400	50	70	30	2,0	2000
23	800	150	35	35	2,1	3000
24	1200	140	40	40	2,2	4000
25	200	130	45	45	2,3	5000
26	400	120	50	50	2,4	1000
27	800	110	55	55	2,5	2000
28	1200	100	57	60	2,6	3000
29	200	90	60	65	2,7	4000
30	400	80	62	70	2,8	5000
31	800	140	40	10	2,1	2000
32	1200	130	45	15	2,2	3000

Вариант	Поголовье, гол.	Количество тарелок z , шт.	Меньший радиус тарелки R_m , мм	Температу- ра молока t , °С	Массовая доля жира m , %	Производи- тельность Q , л/ч
33	200	120	50	20	2,3	4000
34	400	110	55	25	2,4	5000
35	800	100	57	30	2,5	1000
36	1200	90	60	35	2,6	2000
37	200	80	62	40	2,7	3000
38	400	70	60	45	2,8	4000
39	800	60	65	50	2,9	5000
40	1200	50	70	55	3,0	1000
41	200	150	35	60	3,1	2000
42	400	140	40	65	3,2	3000
43	800	130	45	70	3,3	4000
44	1200	120	50	75	3,4	5000
45	200	110	55	80	3,5	1000

3.5 Определение оптимальных параметров гомогенизатора для технологической линии уборки навоза

3.5.1 Определение основных технических показателей гомогенизатора для навоза

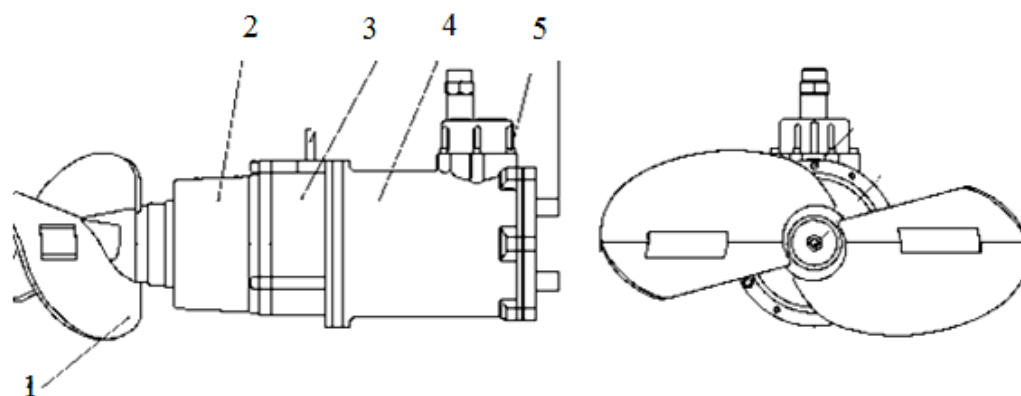
Погружные гомогенизаторы (рисунок 3.30) обеспечивают отличный результат для приемных резервуаров всех размеров.

Технические данные миксеров приведены в таблице 3.8.

Навесной гомогенизатор агрегируется с трактором класса 1,4 – 2, привод винта производится от вала набора мощности (ВОМ) трактора (рисунок 3.31).

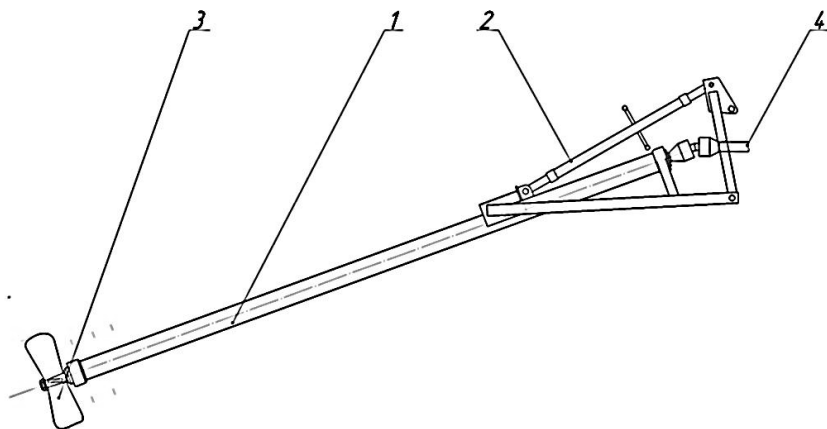
Таблица 3.8 – Технические данные миксеров

Наименование	Тип гомогенизатора	Мощность, кВт	Производительность, м ³ /ч	Масса, кг
FAN MSX 7,5	Стационарный	7,5	3600	195
FAN MSX 8,5		8,6	3900	195
FAN MSX 11		11,0	5200	205
FAN MSX 12,5		12,6	5700	205
FAN MSX 15		15,0	6800	225
Eisele ZP 454	Навесной	С трактором тягового класса 1,4...2,0	2600	120
Eisele ZP 654			3200	140
Reck «Jaguar»			2800	125



1 – винт; 2 – редуктор; 4 – промежуточный привод; 4 – электродвигатель;
5 – электрическая коробка

Рисунок 3.30 – Стационарный гомогенизатор с приводом от электродвигателя



1 – вал, 2 – талреп, 3 – мешалка, 4 – карданный вал

Рисунок 3.31 – Навесной гомогенизатор с приводом от ВОМ трактора

Длина лопасти винта определяется по формуле, м:

$$L = R - r_{\text{вт}}, \quad (3.91)$$

где R – радиус винта гомогенизатора для навоза, м;

$r_{\text{вт}}$ – радиус втулки винта гомогенизатора для навоза, м ($r_{\text{вт}} = 50 \dots 80$ мм).

Ширину лопасти винта можно определить из соотношения

$$B = \frac{bD}{100}, \quad (3.92)$$

где b – относительная ширина лопасти, % (40...60);

D – диаметр винта гомогенизатора для навоза, м.

Число лопастей винта гомогенизатора для навоза определяется из выражения [2]

$$z = \frac{\pi D}{H}, \quad (3.93)$$

где H – шаг лопастей винта, м.

Угол установки лопасти винта определяется по формуле [2]

$$\alpha = \arccos \sqrt{1 - \left(\frac{Lz}{\pi D \tau_{\text{ср}}} \right)}, \quad (3.94)$$

где τ_{cp} – густота лопастной решетки мешалки на среднем диаметре (0,7...0,8).

Если выражение $\frac{Lz}{\pi D \tau_{cp}} > 1$, то принимаем его равным 1.

Окружную скорость можно определить по формуле

$$v_{окр} = \frac{\pi D n_B}{30}, \quad (3.95)$$

где n_B – число оборотов винта гомогенизатора для навоза, мин^{-1} .

Угловая скорость винта гомогенизатора определяется из равенства:

$$\omega = \frac{\pi n_B}{30}. \quad (3.96)$$

Осевую скорость можно определить по формуле [4]

$$v_{ос} = H \omega \cos^2 \alpha, \quad \text{м/с}, \quad (3.97)$$

где ω – угловая скорость винта гомогенизатора для навоза, с^{-1} .

Скорость вращения винта гомогенизатора для навоза складывается из геометрической суммы окружной скорости $v_{окр}$ и осевой скорости $v_{ос}$ и рассчитывается из выражения

$$J = \sqrt{J_{окр}^2 + J_{ос}^2}. \quad (3.98)$$

Площадь лобовой поверхности лопасти винта определим по формуле

$$S = LB \sin \alpha, \quad (3.99)$$

где L – длина лопасти винта, м;

B – ширина лопасти винта, м;

α – угол установки лопасти винта, град.;

z – число лопастей винта гомогенизатора для навоза, шт.

Потребную производительность Q , $\text{м}^3/\text{ч}$, можно определить по формуле

$$Q = 3600 S J z. \quad (3.100)$$

3.5.2 Энергетический расчет

Длину винта определим по формуле

$$h = B \sin \beta, \quad (3.101)$$

где β – угол отклонения лопасти в вертикальной плоскости, град.

Угол отклонения лопасти в вертикальной плоскости находим из выражения

$$\beta = 90 - \alpha. \quad (3.102)$$

При работе гомогенизатора, лопасти винта воздействуют на навозную массу. Силу, затраченную на движение жидкости винтом можно определить, с учетом геометрических параметров винта и размеров кожуха, а также физическо-механических свойств навоза, в общем виде по формуле

$$F_{\text{дв}} = m\omega^2 R + mg, \quad (3.103)$$

где m – масса навоза, захватываемая винтом, кг;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

R – радиус винта гомогенизатора, м:

$$m = \rho V = \rho l_{\text{в}} \frac{\pi D^2}{4}, \quad (3.104)$$

где V – объем навоза, захватываемый винтом гомогенизатора для навоза, м³;

ρ – плотность навоза, кг /м³ (800...1200);

h – длина винта, м.

Силу трения частиц жидкости о поверхность лопасти винта можно определить по формуле

$$F_{\text{тр}} = fF_{\text{дв}}, \quad (3.105)$$

где f – коэффициент трения жидкости о стенки кожуха (0,4... 0,6).

Сила, приложенная винтом на жидкую фракцию навоза, будет определяться разностью силы затраченной на движение жидкости винтом $F_{\text{дв}}$ и силы трения жидкости о стенки кожуха в котором установлен винт $F_{\text{тр}}$, то есть

$$F = F_{\text{дв}} - F_{\text{тр}}. \quad (3.106)$$

Момент необходимый для сопротивления рабочего органа при движении в среде жидкого навоза определяется по формуле [3]

$$M = Fkz, \quad (3.107)$$

где F – сила, приложенная винтом на жидкую фракцию навоза, Н;

k – расстояние от оси вращения вала до геометрического центра лопастей винта гомогенизатора ($k = R/2$), м;

z – количество лопастей винта гомогенизатора, шт.

Мощность гомогенизатора для навоза, в основном затрачивается на преодоление сопротивления при движении рабочего органа в среде жидкого навоза, а также трения при прохождении массы навоза в кожухе и может быть определена по следующей формуле, кВт [3]:

$$N = \frac{M\omega}{1000\eta}, \quad (3.108)$$

где M – момент сопротивления при движении рабочего органа в среде жидкого навоза, Н·м;

ω – угловая скорость вращения винта гомогенизатора, с^{-1} ;

η – коэффициент полезного действия привода гомогенизатора (0,8...0,9).

3.5.3 Конструкторский расчет

3.5.3.1 Расчет сварного соединения лопасти к ступице винта

Будем проводить расчет сварного соединения, соединяющего лопасть со ступицей. Усилие F , действующее на сварное соединение, равно 30 кН.

Проведем проверку сварного шва на прочность по формуле с учетом того, что сварочные швы располагаются с двух сторон [7]:

$$\tau_{\text{CP}}^i = \frac{F}{1,4Kl_{\text{Ш}}} \leq [\tau^i]_{\text{CP}}, \quad (3.109)$$

где K – катет сварного шва, мм (3...6 мм);

$l_{\text{Ш}}$ – длина шва (равен ширине лопасти), мм;

$[\tau^i]_{\text{CP}}$ – допускаемое напряжение среза для шва, МПа.

Принимаем $[\tau^i]_{\text{CP}} = 0,65[\sigma]_p$, где $[\sigma]_p$ – допускаемое напряжение на растяжение, МПа. Принимаем $[\sigma]_p = 160$ МПа.

После расчетов необходимо проверить, выполняется ли условие прочности сварного соединения.

3.5.3.2 Расчет шпоночного соединения винта к валу

Условие прочности на смятие:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2T}{d_l k} \leq [\sigma_{\text{см}}], \quad (3.110)$$

где T – наибольший допускаемый вращающий момент (20000), Н·м;

d – диаметр вала, мм;

l_p – рабочая длина шпонки, мм (выбирается из справочника);

k – выступ шпонки от шпоночного паза;

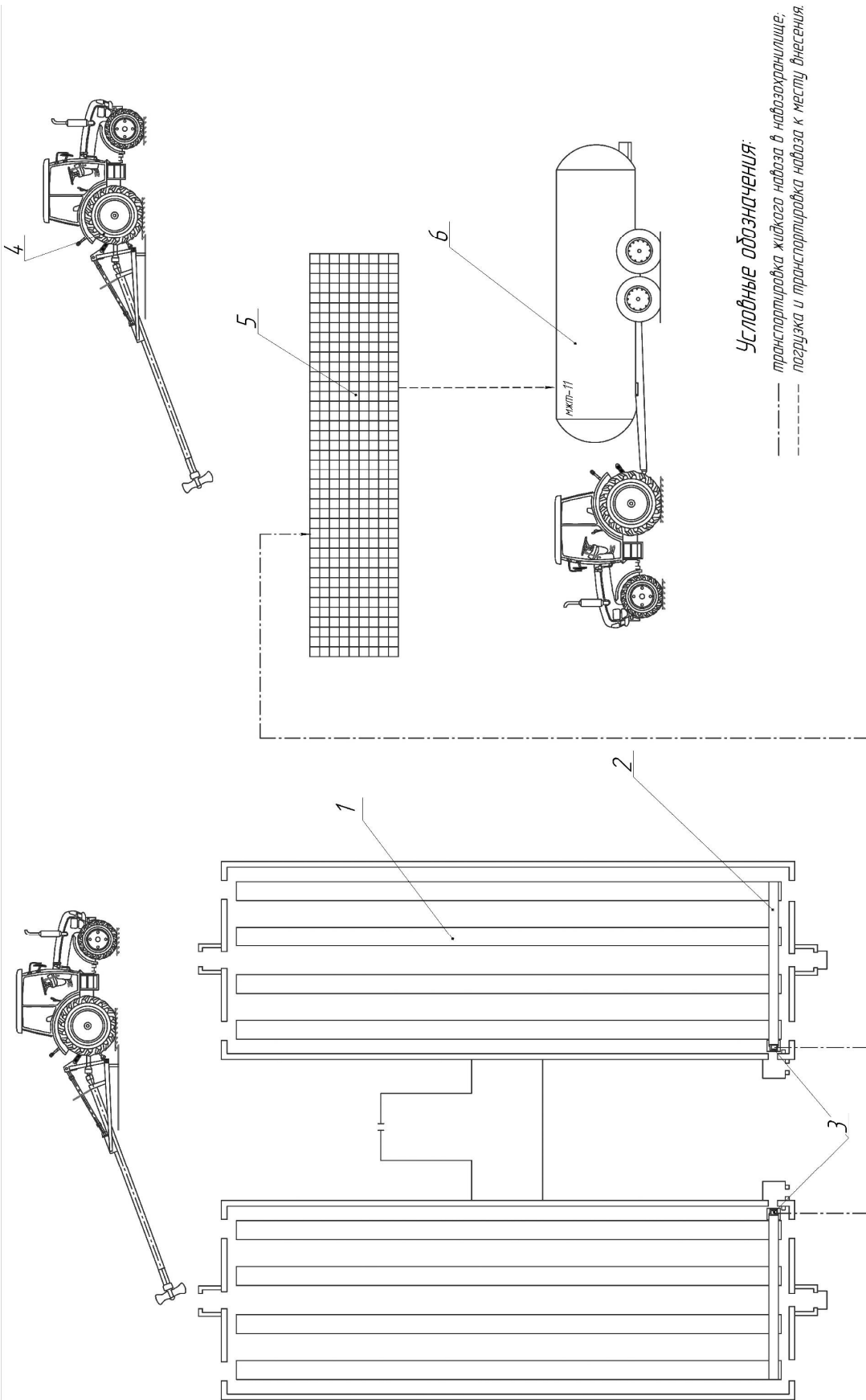
$[\sigma_{\text{см}}]$ – допускаемое напряжение смятия (150), МПа.

Условие прочности на срез:

$$\tau_c = \frac{2T}{d_l b} \leq [\tau_c], \quad (3.111)$$

Принимаем $[\tau_c] = 90$ МПа, где b – ширина шпонки, мм.

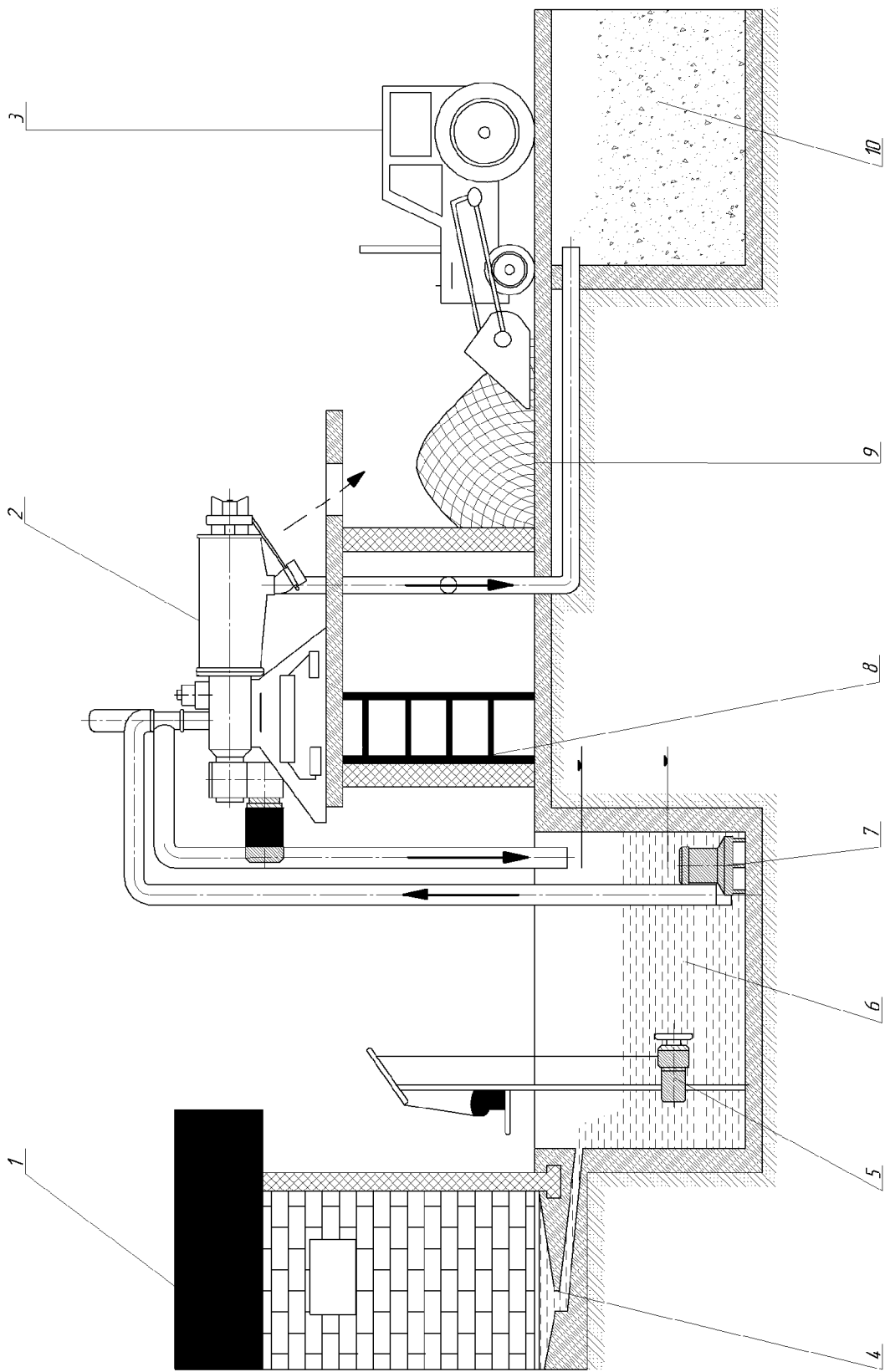
Выполнить графическую часть проекта в соответствии с заданием. На листах соответствующего формата разместить схемы и чертежи (рисунок 3.32–3.36).



1 – помещение для содержания животных, 2 – распределитель потока, 3 – насос для перекачки навоза,

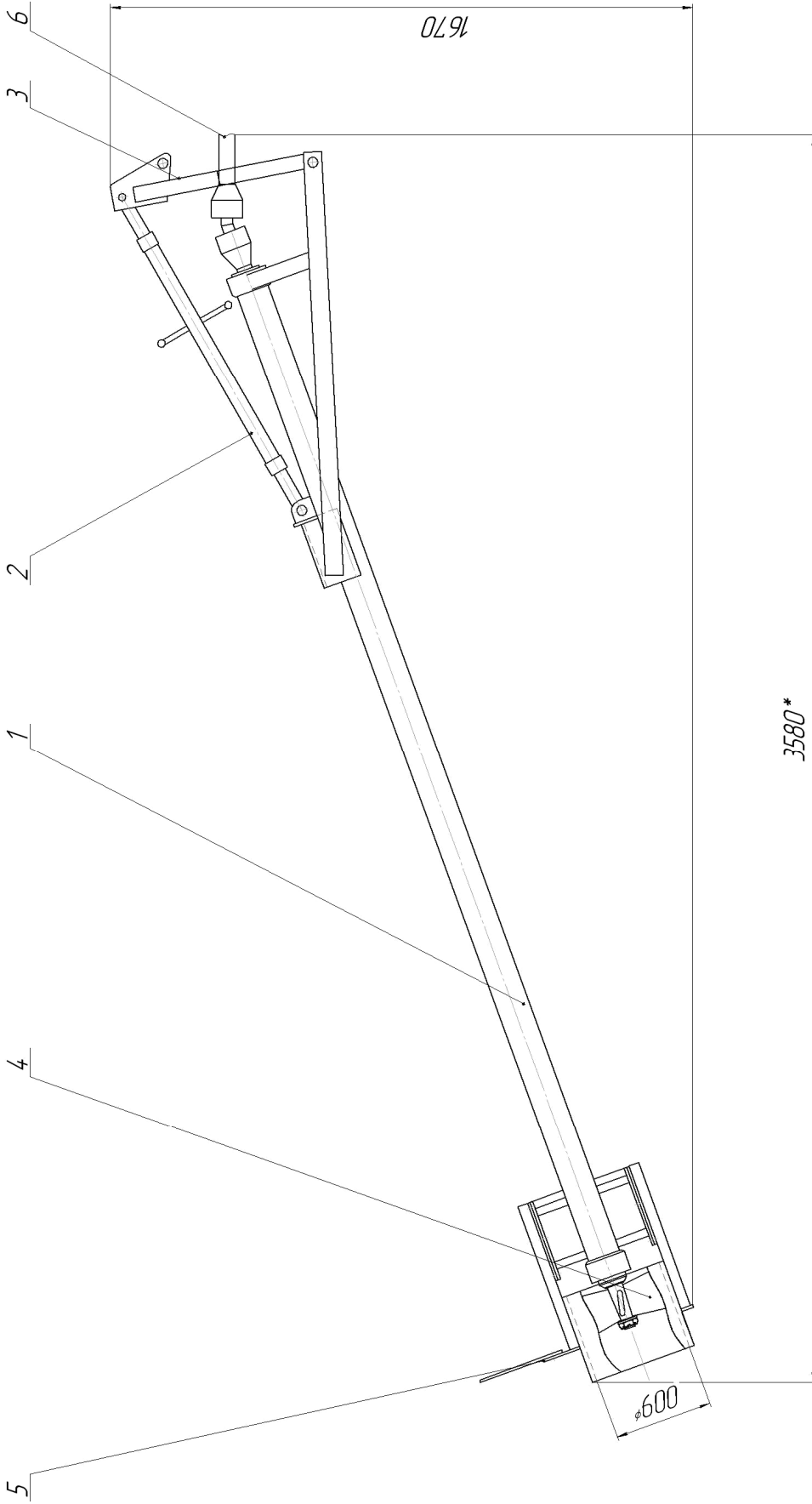
4 – гомогенизатор навесной, 5 – навозохранилище, 6 – транспортный агрегат

Рисунок 3.32 – Технологическая схема уборки и утилизации навоза



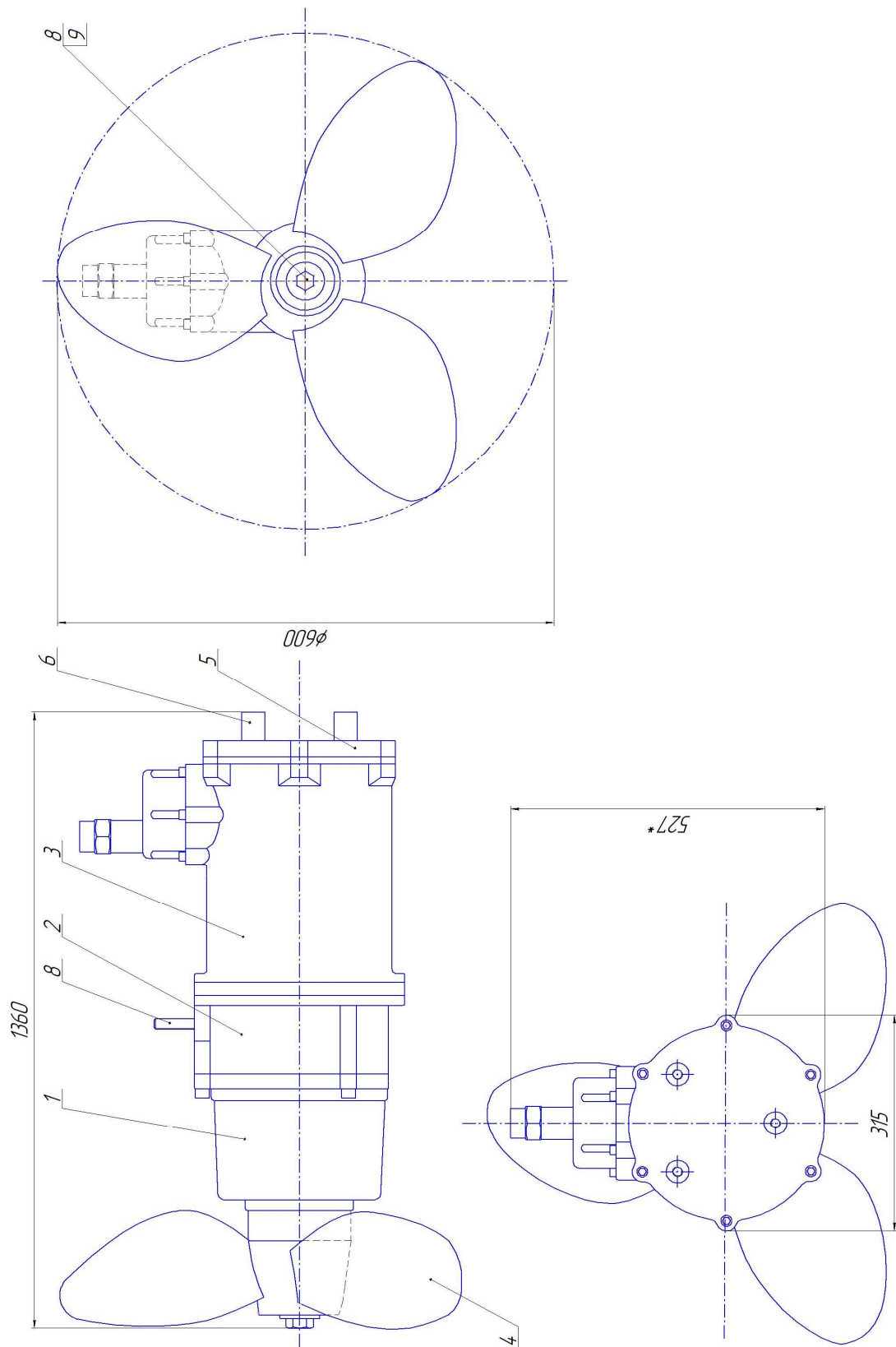
1 – помещение для животных, 2 – сепаратор для навоза, 3 – погрузчик, 4 – навозный канал, 5 – гомогенизатор для навоза, 6 – навозохранилище, 7 – насос, 8 – лестница, 9 – площадка для твердой фракции, 10 – резервуар для жидкой фракции

Рисунок 3.33 – Технологическая схема уборки и утилизации навоза



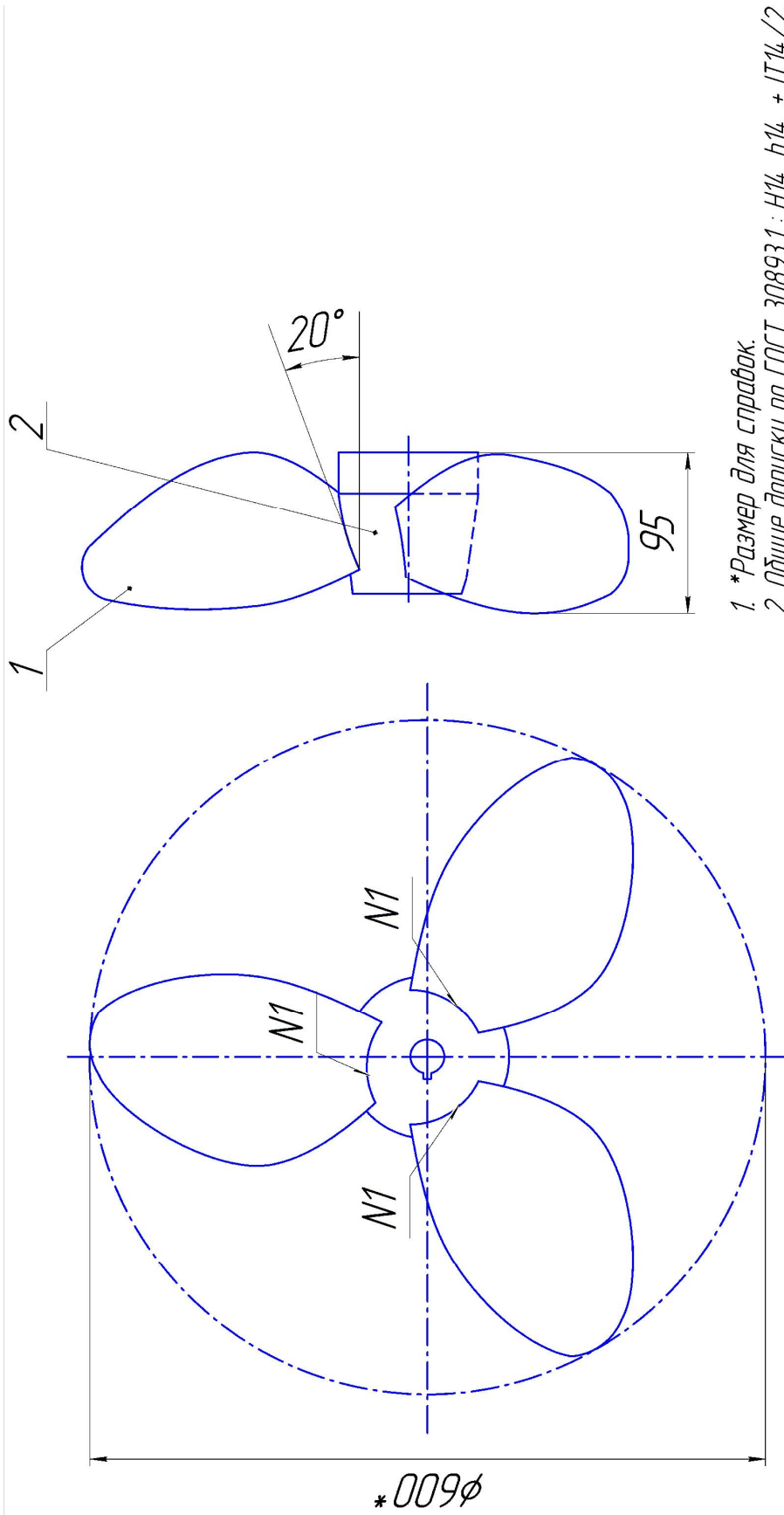
1 – вал, 2 – талреп, 3 – навеска, 4 – мешалка, 5 – упор, 6 – карданный вал

Рисунок 3.34 – Гомогенизатор навесной ГН – 1



1 – корпус, 2 – редуктор, 3 – электродвигатель, 4 – мешалка, 5 – крышка,
6 – кронштейн, 7 – ухо, 8 – болт М10, 9 – шайба

Рисунок 3.35 – Миксер FAN



1. *Размер для справок.
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1 : Н14, h14, ± IT14/2.
3. Сварная конструкция II кл. по ГОСТ 105-934-82.
4. Сварные швы по ГОСТ 14771-76.

1 – лопасть, 2 – ступица

Рисунок 3.36 – Мешалка

Таблица 3.9 – Варианты для расчета параметров гомогенизатора

Вариант	Вид животного	Число животных, гол.	Тип машины		Диаметр винта, мм	Число оборотов винта, об/мин	Шаг винта, мм
			стационарный	навесной			
1	Свиньи на откорме	1000	+		350	200	400
2	Свиньи на откорме	2000		+	400	250	420
3	Коровы	50	+		450	300	440
4	Коровы	100	+		500	350	460
5	Коровы	200		+	550	400	480
6	Свиньи на откорме	3000	+		600	450	500
7	Свиньи на откорме	4000	+		650	500	520
8	Свиньи на откорме	5000		+	700	550	540
9	Коровы	300	+		750	600	560
10	Коровы	400	+		800	650	580
11	Коровы	500		+	850	700	600
12	Коровы	600	+		300	750	620
13	Коровы	700	+		350	800	640
14	Коровы	800		+	400	850	660
15	Свиньи на откорме	6000	+		450	900	680
16	Свиньи на откорме	7000	+		500	950	700
17	Свиньи на откорме	8000		+	550	1000	720
18	Свиньи на откорме	9000	+		600	1050	740
20	Свиньи на откорме	10000	+		650	1100	760
21	Коровы	900		+	700	1150	780
22	Коровы	1000		+	750	1200	800
23	Коровы	1100	+		800	300	820
24	Коровы	1200	+		850	350	840
25	Свиньи на откорме	11000		+	400	400	860
26	Свиньи на откорме	12000		+	450	500	880
27	Свиньи на откорме	16000		+	500	600	900
28	Коровы	100	+		550	700	950
29	Коровы	200	+		600	1000	1000

3.6 Определение оптимальных параметров роторного измельчающего аппарата вертикального типа для технологической линии приготовления кормов

3.6.1 Зоотехнические требования к приготовлению кормов крупному рогатому скоту

В соответствии с известными технологиями измельчению подвергаются стебельчатые корма – сено, солома, сенаж, силос. Каждый вид скармливаемых кормов характеризуется кормовой ценностью. Она определяется содержанием обменной, продуктивной энергии протеина, клетчатки, жиров и других органических веществ.

В зависимости от физиологического состояния и продуктивности животных соотношение различных групп и видов скармливаемых кормов бывает неодинаково. Для различных групп коров рекомендуется следующий (примерный) состав стебельчатых кормов в рационе (таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Примерная структура кормов для коров в зависимости от уровня продуктивности, %

Корм	Годовой удой, кг			
	3500–4000	4000–4500	4500–5000	5000 и более
Сено	14	13	13	13
Сенаж	18	16	14	11
Силос	27	26	25	24

Скармливаемый сельскохозяйственным животным корм должен отвечать зоотехническим требованиям соответствующих стандартов или технических условий на корм.

Высокопитательным консервированным зеленым кормом для жвачных животных является силос. В рацион его может вводиться до 70 %. На качество конечного продукта оказывает влияние и степень измельчения зеленой массы. Исследованиями установлено, что длина резки должна быть не более 20 мм.

Высокопитательным кормом в стойловый период является сенаж. Готовят сенаж из трав, провяленных до 45–55 % и измельченных на частицы размером 60–80 мм.

Заготавливать солому на кормовые цели можно в измельченном виде. В этом случае солому рекомендуется измельчить до 10–50 мм с обязательным

расщеплением вдоль волокон, так как в этом случае наблюдается наибольшая энергетическая отдача.

В кормовом балансе животных сено является так же источником необходимых питательных веществ. Скармливают сено в измельченном виде. Желательно чтобы степень измельчения частиц находилась в пределах 30–50 мм и до 30 мм для молодняка. С целью повышения перевариваемости сухих веществ рекомендуется стебли растений измельчать вдоль волокон. Степень расщепления при этом должна быть не менее 85 %.

3.6.2 Измельчители стебельчатых кормов

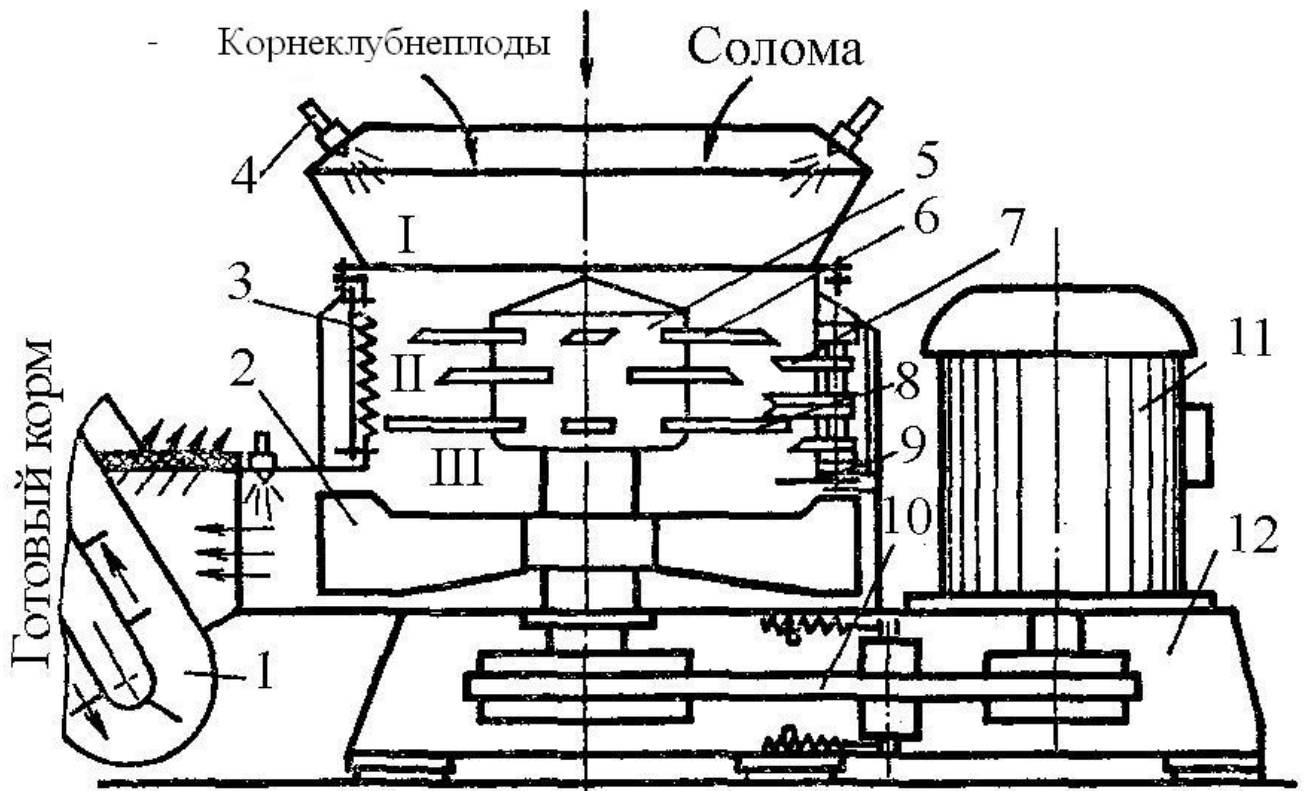
Подготовка к скармливанию стебельчатых кормов осуществляется рядом измельчителей, которые отличаются своими конструктивными решениями. Так, были разработаны и наиболее широко эксплуатировались измельчители «Волгарь 5А», ИСК-3. Техническая характеристика этих машин приведена в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Техническая характеристика машин для измельчения грубых кормов

Показатель	«Волгарь 5А»	ИСК-3
Установленная мощность, кВт	25	39
Производительность, т/ч	0,8–1,0	4
Размеры, м	2,4×1,3×1,3	7,0×1,7×3,5
Масса, кг	1175	2226
Средняя длина резки, мм	11,2	60,0
Количество обслуживающего персонала (при механической загрузке), чел.	1–2	1

В результате анализа конструктивной схемы и процесса работы измельчителей «Волгарь-5А», машин с аналогичными питающее-уплотняющими устройствами грубых кормов было установлено следующее. При работе этих машин подача кормов на питающий транспортер осуществляется вручную, а применяемые на этих измельчителях питающие аппараты весьма чувствительны к колебаниям массы и требуют дозированной подачи грубых кормов.

Полностью механизировать технологическую операцию измельчения стебельчатых кормов позволяет измельчитель-смеситель ИСК-3 (рисунок 3.37).



- 1 – выгрузной транспортер, 2 – швырялка, 3 – зубчатая дека, 4 – форсунка, 5 – ротор,
 6 – укороченный нож, 7 – противорез, 8 – длинный нож, 9 – шибер,
 10 – клиноременной привод, 11 – электродвигатель, 12 – рама;
 I – приемная камера, II – камера измельчения и смешивания, III – выгрузная камера

Рисунок 3.37 – Измельчитель-смеситель ИСК-3

3.6.3 Выбор типа режущих элементов рабочих органов измельчителя вертикального типа

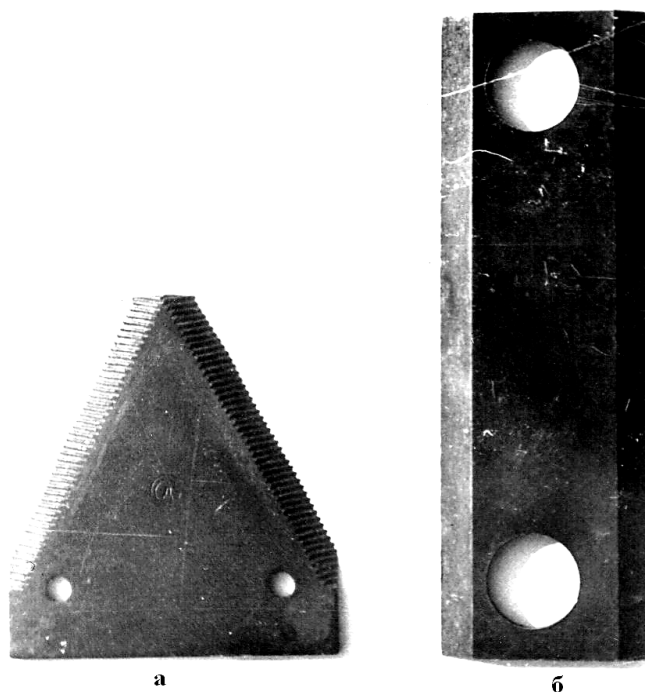
Измельчитель состоит из вертикально установленной рабочей камеры, внутри которой соосно установлен ротор с радиально закрепленными на нем ножами. При вращении ротора ножи и противорезы образуют режущие пары, измельчающие и смешивающие корма в потоке. Вертикальная загрузка данного измельчителя-смесителя и последующее воздействие рабочих органов на корм по мере продвижения его в рабочей камере под действием гравитационных сил позволяет в одной машине объединить три операции: механизированную загрузку, измельчение и выгрузку. Измельчитель-смеситель ИСК-3 не чувствителен к влажности измельчаемых кормов.

Процесс работы многоплоскостного измельчителя с вертикально расположенной рабочей камерой основан на разрушении материала активными рабочими

органами. От числа и конструкции последних во многом зависят основные показатели машины: удельная энергоемкость выполняемого процесса, производительность и степень измельчения кормов. При выборе геометрии рабочих органов следует учитывать технологичность их изготовления.

Аналитические исследования различных способов измельчения кормов показали, что в качестве элемента разрушения органических веществ, используемых на корм скоту, могут применяться ножи и молотки. Молотки, как правило, используют только для измельчения зернофуража. На кормах с повышенной влажностью данный рабочий орган практически не эффективен. Процесс измельчения корнеклубнеплодов молотками сопровождается обильным соковыделением, что приводит к потере питательных веществ. Рассмотренные недостатки отсутствуют при использовании в качестве рабочих органов ножей. Эти рабочие элементы измельчителя могут иметь различную форму.

Несмотря на ряд положительных характеристик ножей с криволинейной формой лезвия, к которым следует отнести условия резания, на практике в большинстве случаев используют прямолинейные ножи. Широкое их применение обусловлено простотой изготовления, монтажа, удобством заточки лезвий. Перечисленные преимущества предопределили использование режущих элементов с прямолинейной формой лезвия. В свою очередь, к ним относятся ножи сегментного и молоткового типов (рисунок 3.38).



а – сегментный; б – молотковый

Рисунок 3.38 – Типы ножей

Нож должен обеспечивать, при неизменной форме противорежущего элемента измельчителя, наименьший расход энергии на резание кормов режущими кромками пары «нож – противорез». Угол раствора режущей пары $\alpha_{\text{рез}}$ должен находиться в пределах $30 \dots 50^\circ$.

Режущий элемент сегментного типа образует с противорежущим элементом измельчителя ИСК-3 угол раствора, равный 10° .

При использовании в качестве режущего элемента ножа молоткового типа угол раствора режущей пары $\alpha_{\text{рез}} = 35^\circ$. Значение этого угла находится в пределах, соответствующих изложенным выше условиям, а следовательно, режим резания в этом случае наименее энергоемок.

3.6.4 Определение затрат энергии на привод измельчителя

Мощность, затрачиваемая на резание корма, является одним из основных показателей, определяющих выбор электродвигателя для привода измельчителя кормов. Многие авторы предлагают следующую формулу для определения этого параметра:

$$N_{\text{пр}} = \varepsilon Q_{\text{изм}} \lambda, \quad (3.112)$$

где ε – удельный расход энергии на измельчение кормов, кВт·ч/т;

$Q_{\text{изм}}$ – производительность измельчителя, т/ч;

λ – степень измельчения кормов, %.

Однако применение формулы (3.112) оправдано при ориентировочных расчетах, где известен или задается удельный расход энергии на измельчение корма.

При проектировании машин для измельчения кормов необходимо учитывать параметры, определяющие величину затрат энергии на рабочий процесс машины. Величину этой мощности можно определить по формуле

$$N_{\text{пр}} = \frac{W_{\text{рез}} z}{t_{\text{рез}} \omega_{\text{р1}}}, \quad (3.113)$$

где $W_{\text{рез}}$ – момент количества движений ножа при выполнении процесса резания, кг·м²/с;

z – число ножей, закрепленных на роторе, шт;

$t_{\text{рез}}$ – время, затраченное на процесс резания, с;

$\omega_{\text{р1}}$ – угловая скорость ножа после процесса резания, с^{-1} .

В общем виде момент количества движения ножа при выполнении процесса резания определим из формулы

$$W_{\text{рез}} = (m_{\text{н}} + m_{\text{л}}) r_{\text{ин}}^2 \omega_{\text{р1}}, \quad (3.114)$$

где $m_{\text{н}}$ – масса ножа, кг;

$m_{\text{л}}$ – масса корма на лезвии ножа, кг;

$r_{\text{ин}}$ – расстояние от оси ротора до центра тяжести ножа, м.

Так как процесс резания происходит за определенный промежуток времени $t_{\text{рез}}$, то можно определить момент количества движения ножа:

$$M_{\text{н}} = M_{\text{кр.рез}} t_{\text{рез}}. \quad (3.115)$$

Момент количества движения при резании ножом, вращающимся вокруг оси, можно выразить также зависимостью

$$M_{\text{н}} = I_{\text{р}} (\omega_{\text{р}} - \omega_{\text{р1}}), \quad (3.116)$$

где $I_{\text{р}}$ – момент инерции ротора, $I_{\text{р}} = m_{\text{н}} R_{\text{н}}^2 / 2$, кг м^2 ;

$R_{\text{н}}$ – радиус, описываемый ножами, м;

$\omega_{\text{р}}$ – частота вращения ротора, с^{-1} .

Так как в уравнениях (3.115) и (3.116) левые части равны, то справедливо равенство

$$I (\omega_{\text{р}} - \omega_{\text{р1}}) = M_{\text{кр.рез}} t_{\text{лезв}}. \quad (3.117)$$

Явление резания материалов возникает в результате воздействия критической силы резания $P_{\text{кр.рез}}$. Под действием этой силы в период резания возникает момент, величину которого можно определить из выражения

$$M_{\text{кр.рез}} = P_{\text{кр.рез}} l_{\text{лезв}}, \quad (3.118)$$

где $P_{\text{кр.рез}}$ – критическая сила резания, Н;

$l_{\text{лезв}}$ – длина лезвия ножа, участвующая в резании, м.

Из уравнения (3.117) выразим угловую скорость ножа после процесса резания:

$$\omega_{\text{р1}} = \frac{I_{\text{р}} \omega_{\text{р}} - P_{\text{кр.рез}} l_{\text{лезв}} t_{\text{рез}}}{I_{\text{р}}}. \quad (3.119)$$

Величину мощности, расходуемую на резание, можно определить по формуле

$$N_{\text{пр}} = \frac{(m_{\text{н}} + m_{\text{л}}) r_{\text{ин}}^2 \omega_{\text{р}} z}{t_{\text{рез}} \omega_{\text{р1}}}. \quad (3.120)$$

Исходные данные для определения мощности, затрачиваемой на резание корма (прототип – ИСК-3)

$m_{\text{н}} = 2$ – масса ножа, кг;

$m_{\text{л}} = 0,13$ – масса корма на лезвии ножа, кг;

$R_{\text{н}} = 0,4$ – радиус, описываемый ножами, м;

$\omega_{\text{р}} = 94,2$ – частота вращения ротора, с^{-1} ;

$\omega_{\text{р1}}$ – расчетное значение угловой скорости ножа после процесса резания (см. формулу (3.119)), с^{-1} ;

$P_{\text{кр.рез}} = 811$ – критическая сила резания, Н;

$L_{\text{лезв}} = 0,05$ – длина лезвия ножа, участвующая в резании, м;

$t_{\text{рез}} = 0,06\text{--}0,1$ – время, затрачиваемое на процесс резания, с;

$r_{\text{ин}} = 0,2$ – расстояние от оси ротора до центра тяжести ножа, м;

$z = 16$ – число ножей, закрепленных на роторе, шт.

Выполнить анализ полученных результатов.

Сделать выводы.

3.6.5 Выбор толщины ножа

Важным параметром режущего элемента является его толщина. Экспериментально установлено, что с увеличением толщины ножа возрастают затраты энергии на работу резания. Очевидно, что толщина режущего элемента должна быть наименьшей. Однако в этом случае он будет прогибаться в наименьшем сечении, что может быть причиной поломки ножа при встрече с противорежущим элементом.

Техническим решением, снижающим вероятность встречи ножа с противорежущей пластиной, является увеличение зазора между ними. Однако решая задачу надежности возникает проблема возрастания затрат энергии на выполняемый процесс. При значительном зазоре частицы корма будут просто перемещаться между плоскостями режущей пары. С целью уменьшения затрат энергии зазор между плоскостями ножа и противореза следует устанавливать наименьшим.

Таким образом, от толщины ножа зависит энергоемкость выполняемого процесса и эксплуатационная надежность измельчителя. Эти два фактора являются важным аргументом для расчета толщины ножа измельчителя кормов.

В плосковращательном режущем аппарате резание кормов осуществляется с подпором. Для этого в вертикально установленной рабочей камере, на роторе закреплены ножи, а по внутреннему периметру камеры – противорежущие элементы. В процессе работы измельчителя ножи движутся над противорежущими элементами (рисунок 3.39). Так как между ними имеется зазор, то корм поступает в это пространство. В результате возникает вертикально направленная сила обжатия, величину которой можно определить по формуле

$$F_{\text{обж}} = \mu \frac{E}{2} \frac{h_{\text{сж}}^2}{h_{\text{сл}}}, \quad (3.121)$$

где μ – коэффициент Пуассона;

E – модуль деформации корма, Н/м²;

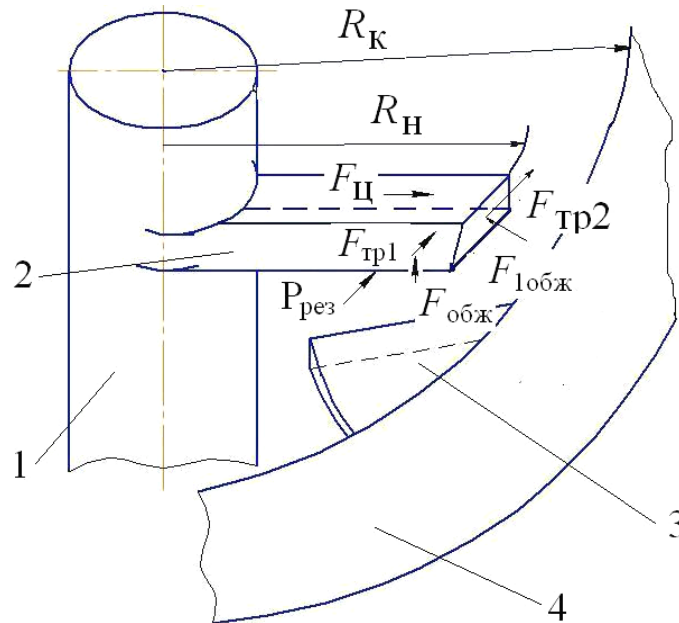
$h_{\text{сж}}$ – величина сжатого слоя корма, м;

$h_{\text{сл}}$ – величина сжимаемого слоя корма, м.

Величина сжимаемого слоя корма зависит от величины зазора между ножом и противорежущей пластиной, поэтому справедливо равенство $h_{\text{сл}} = \Delta_1$. Тогда формула (3.121) будет иметь вид

$$F_{\text{обж}} = \mu \frac{E}{2} \frac{h_{\text{сж}}^2}{\Delta_1}, \quad (3.122)$$

где Δ_1 – зазор между ножом и противорезущей пластиной, м.



1 – ротор; 2 – нож; 3 – противорезущий элемент; 4 – рабочая камера измельчителя

Рисунок 3.39 – Схема к обоснованию выбора толщины ножа

От силы обжатия возникает сила трения $F_{\text{тр1}}$, которую можно определить по формуле

$$F_{\text{тр1}} = F_{\text{обж}} f_k, \quad (3.123)$$

где f_k – коэффициент трения корма по металлу.

Работа, затрачиваемая на преодоление силы трения $F_{\text{тр1}}$, определяется по формуле

$$A_{\text{тр1}} = \mu \frac{E}{2} \frac{h_{\text{сж}}^2}{\Delta_1} f_k l_{\text{н.пр}}, \quad (3.124)$$

где $l_{\text{н.пр}}$ – длина ножа, движущегося над плоскостью противорезущей пластины, м.

В процессе работы измельчителя корм поступает в зазор между внутренней поверхностью рабочей камеры и ножом. В результате возникает горизонтально направленная сила обжатия, величину которой можно определить по формуле

$$F_{1\text{обж}} = \mu \frac{E h_{\text{сж}}^2}{2 \Delta_2}, \quad (3.125)$$

где Δ_2 – зазор между внутренней поверхностью рабочей камеры и ножом, м.

От силы обжатия возникает сила трения, которую можно определить по формуле

$$F_{\text{тр2}} = F_{1\text{обж}} f_{\text{к}}. \quad (3.126)$$

Работу, затрачиваемую на преодоление силы трения $F_{\text{тр2}}$, можно определить по формуле:

$$A_{\text{тр2}} = \mu \frac{E h_{\text{сж}}^2}{2 \Delta_2} f_{\text{к}} b_{\text{н}}, \quad (3.127)$$

где $b_{\text{н}}$ – ширина ножа, м.

При резании корма лезвием ножа на его активной части возникает критическая сила резания. Работу на ее преодоление можно определить по формуле

$$A_{\text{кр.рез}} = P_{\text{рез}} l_{\text{лезв}}, \quad (3.128)$$

где $P_{\text{рез}}$ – сила резания, Н;

$l_{\text{лезв}}$ – длина активной части лезвия ножа, м.

Вращательное движение ножа осуществляется действием окружной силы, работу на преодоление которой можно определить из выражения

$$A_{\text{окр}} = F_{\text{окр}} R_{\text{н}} = \frac{N_{\text{дв}}}{\omega_{\text{р}}}, \quad (3.129)$$

где $N_{\text{дв}}$ – мощность, передаваемая от электродвигателя на ротор измельчителя, кВт;

$\omega_{\text{р}}$ – угловая скорость ротора измельчителя, с^{-1} .

Полученные уравнения позволяют определить изгибающую нагрузку, действующую на нож при опорном резании:

$$A_{\text{мп1}} + A_{\text{мп2}} + A_{\text{окр}} + A_{\text{кр.рез}} = A_{\text{изг}}. \quad (3.130)$$

Крепление режущего элемента в измельчителе исключает его перемещение в вертикальной плоскости, что позволяет с некоторыми допущениями рассматривать нож как консольную балку с жестко закрепленным концом. Для такого крепления максимально изгибающую нагрузку, действующую на нож, можно определить по формуле

$$P_{\text{н}} = \frac{b_{\text{н}} h_{\text{н}}^2}{l_{\text{кр}}} \frac{\sigma_b}{6}, \quad (3.131)$$

где $b_{\text{н}}$ – ширина ножа, м;

$h_{\text{н}}$ – толщина ножа, м;

$l_{\text{кр}}$ – длина ножа от оси крепления до торца, м;

σ_b – допустимый предел прочности, МПа.

Работу, затрачиваемую на преодоление указанной силы можно определить по формуле

$$A_{\text{изг}} = P_{\text{н}} R_{\text{н}} = \frac{b_{\text{н}} h_{\text{н}}^2}{l_{\text{кр}}} \frac{\sigma_b}{6} R_{\text{н}}, \quad (3.132)$$

где $P_{\text{н}}$ – нагрузка, действующая на нож, Н;

$R_{\text{н}}$ – радиус, описываемый ножами, м.

Подставив соответствующие составляющие в уравнение (3.130) получим

$$\mu \frac{E}{2} \frac{h_{\text{сж}}^2}{\Delta_1} f_{\text{к}} l_{\text{н.пр}} + \mu \frac{E}{2} \frac{h_{\text{сж}}^2}{\Delta_2} f_{\text{к}} b_{\text{н}} + \frac{N_{\text{дв}}}{\omega_{\text{рот}}} + P_{\text{рез}} l_{\text{лезв}} = \frac{b_{\text{н}} h_{\text{н}}^2}{l_{\text{кр}}} \frac{\sigma_b}{6} R_{\text{н}}, \quad (3.133)$$

$$P_{\text{рез}} = r_{\text{лезв}} l_{\text{лезв}} \sigma_b,$$

где $r_{\text{лезв}}$ – радиус лезвия ножа, м;

$l_{\text{лезв}}$ – длина лезвия ножа, участвующая в резании, м.

Из уравнения (3.133) определим толщину режущего элемента:

$$h_{\text{н}} = \sqrt{\frac{\left[\mu \frac{E}{2} h_{\text{сж}}^2 f_{\text{к}} \left(\frac{l_{\text{н.пр}}}{\Delta_1} + \frac{b_{\text{н}}}{\Delta_2} \right) + \frac{N_{\text{дв}}}{\omega_{\text{рот}}} + P_{\text{рез}} l_{\text{лезв}} \right] 6 l_{\text{кр}}}{b_{\text{н}} \sigma_b R_{\text{н}}}}. \quad (3.134)$$

Анализ формулы (3.134) показывает, что с увеличением передаваемой на нож мощности его толщина возрастает. При расчете необходимо учитывать физико-механические свойства кормов и конструктивные особенности измельчителя. Расчетная толщина ножа, образующего режущую пару с противорежущим элементом измельчителя кормов вертикального типа ИСК-3, при потребляемой мощности 39 кВт, равна $h_n = 10$ мм.

Исходные данные для определения толщины ножа (прототип – ИСК-3)

$\omega_p = 94,2 \text{ с}^{-1}$ (900 мин⁻¹) – частота вращения ротора измельчителя;

$N_{дв} = 39$ кВт – мощность двигателя (использовать рассчитанное значение по формуле (2.9);

$b_n = 0,05$ м – ширина ножа;

$l_{кр} = 0,39$ м – длина ножа от оси крепления до торца

($l_{кр} = R_n - r_{рот} = 0,4 - 0,01 = 0,39$);

$\sigma_b = 0,98$ Н/мм² – допустимый предел прочности корма;

$R_n = 0,4$ м – радиус, описываемый ножами;

$F_k = 0,58$ – коэффициент трения стебельчатых кормов по металлу;

$E = 2$ Па – модуль деформации стебельчатых кормов;

$\mu = 0,18$ кг/мм² – коэффициент Пуассона;

$\Delta_1 = 5$ мм – зазор между ножом и противорезом;

$\Delta_2 = 5$ мм – зазор между внутренней поверхностью рабочей камеры и торцом ножа;

$h_{сж} = 1,5$ мм – величина сжатого слоя корма;

$l_{н.пр} = 140$ мм – длина ножа, движущегося над противорезом;

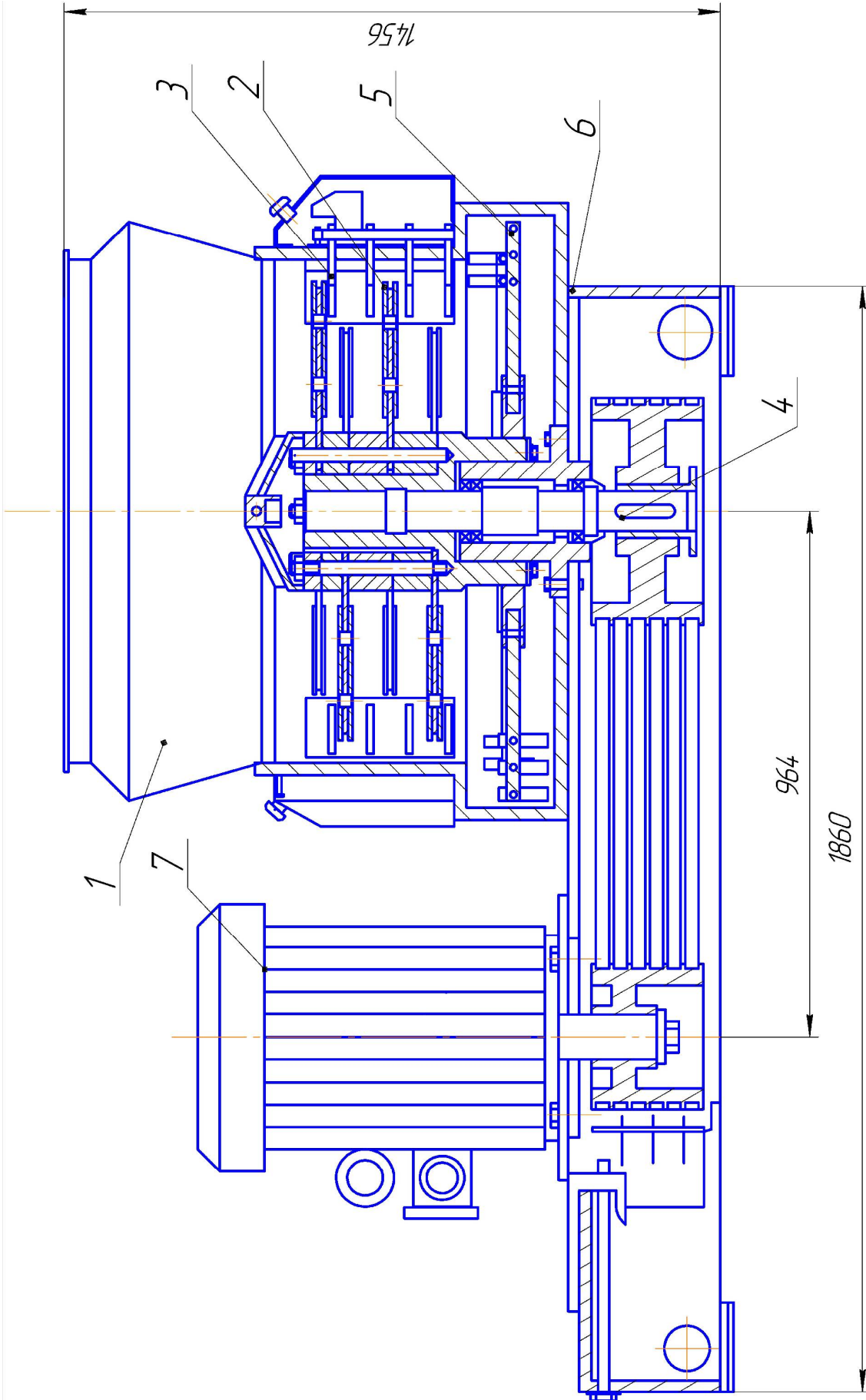
$l_{лез в} = 150$ мм – длина активной части лезвия ножа;

$P_{рез} = 5,7$ Н – сила резания.

Выполнить анализ полученных результатов.

Выполнить графическую часть проекта в соответствии с заданием. На листах соответствующего формата разместить схемы и чертежи (рисунок 3.40).

Сделать выводы.



1 – бункер; 2 – нож зубчатый; 3 – прогиворез; 4 – вал ротора; 5 – швырялка;
6 – плита опорная; 7 – электродвигатель

Рисунок 3.40 – Смеситель-измельчитель

Предпоследняя цифра	Показатели	Последняя цифра										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	m_H	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	m_L	0,12	0,14	0,15	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
	z	16	16	16	8	12	20	24	16	16	16	16
	$l_{\text{лезв}}$	160	160	160	160	160	160	160	160	140	150	170
	Δ_1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Δ_2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	m_H	2,0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
	m_L	0,13	0,11	0,13	0,13	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
	z	16	20	20	20	20	8	12	16	24	20	20
	$l_{\text{лезв}}$	180	170	170	170	170	170	170	170	170	170	140
	Δ_1	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Δ_2	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	m_H	2,2	2,2	2,2	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
	m_L	0,14	0,14	0,14	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15
	z	20	20	20	24	24	24	24	8	12	16	16
	$l_{\text{лезв}}$	150	160	180	180	180	180	180	180	180	180	180
	Δ_1	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8	8
	Δ_2	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8	8
8	m_H	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8
	m_L	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12
	z	29	24	24	24	24	8	8	8	8	8	12
	$l_{\text{лезв}}$	180	140	150	160	170	140	140	140	140	140	150
	Δ_1	8	8	8	8	8	4	5	6	8	8	3
	Δ_2	8	8	8	8	8	4	5	6	8	8	3
9	m_H	1,8	1,8	1,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,4	2,4	2,4	2,4
	m_L	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15
	z	12	12	12	20	20	20	20	24	24	24	24
	$l_{\text{лезв}}$	150	150	150	170	170	170	170	180	180	180	180
	Δ_1	5	6	8	3	4	5	8	3	4	5	5
	Δ_2	5	6	8	3	4	5	8	3	4	5	5

3.7 Определение оптимальных параметров скреперной установки для технологической линии уборки навоза

3.7.1 Описание и обоснование конструкторской разработки

Промышленность выпускает серийно установки скреперные УС-10, УС-15, УС-250, УС-Ф-170. В республике установки скреперные УС-Ф-170 производит ОАО «Дятловская сельхозтехника». Скрепер может выпускаться с шириной захвата от 1800 до 4000 мм. Мощность установленного электропривода от 0,75 до 5,5 кВт. Тяговым элементом установки скреперной УС-Ф-170 производимой ОАО «Дятловская сельхозтехника» является трос, что весьма не долговечно в условиях агрессивной среды. Предлагаем в качестве тягового элемента установки скреперной УС-Ф-170 использовать круглозвенную цепь.

Подберем и рассчитаем установку скреперную подходящую для наших условий.

3.7.2 Определение мощности скреперной установки

Скреперная установка типа УС-Ф-170 предназначена для уборки навоза из коровников при боксовом содержании и подачи в поперечный коллектор. Скреперная установка УС-Ф-170 имеет два рабочих органа (скрепера), расположенных по одному на ветвях цепи. Скреперная установка УС-Ф-170 имеет два рабочих органа (скрепера), расположенных по одному на ветвях цепи. Ширина захвата скрепера в раскрытом состоянии 1,8 м, в сложенном – 0,69 м. Высота скребков 0,15 м. Установка работает периодически, включаясь автоматически девять раз в сутки.

Исходные данные для конструкторской части курсового проекта представлены в таблице 3.13.

Мощность скреперной установки определим по формуле

$$N = \frac{P_c v_{cp}}{\eta}, \quad (3.135)$$

где P_c – полное тяговое сопротивление скрепера, Н;

η – коэффициент полезного действия передачи, ($\eta = 0,8 \dots 0,9$).

Сопротивление P_c движению скрепера зависит от шасси скрепера, коэффициентов трения между навозом и стенками канавки, между скрепером и навозом, от сопротивления передвижению тяговых канатов и трение в блоках.

Для скреперной установки, работающей в двух навозных канавках, полное тяговое сопротивление скрепера определится по формуле

$$P_c = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \quad (3.136)$$

где P_1 – сопротивление движению рабочей ветви, Н;

P_2 – сопротивление передвижению холостой ветви, Н;

P_3 – сопротивление на преодоление инерции, Н;

P_4 – натяжение набегающей ветви каната, Н (определяется опытным путем и составляет примерно $0,1P_1$).

Определим сопротивление движению рабочей ветви по формуле

$$P_1 = [(G_n + 2G_c)W_c + q_{тр}Lf_n]g, \quad (3.137)$$

где G_n – масса навоза, перемещаемая скрепером за один проход, кг;

G_c – масса скрепера, кг ($G_c = 75$ кг);

W_c – приведенный коэффициент сопротивления перемещению навоза и скрепера ($W_c = 1,8 \dots 2,0$);

$q_{тр}$ – масса одного метра цепи, кг ($q_{тр} = 0,5$ кг);

L – длина цепи, м (таблица 3.13);

f_n – коэффициент трения каната о навоз ($f_n = 0,5 \dots 0,6$).

Зная поголовье, обслуживаемое скрепером, суточный выход навоза на одну голову КРС, количество включений установки в сутки можно определить массу навоза, перемещаемую скрепером за один проход, по формуле

$$G_n = \frac{mq_{сут}}{K_b}, \quad (3.138)$$

где m – количество голов КРС, обслуживаемое скрепером, гол. (таблица 3.13);

$q_{сут}$ – суточный выход навоза на одну голову, кг/сут (таблица 3.13);

K_b – количество включений установки в сутки (таблица 3.13).

Сопротивление передвижению холостой ветви рассчитаем по выражению

$$P_2 = (G_c W_c + q_{тр} L f_n) g. \quad (3.139)$$

Сопротивление на преодоление инерции можно определить по следующей формуле:

$$P_3 = (2G_c + qL) \frac{v_{cp}}{t}, \quad (3.140)$$

где v_{cp} – средняя скорость движения скрепера, м/с (таблица 3.13);

t – время разгона, с.

Натяжение набегающей ветви цепи равно

$$P_4 = 0,1P_1. \quad (3.141)$$

Зная общее сопротивление движению скреперной установки и скорость перемещения скрепера, определим требуемую мощность двигателя по формуле (3.135).

3.7.3 Расчет ползуна

Ползун является одним из важных рабочих органов скреперной установки. На оси ползуна устанавливается два скрепера, которые непосредственно сгребают навоз. Ползун также соединен и с натяжным устройством. Скребки, левый и правый, прикреплены к ползуну через шарнирное устройство.

Нагрузка от сопротивления перемещению навоза воспринимается осью ползуна, которая работает на срез. Условие прочности на срез имеет вид

$$t_{cp} = \frac{F}{A} \leq [t], \quad (3.142)$$

где $[t]$ – допустимое напряжение на срез, МПа ($[t] = 120$ МПа);

A – площадь среза, мм²;

F – сила сопротивления перемещению скребков, Н.

Отсюда можно определить диаметр сечения по формуле

$$d \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi[t]}}. \quad (3.143)$$

Определим силу сопротивления перемещению скребков:

$$F = G_n f_n g, \quad (3.144)$$

где G_n – максимальная масса навоза, перемещаемая скрепером, кг;
 f_n – коэффициент трения скрепера о навоз ($f_n = 0,5 \dots 0,6$);
 g – ускорение силы тяжести, м/с^2 , ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

3.7.4 Расчет скрепера

Скреперная установка работает в возвратно-поступательном режиме, поэтому скребки необходимо проверить на прочность, определить напряжение, возникающее при изгибе.

Для удобства расчетов скрепер принимаем за балку с защемленным концом (рисунок 3.41).

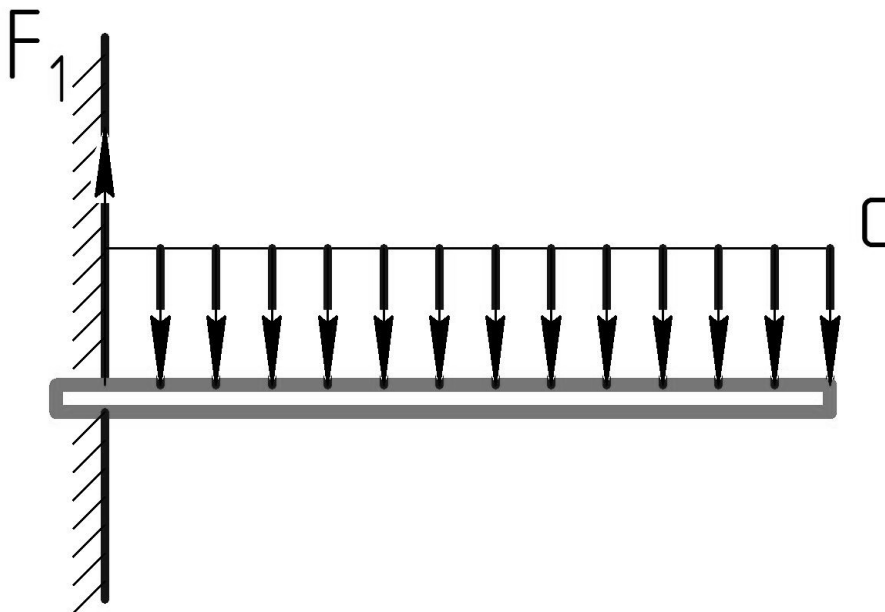


Рисунок 3.41 – Схема действия силы на скрепер

Определим силу F_1 по формуле

$$F_1 = \frac{F}{2\cos\alpha}, \quad (3.145)$$

где F – сила сопротивления перемещению скребков, Н;

α – угол разворота скрепера, град. ($\alpha = 15^\circ$).

Определим величину распределенной нагрузки, действующей на скрепер, по формуле

$$q' = \frac{F_1}{l}, \quad (3.146)$$

где l – длина горизонтальной проекции скребка (ширина захвата скрепера), м (таблица 3.13).

Напряжение, возникающее при изгибе, определяется по формуле

$$\sigma_u = \frac{M_{\text{изг}}}{W_z} \leq [\sigma_{\text{и}}], \quad (3.147)$$

где $M_{\text{изг}}$ – изгибающий момент, Н·мм;

W_z – момент сопротивления, мм³;

$[\sigma_{\text{и}}]$ – допускаемое напряжение при изгибе, МПа ($[\sigma_{\text{и}}] = 140$ МПа).

Определим изгибающий момент

$$M_{\text{изг}} = \frac{q'l^2}{2}. \quad (3.148)$$

Момент сопротивления для сечения скрепера, который представлен в виде прямоугольника, определяется по формуле

$$W_z = \frac{bh^2}{6}, \quad (3.149)$$

где b – ширина сечения скрепера, мм;

h – высота скребка, мм (таблица 3.13).

Определим ширину скрепера по формуле

$$b \geq \frac{6M_{\text{изг}}}{h^2[\sigma_{\text{и}}]}. \quad (3.150)$$

3.7.5 Расчет сварных швов

Сварку детали проводим при монтаже оборудования, в результате чего получается стыковое соединение, которое является наиболее простым и надежным. Однако расчет прочности стыковых соединений принято выполнять по размерам сечения детали в этой зоне. Проверим швы на срез.

Условие прочности на срез имеет следующий вид

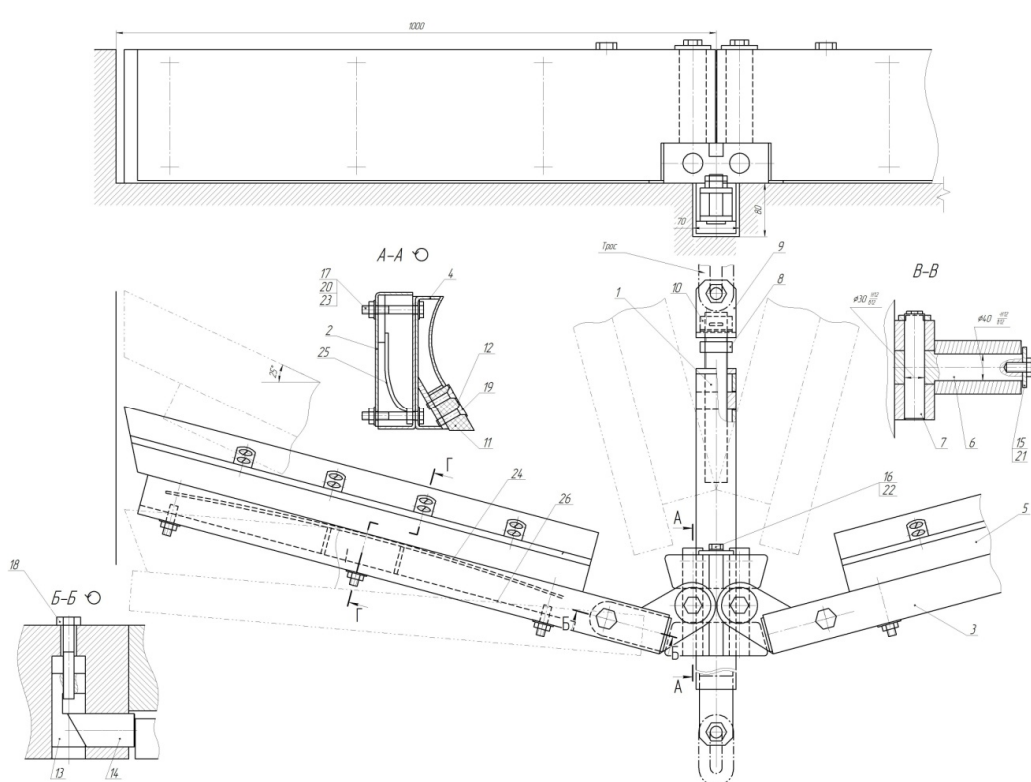
$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F}{0,7hk} \leq [\tau_{\text{ср}}], \quad (3.151)$$

где F – сила сопротивления перемещению скребков, Н;

k – катет сварки, мм ($k = 5$ мм)

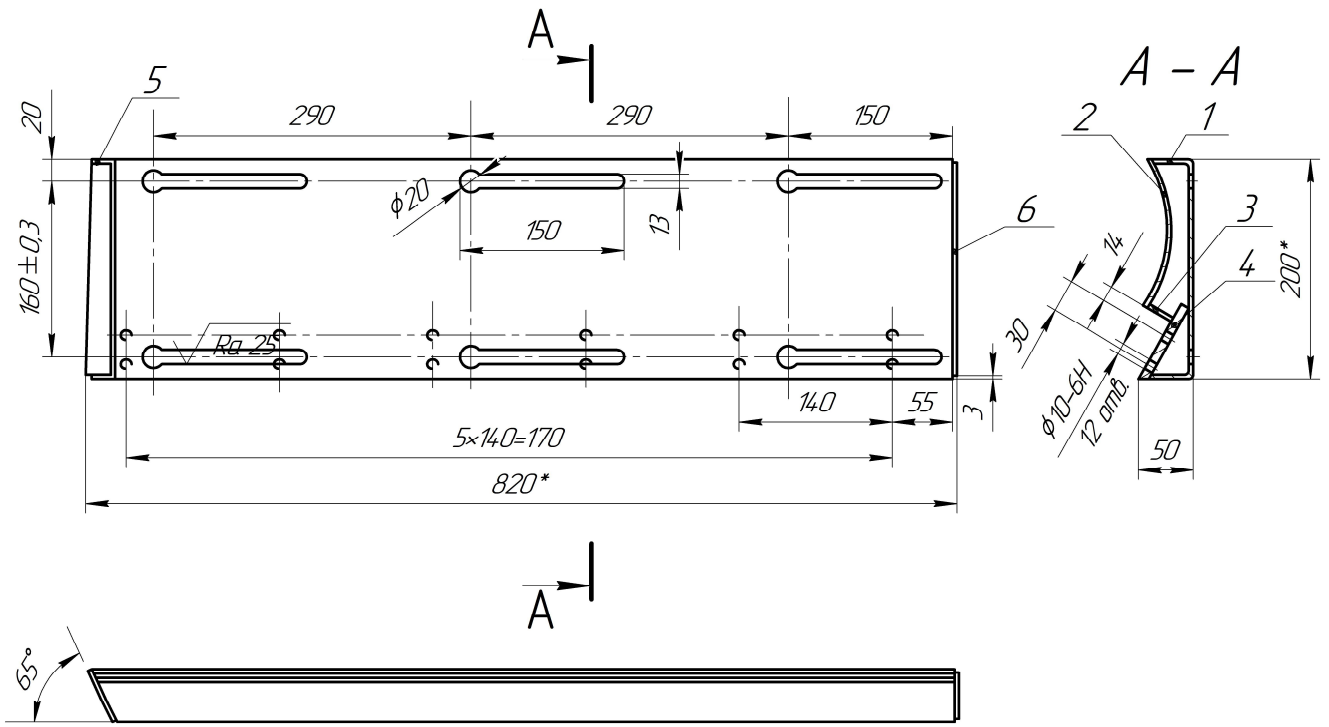
$[\tau_{\text{ср}}]$ – допустимое напряжение среза, МПа ($[\tau_{\text{ср}}] = 72$ МПа).

Выполнить графическую часть проекта в соответствии с заданием. На листах соответствующего формата разместить схемы и чертежи (рисунок 3.42–3.44).



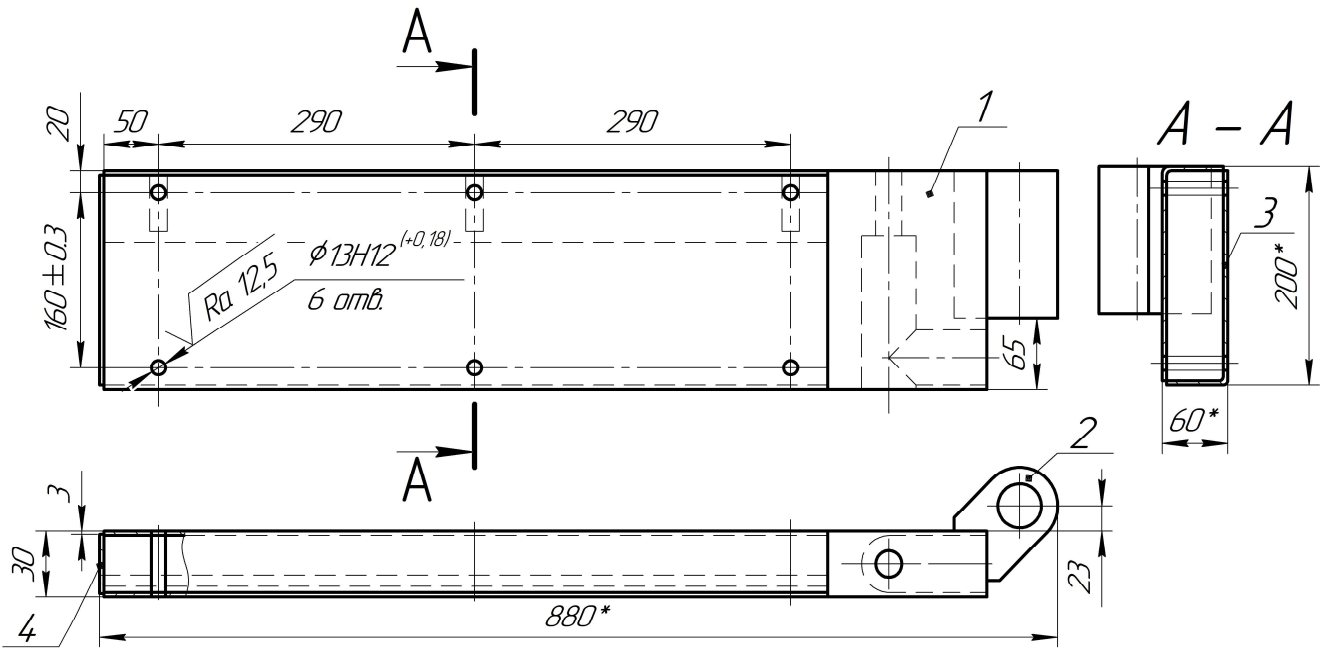
- 1 – направляющая; 2 – скребок левый; 3 – скребок правый; 4 – отвал левый; 5 – отвал правый; 6 – лопасть; 7 – палец; 8 – винт; 9 – серьга; 10 – гайка; 11 – чистик; 12 – пластина прижимная; 13 – шток; 14 – упор; 15 – рессора; 16 – рычаг; 17 – пластина; 18–26 – стандартные изделия

Рисунок 3.42 – Дельта-скрепер



1 – основание; 2 – петля; 3 – уголок; 4 – пластина

Рисунок 3.43 – Скребок левый



1 – швеллер; 2 – дуга; 3 – перекладина; 4 – планка

Рисунок 3.44 – Отвал левый

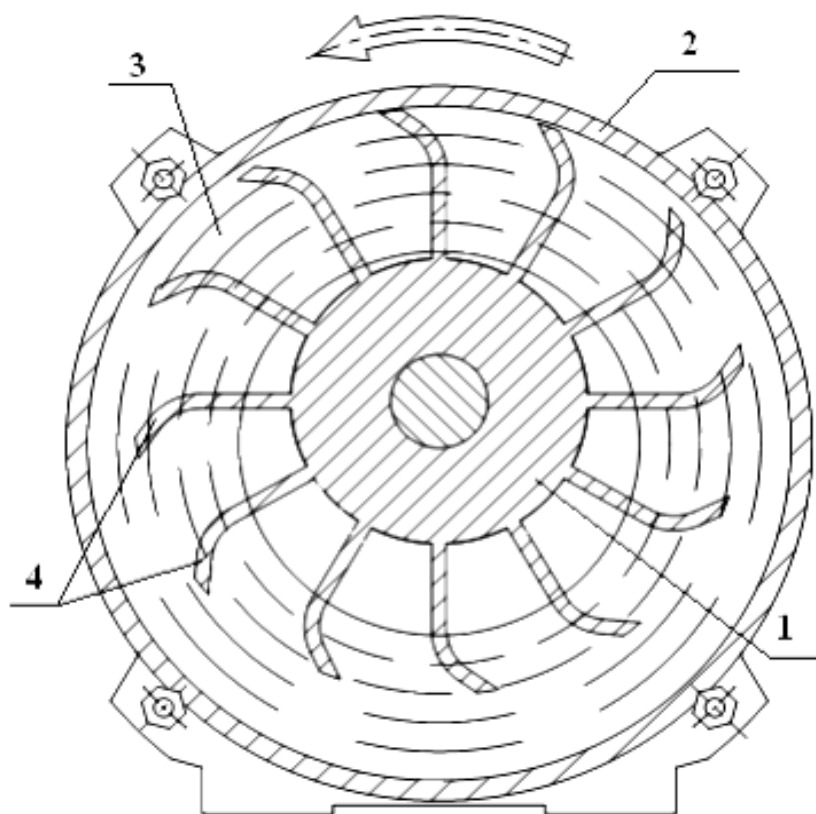
Таблица 3.13 – Варианты для расчета параметров скреперной установки

Вариант	Ширина захвата скрепера l , мм	Высота скребка h , мм	Количество голов КРС, обслуживаемых скрепером m , гол.	Суточный выход навоза на одну голову $q_{сут}$, кг	Количество включений установки в сутки, K_B	Средняя скорость движения скрепера $v_{ср}$, м/с	Длина цепи L , м
1	1800	100	50	50	8	0,4	120
2	2200	100	50	50	12	0,5	120
3	2600	100	50	50	14	0,6	120
4	3000	100	50	50	16	0,7	120
5	3400	100	50	55	8	0,4	120
6	3800	110	50	55	12	0,5	120
7	1800	110	50	55	14	0,6	120
8	2200	110	50	55	16	0,7	120
9	2600	110	60	50	8	0,4	140
10	3000	110	60	50	10	0,5	140
11	3400	120	60	50	12	0,6	140
12	3800	120	60	50	14	0,7	140
13	1800	120	60	55	8	0,4	140
14	2200	120	60	55	10	0,5	140
15	2600	120	60	55	12	0,6	140
16	3000	130	60	55	14	0,7	140
17	3400	130	75	50	10	0,4	170
18	3800	130	75	50	12	0,5	170
19	1800	130	75	50	14	0,6	170
20	2200	130	75	55	10	0,7	170
21	2600	140	75	55	12	0,4	170
22	3000	140	75	55	14	0,5	170
23	3400	140	100	50	14	0,6	220
24	3800	140	100	50	16	0,7	220
25	1800	140	100	55	16	0,4	220
26	2200	150	100	55	18	0,5	220
27	2600	150	125	50	16	0,6	270
28	3000	150	125	50	16	0,7	270
29	3400	150	125	55	18	0,4	270
30	3800	150	125	55	20	0,5	270

3.8 Определение оптимальных параметров водокольцевого вакуумного насоса для технологической линии доения

3.8.1 Описание конструкции и процесса работы

Водокольцевые вакуумные насосы (рисунок 3.45) широко применяются в различных сферах народного хозяйства республики – производстве керамических изделий, переработке плодоовощной и молочной продукции, доении коров. Их конструкция простая, а износу подвергаются только подшипники, вал и его уплотнения. Поэтому эти машины долговечны в работе. Недостатком водокольцевых вакуумных насосов является большой удельный расход мощности на вращение жидкостного кольца. Удельное энергопотребление ими достигает значительной величины – $0,04 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$.



1 – колесо; 2 – корпус; 3 – водяное кольцо; 4 – лопасть колеса

Рисунок 3.45 – Принципиальная схема водокольцевого вакуумного насоса

При вращении рабочего колеса образуется жидкостное кольцо, которое под действием центробежной силы прижимается к внутренней поверхности корпуса.

Вследствие эксцентричного расположения рабочего колеса жидкостное кольцо отходит от втулки, увеличивая рабочий объем, в который через всасывающее окно всасывается воздух. Ячейка, образуемая внутренней поверхностью жидкостного кольца, поверхностью втулки и лопатками, увеличивает свой объем до определенной величины угла поворота колеса. При этом происходит процесс всасывания. При дальнейшем повороте рабочего колеса происходит отсечение ячейки от всасывающего окна и начинается плавное сжатие попавшего в ячейку воздуха за счет уменьшения объема ячейки. При достижении в ячейке заданного давления (при повороте колеса на заданный угол) ячейка сообщается с нагнетательным окном, через которое сжатый воздух вытесняется в нагнетательную полость и выходит из машины.

Производительность водокольцевых вакуумных насосов оценивается величинами серпообразной площади, длины колеса и частоты вращения. Серпообразная площадь определяется диаметрами колеса и его втулки. Геометрические параметры колеса используют в виде конструктивной характеристики – отношения радиусов втулки и колеса. Это соотношение определяет размеры пространства для сжатия воздуха и величину потерь при входе воздуха в ячейку и выходе из нее. Эффективность геометрической характеристики рабочего колеса обуславливается значением эксцентриситета. Рациональная величина эксцентриситета обеспечивает минимальное погружение лопастей рабочего колеса в жидкость и, как следствие, высокую производительность и низкую удельную потребляемую мощность и материалоемкость. Чрезмерный эксцентриситет выводит лопасти из жидкостного кольца и увеличивает просачивание воздуха из нагнетательной полости во всасывающую через образовавшуюся щель и уменьшает производительность машины. Малый эксцентриситет является причиной большого погружения лопастей в жидкостное кольцо, при этом объем засасываемого воздуха уменьшится на 20 %.

3.8.2 Расчет конструктивных параметров водокольцевого вакуумного насоса

По величине быстроты действия насоса и рабочего вакуума определяем потребляемую мощность на привод насоса, кВт:

$$N = \frac{pS}{\eta}, \quad (3.152)$$

где P – вакуумметрическое давление всасывания, Па ($p = 50000$ Па);

S – быстрота действия насоса, м³/с;

η – коэффициент полезного действия ($\eta = 0,27$).

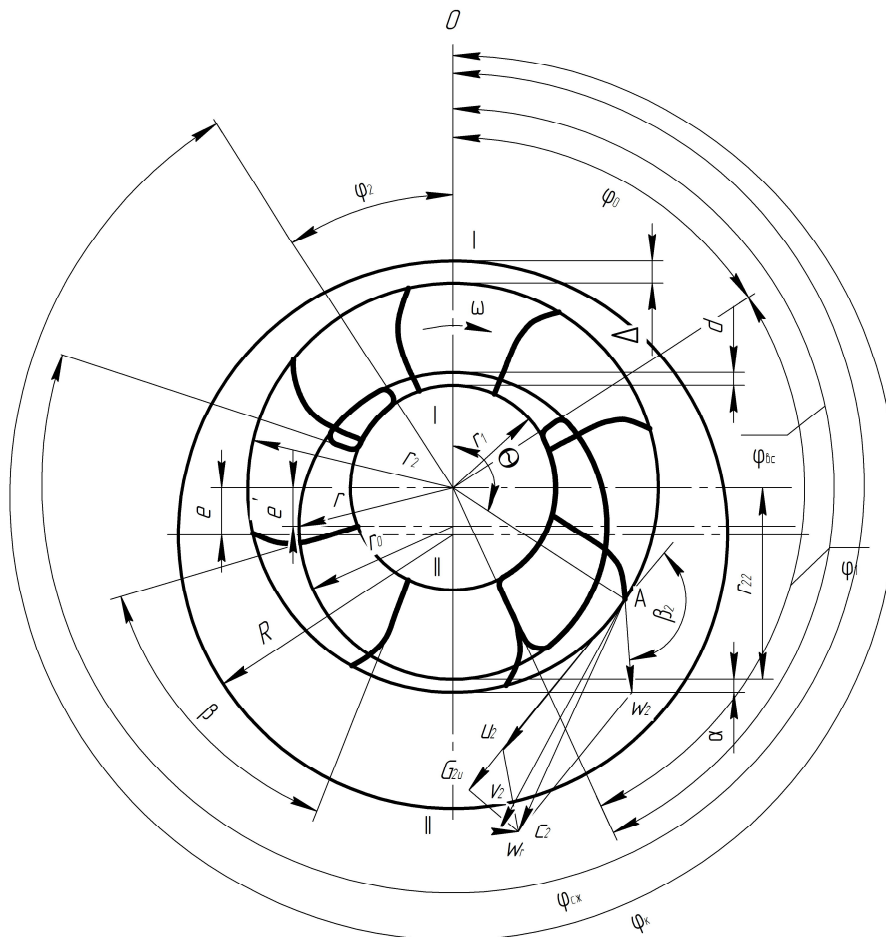


Рисунок 3.46 – Конструктивная схема водокольцевого вакуумного насоса

По величине мощности определяем крутящий момент, Нм:

$$M = \frac{N}{2\pi n} \quad (3.153)$$

Определяем диаметр вала ротора, м:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M}{0,1[\sigma]}} \quad (3.154)$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение при кручении на валу ($[\sigma] = 50 \cdot 10^6$ Па).

По величинам быстроты действия насоса, частоты вращения ротора и эксцентриситета определяем радиус ротора (принимая длину ротора равной радиусу ротора), м:

$$r_2 = \sqrt{\frac{S}{4\pi en}}. \quad (3.155)$$

Определяем радиус корпуса насоса:

$$r_1 = R + e + \Delta, \quad (3.156)$$

где Δ – минимальный зазор между корпусом и колесом, м.

Число лопаток z , шт., определяют по формуле

$$z = \sqrt{\frac{3\pi R}{b_l}}. \quad (3.157)$$

где b_l – толщина лопатки, м ($b_l = 4$ мм).

Подобранные нами геометрические размеры не только обеспечивают заданную быстроту действия, но также обеспечивают заданную глубину погружения лопатки в жидкостное кольцо, м:

$$a = r_2 - r_{22}, \quad (3.158)$$

где r_2 – наружный радиус рабочего колеса насоса, м;

r_{22} – радиус-вектор жидкостного кольца, м.

Наружный радиус рабочего колеса насоса находится по величине частоты вращения ротора насоса, его эксцентриситета и минимальной окружной скорости рабочего колеса ротора (принимая радиус наружный рабочего колеса, равным длине рабочего колеса ротора), м:

$$u_2 = \frac{\sqrt{3p_H / \rho_{ж} - 2p / \rho_{ж}}}{\varphi}, \quad (3.159)$$

где p_n – вакуумметрическое давление нагнетания, Па ($p_n = 150000$ Па);

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости (воды $\rho_{ж} = 1000$ кг/м³);

P – вакуумметрическое давление всасывания, Па ($p = 50000$ Па);

φ – коэффициент, учитывающий форму и число лопаток.

Отсюда

$$\varphi = \sqrt{[1 - (1 - v) / (\pi \operatorname{ctg} \beta_2)] \mu_z}, \quad (3.160)$$

где v – относительный радиус ступицы колеса ($v \approx 0,4 \dots 0,5$);

β_2 – выходной угол наклона лопаток колеса (таблица 3.15);

μ_z – коэффициент, учитывающий геометрию и число лопаток.

Откуда

$$\mu_z = \{1 - \pi \cos \beta_2 / [2z(1 - v)]\}^{-1}, \quad (3.161)$$

Радиус-вектор жидкостного кольца будет равен, м:

$$r_{22} = r^2 \sqrt{v^2 / k_1^2 + 4\zeta \varepsilon k_2 / \psi + 2\zeta \delta (k_2 - 0,5) / \psi}, \quad (3.162)$$

где ζ – относительная ширина лопатки с ребром жесткости ($\zeta = b / b_0 = 1,03 \dots 1,04$, где b – длина корпуса насоса, b_0 – ширина колеса), м;

ε – относительный эксцентриситет;

ψ – коэффициент, учитывающий влияние толщины лопаток ($\psi = 0,7$ – для литых колес);

δ – относительный зазор ($\delta = \Delta / r_2 \approx 0,02$, м);

$k_1 k_2$ – скоростные коэффициенты.

Ширина рабочего колеса зависит от относительной ширины лопатки и полученного значения из формулы (3.162):

$$b_0 = \frac{b}{\zeta}. \quad (3.163)$$

Относительный эксцентриситет находится по следующей зависимости

$$\varepsilon = e / r_2. \quad (3.164)$$

Первый скоростной коэффициент зависит от радиуса ступицы колеса и зазора между самой ступицей и поверхностью жидкостного кольца:

$$k_1 = R_1 / (R_1 + d), \quad (3.165)$$

где d – зазор между ступицей колеса и внутренней поверхностью жидкостного кольца, ($d = 0,0015$ м);

R_1 – средний радиус ступицы колеса, м.

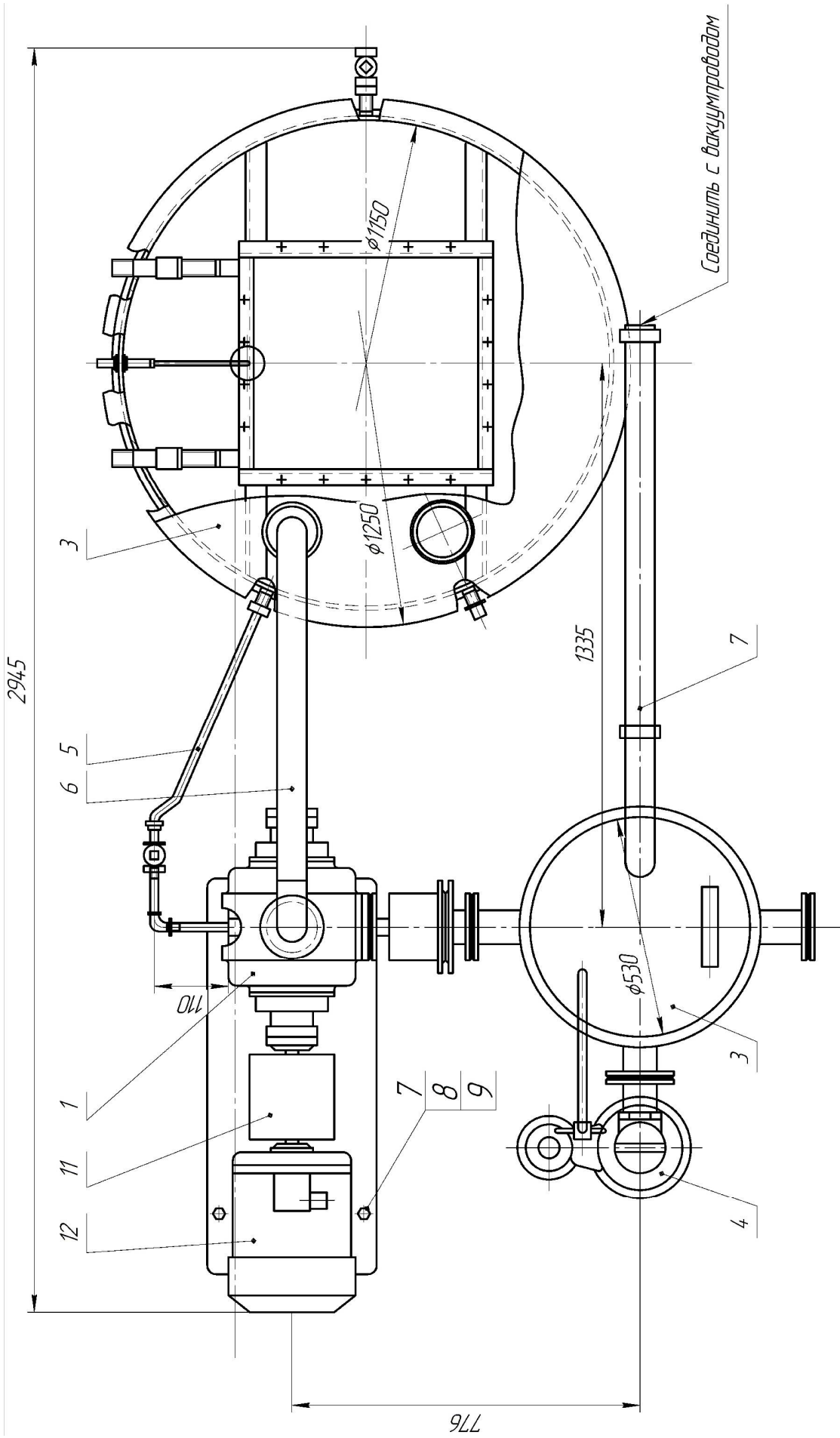
Тогда

$$R_1 = vr_2, \quad (3.166)$$

$$k_2 = \frac{(1 - v^2 + \delta\zeta / \psi)\psi}{2\zeta(2\varepsilon + \delta)} \{ [(8,37 - 0,465\text{ctg}\beta_2)\varepsilon - 0,485] - 3,59\mu_{\text{ж}} \}, \quad (3.167)$$

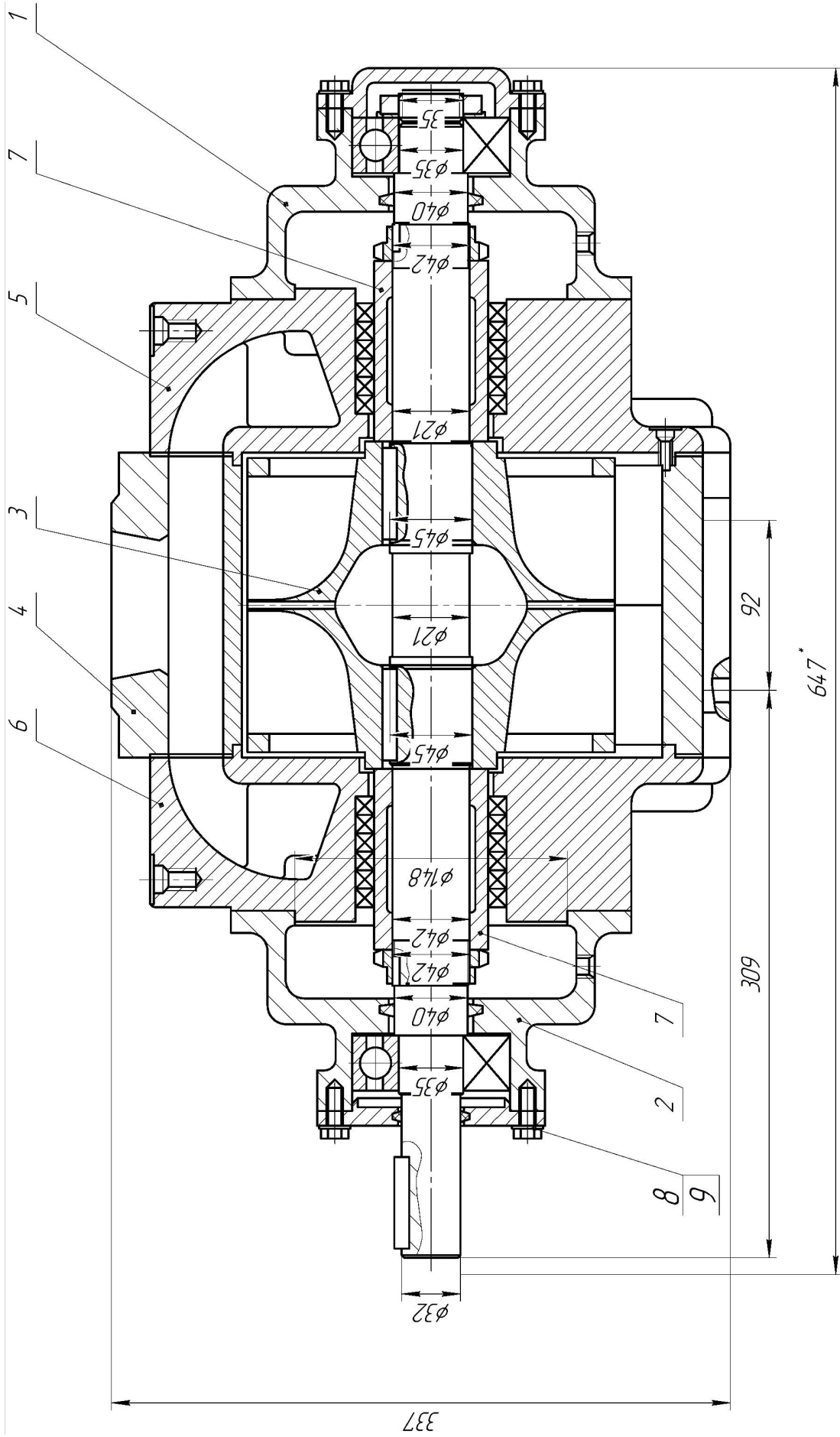
где $\mu_{\text{ж}}$ – динамическая вязкость рабочей жидкости (при $t_{\text{воды}} = 40^\circ \rightarrow \mu_{\text{ж}} = 653,3$ мПа·с).

Выполнить графическую часть проекта в соответствии с заданием. На листах соответствующего формата разместить схемы и чертежи (рисунок 3.47–3.48).



1 – насос вакуумный; 2 – емкость; 3 – баллон вакуумный; 4 – регулятор вакуумный;
 5, 6, 7 – трубопровод; 8 – болт; 9 – гайка; 10 – шайба; 11 – муфта; 12 – электродвигатель

Рисунок 3.47 – Вакуумная установка



1,2 – крышка подшипника; 3 – ротор; 4 – корпус; 5 – лобовина правая;
 6 – лобовина левая; 7 – втулка; 8 – болт; 9 – гайка
Рисунок 3.48 – Насос вакуумный

Таблица 3.14 – Варианты для расчета параметров водокольцевого вакуумного насоса

Вариант	Поголовье фермы, гол.	Быстрота действия насоса S , м ³ /ч	Эксцентриситет насоса e , мм	Угол наклона лопаток колеса β_2 , град.	Частота вращения ротора n , об/с
1	100	60	11	135	25
2	200	120	12	136	25
3	300	180	13	137	25
4	400	240	14	138	25
5	500	300	15	139	25
6	600	360	16	140	25
7	700	420	17	141	25
8	800	480	18	142	25
9	900	540	19	143	25
10	1000	600	20	144	25
11	1100	660	21	145	25
12	1200	720	22	146	25
13	1300	780	23	147	25
14	1400	840	24	148	25
15	1500	900	25	149	25
16	1600	960	26	150	25
17	1700	1020	27	151	25
18	1800	1080	28	152	25
19	1900	1140	29	153	25
20	2000	1200	30	154	25
21	2100	1260	31	155	25
22	2200	1320	32	156	25
23	2300	1380	33	157	25
24	2400	1440	34	158	25
25	2500	1500	35	159	25

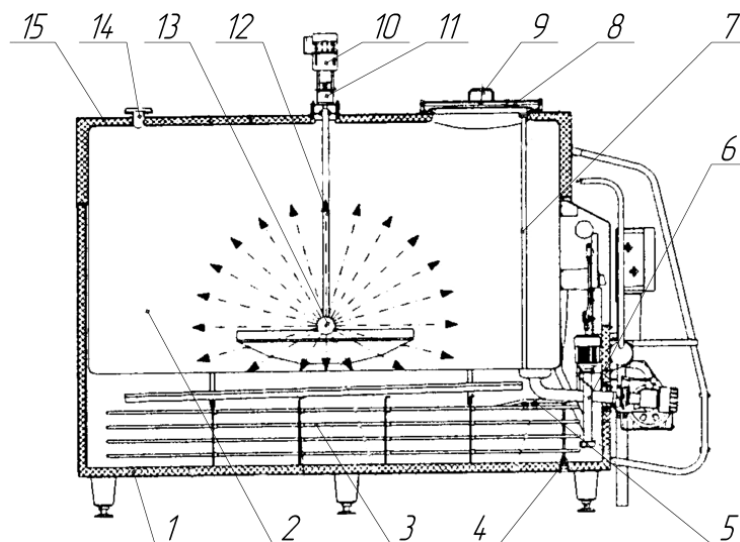
3.9 Определение параметров предохранителя молока холодильных установок косвенного охлаждения

3.9.1 Устройство и принцип работы холодильной установки

Холодильные установки косвенного охлаждения молока серийно выпускаются фирмами Frigomilk (Италия), DeLaval (Швеция), ИЧУПП «Машиностроительная компания Промтехника» (Республика Беларусь) и др. В частности, Промтехника выпускает танки-охладители молока МТКО DIAN.

Оборудование для охлаждения молока типа МТКО DIAN (в дальнейшем оборудование) предназначено для охлаждения молока на животноводческих фермах, пунктах приема и сбора молока с целью его хранения до перевозки к месту дальнейшей переработки. Оборудование предназначено для охлаждения молока в объеме двух доений.

Оборудование выполнено в виде закрытого молочного танка с косвенным охлаждением (рисунок 3.49).

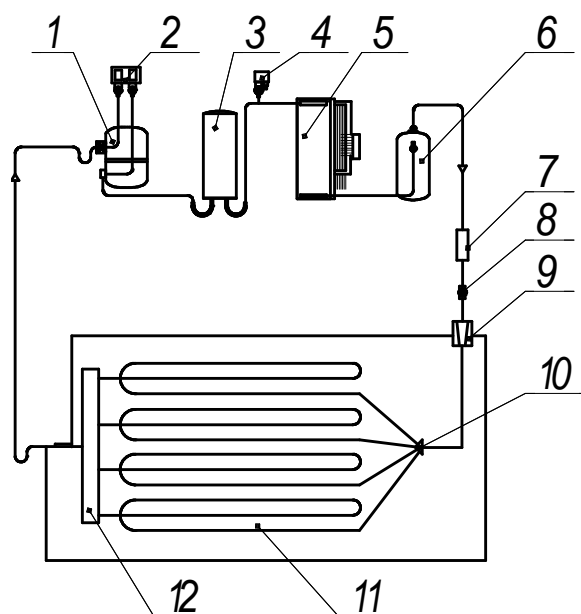


- 1 – емкость холодильного танка (ванна с тепловой полиуретановой изоляцией);
 2 – емкость для хранения молока; 3 – змеевиковый испаритель системы охлаждения;
 4 – пробка водосброса и ограничения уровня воды; 5 – датчик количества льда;
 6 – насос ледяной воды; 7 – измерительная штанга с миллиметровой шкалой;
 8 – лаз с откидной крышкой; 9 – отверстие для налива молока диаметром 50 мм с резиновой пробкой;
 10 – мотор-редуктор привода мешалки; 11 – муфта гидравлическая для ввода санитарно-моющего раствора в вал мешалки; 12 – мешалка, оснащенная приспособлениями для разбрызгивания;
 13 – разбирающаяся головка разбрызгивателя; 14 – воздухоотводчик;
 15 – теплоизоляционная крышка емкости для хранения молока

Рисунок 3.49 – Танк-охладитель молока

Охлаждение молока производится орошением наружных боковых стенок молочной емкости ледяной водой насосом через систему трубопроводов. Молочная емкость установлена в водяную ванну и находится выше уровня ледяной воды. Охлаждение воды происходит за счет таяния льда, который образуется на змеевиковом испарителе системы охлаждения. Компрессорно-конденсатный агрегат устанавливается отдельно на фундаменте.

Принцип работы холодильной установки (рисунок 3.50) заключается в следующем.



- 1 – компрессор; 2 – реле давления сдвоенное (низкого и высокого);
 3 – теплообменник АКЕ (только для системы рекуперации тепла); 4 – реле давления;
 5 – конденсатор с вентиляторами; 6 – ресивер хладагента; 7 – фильтр–осушитель;
 8 – смотровой глазок (с определением влажности системы); 9 – расширительный вентиль (терморегулирующий); 10 – распределитель хладагента; 11 – испаритель;
 12 – собирательная труба (коллектор)

Рисунок 3.50 – Принципиальная схема системы охлаждения

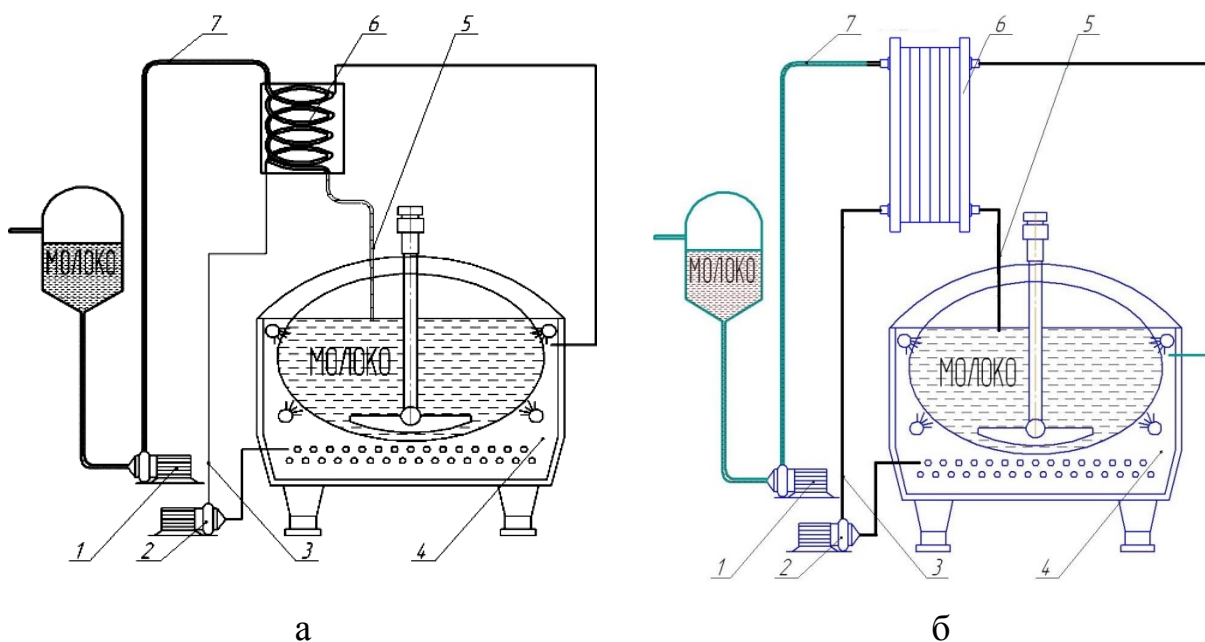
Газообразный хладагент компрессором 1 нагнетается в теплообменник 3, в котором часть тепла отдается холодной воде, проходящей между пластинами, и дальше поступает в конденсатор 5. Конденсатор обеспечивает охлаждение сжатых паров хладагента окружающим воздухом и их конденсацию. Из конденсатора жидкий хладагент поступает в ресивер 6, фильтр-осушитель 7, где очищается от механических примесей и обезвоживается, и дальше через смотровой глазок 8 в терморегулирующий вентиль (ТРВ) 9. Ресивер создает запас жидкого хладагента, необходимый для обеспечения равномерного питания им испарительной системы, кроме того, он является дополнительной емкостью конденсатора, которая

предотвращает переполнение последнего жидким хладагентом. В ТРВ хладагент дросселируется. Дросселирование сопровождается понижением давления хладагента от давления конденсации до давления кипения. Часть жидкости, прошедшей через ТРВ, превращается в насыщенный пар, охлаждая при этом остальную часть хладагента до температуры кипения, т. е. из ТРВ выходит смесь жидкости и насыщенного пара (влажный пар).

Жидкий хладагент проходит распределитель *10*, поступая в испаритель *11*, кипит, поглощая тепло от стенок молочной емкости. Пары хладагента, отсасываемые компрессором *1*, по мере прохождения по испарителю *11* дополнительно подогреваются в результате теплообмена через стенки последнего. Поэтому их температура на выходе из испарителя обычно выше температуры кипения. И цикл повторяется.

Холодильная установка может быть укомплектована системой для нагрева производственной воды (рекуперации) парами хладагента, поступающего из компрессора в конденсатор, и предохладителем молока.

Применение системы предварительного охлаждения молока позволяет смешивать молоко нескольких доений, что гарантирует высокое качество сырья и значительно сокращает время охлаждения молока до критической температуры $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в течение 15 минут от начала доения).



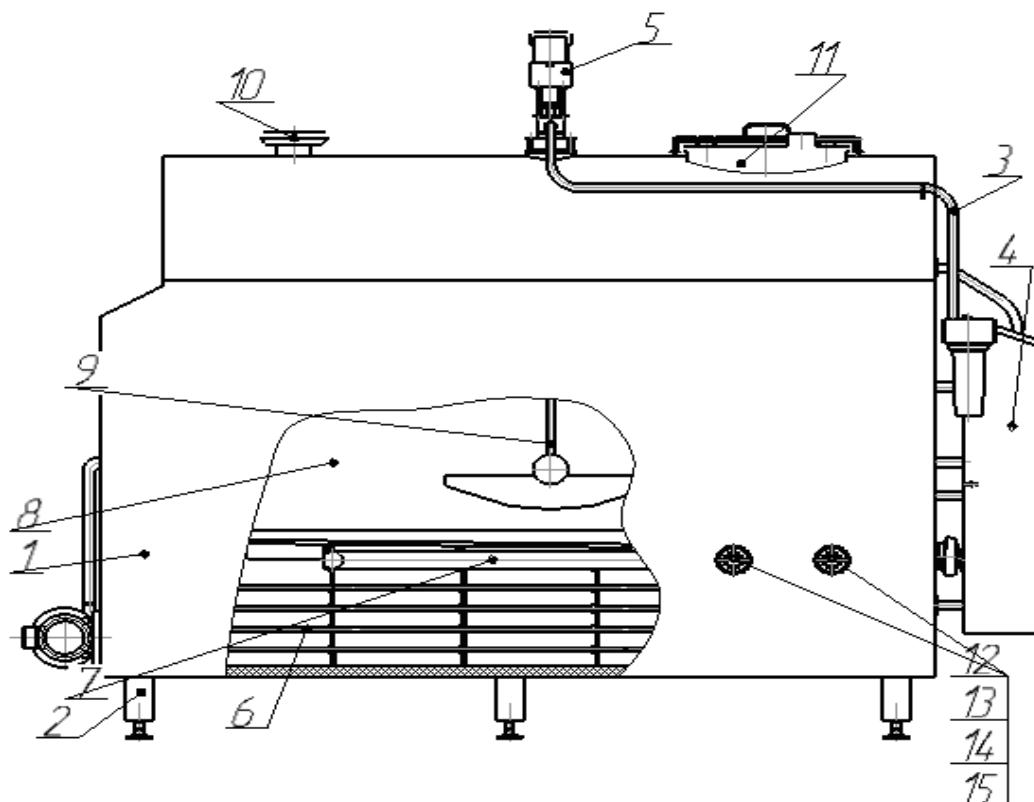
а – с трубчатым предохладителем, б – с пластинчатым предохладителем;
 1 – насос молочный (в комплект не входит), 2 – насос для ледяной воды, 3 – ледяная вода,
 4 – танк охлаждения молока, 5 – молоко $t = 0...+1\text{ }^{\circ}\text{C}$,
 6 – предохладитель для предварительного охлаждения молока, 7 – молоко $t = +16\text{ }^{\circ}\text{C}$

Рисунок 3.51 – Схема предварительного охлаждения молока

Эта система работает следующим образом: предоохладитель использует ледяную воду от холодильного оборудования МТКО DIAN и охлаждает молоко до температуры ниже 15 °С еще до поступления его в танк, что крайне важно для производства высокотехнологических молочных продуктов: йогуртов, детского питания и др.

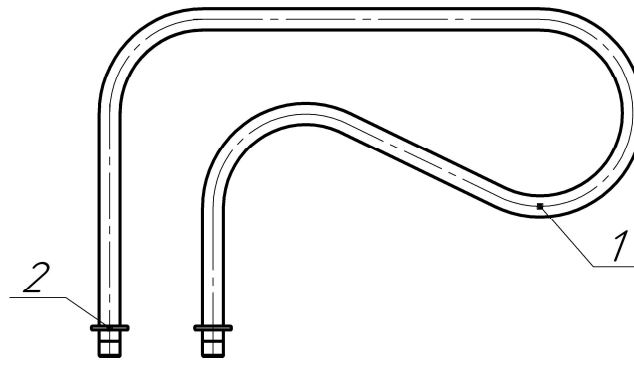
3.9.2 Описание модернизации холодильной установки

С целью экономии средств и энергоресурсов нами предлагается схема модернизированной холодильной установки МТКО DIAN (рисунок 3.52). Согласно этой схеме теплообменник (рисунок 3.53) располагается непосредственно в водяной ванне под днищем молочного танка. Это позволило устранить из старой схемы наличие водяного насоса с электродвигателем для забора воды из молочного танка.



- 1 – ванна; 2 – опоры; 3 – труба для моюще-дезинфицирующего средства; 4 – крышка;
 5 – мотор-редуктор; 6 – испаритель; 7 – теплообменник; 8 – емкость для молока;
 9 – мешалка; 10 – воздухоотводчик; 11 – люк; 12 – штуцер; 13 – накидная гайка;
 14 – гайка; 15 – прокладка

Рисунок 3.52 – Модернизированная холодильная установка МТКО DIAN



1 – труба; 2 – фланец

Рисунок 3.53 – Теплообменник

Исходные данные для конструкторской части курсового проекта представлены в таблице 3.15.

3.9.3 Расчет потребности в холоде

Определим максимальный суточный надой в наиболее продуктивный месяц лактации стада, чтобы иметь гарантированный запас производственной мощности оборудования в остальное время.

Зная поголовье и годовой удой на корову, можно определить годовое количество молока по формуле

$$M_{\Gamma} = Mm, \quad (3.168)$$

где M – годовой удой на корову, кг (таблица 3.16);

m – количество коров, гол. (таблица 3.16).

Максимальный суточный надой молока по формуле

$$M_{\text{сут}} = \frac{\lambda M_{\Gamma}}{365}, \quad (3.169)$$

где λ – коэффициент неравномерности надоя ($\lambda = 1,25 \dots 1,5$).

Максимальный разовый надой молока

$$M_{\text{р}} = \beta M_{\text{сут}}, \quad (3.170)$$

где β – коэффициент, учитывающий максимальный надой молока за одну дойку (при двукратном доении $\beta = 0,65$).

Учитывая, что в процессе доения коров половина времени уходит на отгон и подгон животных, то фактическая секундная производительность будет составлять

$$M_c = \frac{1,5M_p}{3600T}, \quad (3.171)$$

где T – длительность дойки стада, ч ($T = 2$ ч).

Количество теплоты, которое необходимо отвести от молока при его охлаждении определяется по формуле

$$Q_M = M_M C_M (t_n - t_k), \quad (3.172)$$

где M_M – количество молока в молочном танке, кг (максимальный разовый надой);

C_M – удельная теплоемкость молока, кДж/кг·°С ($C_M = 3,9$ кДж/кг·°С);

t_n и t_k – соответственно начальная и конечная температура молока, °С ($t_n = 32$ °С и $t_k = 4$ °С).

Холодопроизводительность агрегата определяет из формулы

$$Q_a = \frac{Q_M - \Delta g}{\tau}, \quad (3.173)$$

где τ – время охлаждения молока, ч ($\tau = 3$ ч).

Необходимая холодопроизводительность агрегата уменьшается на величину

$$\Delta g = m_l g_l, \quad (3.174)$$

где m_l – количество замороженного на панелях испарителя льда, кг (таблица 3.16);

g_l – удельная теплота плавления льда, кДж/кг ($g_l = 335$ кДж/кг).

Емкость молочного танка зависит от суточного надоя молока и кратности его вывоза. Принимаем, что вывоз молока производится один раз в сутки.

3.9.4 Тепловой расчет теплообменника

Из основного уравнения теплоотдачи

$$F = \frac{Q}{k_T \Delta t_{cp}}, \quad (3.175)$$

где F – площадь поверхности теплопередачи, м²;

Q – тепловая нагрузка, Вт;

k_T – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·°С ($k_T = 2203$ Вт/м²·°С);

Δt_{cp} – средняя разность температур между теплоносителями, °С.

Условно принимаем, что поверхности теплоотдачи для воды и молока равны.

Коэффициент теплопередачи зависит от многих факторов (температуры теплообменных жидкостей, конструкции теплообменника, условий течения жидкостей и т.п.) и в каждом отдельном случае определяется экспериментально или рассчитывается по имеющимся экспериментальным зависимостям. Нами принято $k_T = 2203$ Вт/м²·°С. Это значение взято из книги, где произведен расчет для условий, аналогичных нашим.

Средняя разность температур между теплоносителями определяется по формуле

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}}, \quad (3.176)$$

где Δt_{max} и Δt_{min} – соответственно максимальная и минимальная разность температур между водой и молоком, °С.

Разрабатываемый теплообменник находится в ванне с водой температурой 1 °С, температура поступающего на охлаждение молока равна 32 °С, а после предварительного охлаждения – $t_{по}$.

Тогда

$$\Delta t_{max} = 31 \text{ °С},$$

$$\Delta t_{min} = t_{по} - 1, \quad (3.177)$$

где $t_{\text{по}}$ – температура молока после предоохладителя, °С (таблица 3.16).
Тепловая нагрузка на теплообменник определяется по формуле

$$Q = M_c C_M (t_n - t_{\text{по}}), \quad (3.178)$$

где M_c – секундный расход молока, кг/с;
 C_M – удельная теплоемкость молока, Дж/кг·°С ($C_M = 3900$ Дж/кг·°С).
Внешний диаметр теплообменника

$$d_n = \frac{F}{\pi L}, \quad (3.179)$$

где L – длина теплообменника, м (таблица 3.16).

На основании расчета выбираем внешний диаметр теплообменника из стали 08X17T. Значение выбираем из ряда 40; 42; 45; 48; 50; 51; 53; 54; 56; 57; 60; 63; 65; 68; 70; 73 мм.

Определяем скорость молока в теплообменнике

$$v_M = \frac{4M_c}{\pi d_n^2 \rho_M}, \quad (3.180)$$

где M_c – секундная производительность молока, кг/с;
 d_n – диаметр теплообменника, м;
 ρ_M – плотность молока, кг/м³ ($\rho_M = 1029$ кг/м³).

Как известно, для получения высокой интенсивности теплообмена необходим турбулентный режим движения молока в теплообменнике. Установлено, что число Рейнольдса должно быть более 4000.

Число Рейнольдса рассчитывается по формуле

$$Re = \frac{v_M d_{\text{вн}} \rho_M}{\mu_M}, \quad (3.181)$$

где μ_M – динамическая вязкость молока, Па·с ($\mu_M = 2012 \cdot 10^{-6}$ Па·с).

3.9.5 Прочностной расчет теплообменника

Расчет молокопроводной трубы на прочность.

Допустимое внутреннее давление определяем по формуле

$$[P] = \frac{2[\delta]h}{d-h}, \quad (3.182)$$

где $[\delta]$ – допустимое напряжение для стальных труб, МПа ($[\delta] = 147$ МПа);

h – толщина трубы, мм ($h = 3,5$ мм);

d – диаметр трубы, мм.

Сравнить полученное допустимое давление $[P]$ с фактическим $P_{\phi} = 0,2$ МПа.

Фланец приварен к теплообменнику угловым сварным швом. Разрушение угловых швов происходит по наименьшему сечению, совпадающему с биссектрисой прямого угла.

Напряжение в опасном сечении для сварного шва на срез определяем по формуле

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F_p}{0,7Kl_{\text{ш}}} \leq [\tau_{\text{ср}}], \quad (3.183)$$

где F_p – сила растяжения, действующая на сварной шов, Н ($F_p = 19 \cdot 10^3$ Н);

K – катет сварного шва, мм ($K = 5$ мм);

$l_{\text{ш}}$ – длина сварного шва, мм ($l_{\text{ш}} = \pi d_{\text{н}}$);

$[\tau_{\text{ср}}]$ – допускаемое напряжение для сварных швов на срез, МПа ($[\tau_{\text{ср}}] = 80$ МПа).

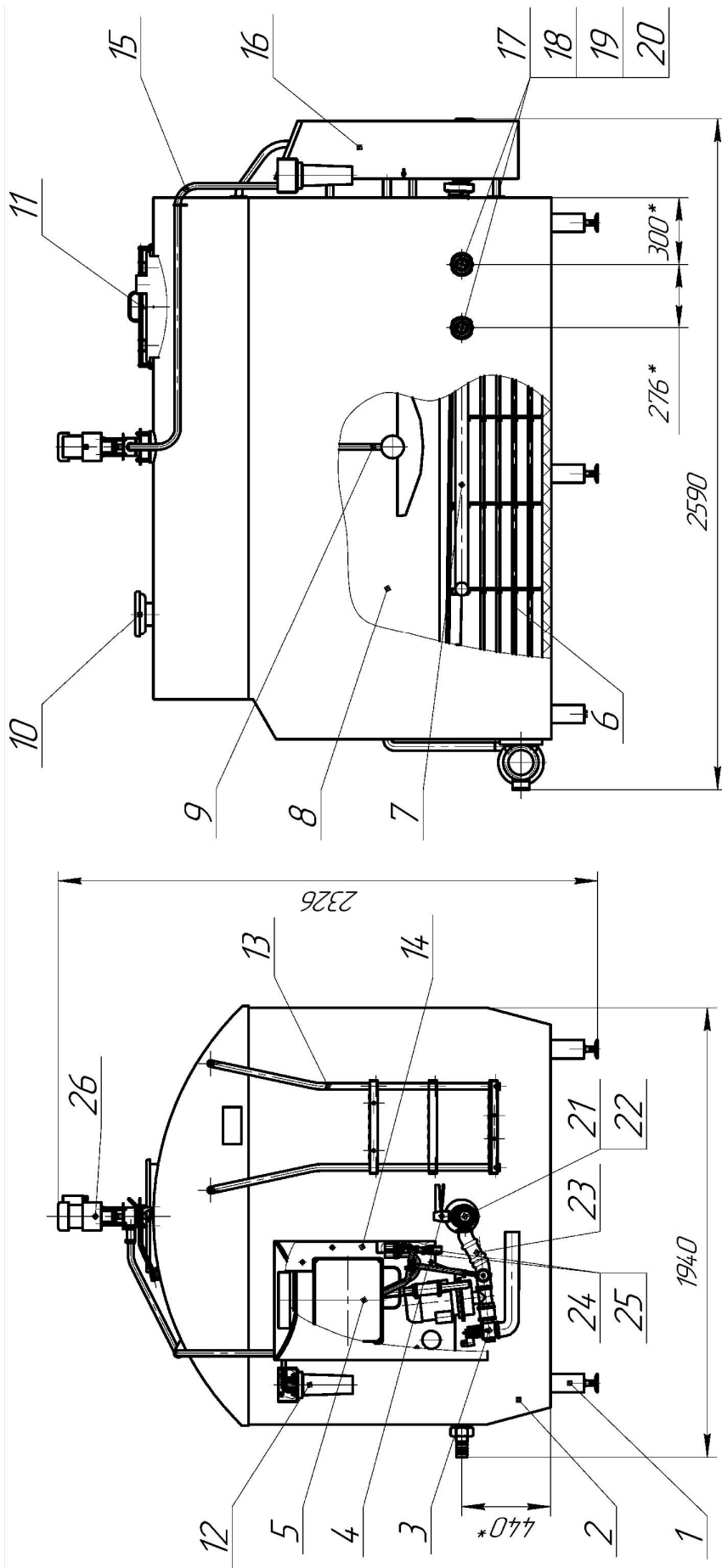
Напряжение в опасном сечении для сварного шва на растяжение определяется по формуле

$$\delta_p = \frac{F}{Sl_{\text{ш}}} \leq [\delta_p], \quad (3.184)$$

где S – толщина свариваемого элемента, мм ($S = 3,5$ мм);

$[\delta_p]$ – допускаемое напряжение для сварных швов при растяжении, МПа ($[\delta_p] = 120\text{--}150$ МПа).

Выполнить графическую часть проекта в соответствии с заданием. На листах соответствующего формата разместить схемы и чертежи (рисунок 3.54–3.55).

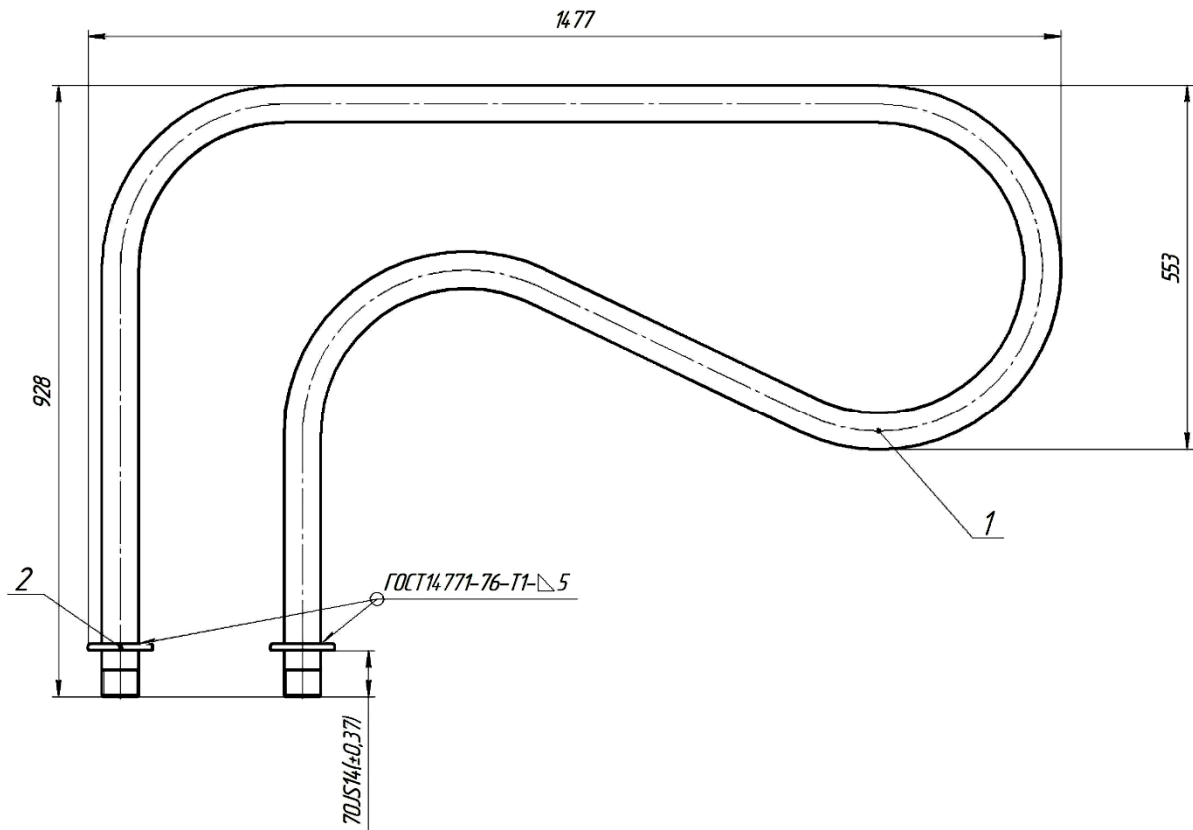


1 – опоры; 2 – ванна; 3 – сливной клапан; 4 – шкаф; 5 – люк; 6 – испаритель; 7 – теплообменник; 8 – емкость для молока; 9 – мешалка; 10 – воздухоотводчик; 11 – кран; 12 – люк; 13 – лестница; 14 – платформа; 15 – труба для М-Д средства; 16 – крышка; 17 – штуцер; 18 – накидная гайка; 19 – гайка; 20 – прокладка;

21 – штуцер резьбовой; 22 – адаптер; 23 – трубопровод; 24 – прокладка; 25 – штуцер;

26 – мотор-редуктор R3-225-D2B 44 Вт фирма Sirem (Франция)

Рисунок 3.54 – Танк охладитель молока МТКО DIAN



1 – труба; 2 – фланец

Рисунок 3.55 – Теплообменник

Таблица 3.15 – Варианты для расчета параметров предоохладителя молока

Вариант	Количество коров, гол.	Годовой удой на корову, кг	Количество замороженного льда, кг	Температура молока после предоохладителя, °С	Длина теплообменника, м
1	100	6500	100	10	5
2	125	6450	110	13	4
3	150	6400	120	16	5
4	175	6350	130	15	5
5	200	6300	140	14	5
6	225	6250	150	13	6
7	250	6200	160	12	6
8	275	6150	170	18	6
9	300	6100	180	17	6
10	325	6050	190	16	7
11	350	6000	200	15	7
12	375	5950	210	18	6

Вариант	Количество коров, гол.	Годовой удой на корову, кг	Количество замороженного льда, кг	Температура молока после предохладителя, °С	Длина теплообменника, м
13	400	5900	220	17	6
14	100	5850	230	12	4
15	125	5800	240	11	4
16	150	5750	100	10	5
17	175	5700	110	13	6
18	200	5650	120	12	6
19	225	5600	130	11	6
20	250	5550	140	10	6
21	275	5500	150	13	7
22	300	5450	160	14	7
23	325	5400	170	18	4
24	350	5350	180	17	5
25	375	5300	190	16	6
26	400	5250	200	15	7
27	250	5200	210	16	6
28	125	5150	220	8	6
29	150	5100	230	8	6
30	175	5050	240	11	6

Список использованных источников

1. Глущенко, Н. А. Основы проектирования технологических линий в животноводстве : учебное пособие / Н. А. Глущенко, Л. Ф. Глущенко. – Минск, 1996. – 265 с.
2. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы. Постановление совета Министров Республики Беларусь от 11 марта 2016 г. № 196. – 186 с.
3. Китун, А. В. Механизация процесса приготовления и раздачи кормов на скотоводческих фермах на основе многофункциональных модульных агрегатов : монография / А. В. Китун. – Минск : БГАТУ, 2009. – 208 с.
4. Китун, А. В. Оптимизация пропускной способности решет / А. В. Китун, В. И. Передня // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 6. – 47 с.
5. Китун, А. В. Технологии и техническое обеспечение производства молока : учеб. пособие / А. В. Китун, В. И. Передня. – Минск : ИВЦ Минфина, 2015. – 255 с.
6. Кольга, Д. Ф. Техническое обеспечение производства процессов в животноводстве : учебное пособие / Д. Ф. Кольга [и др.] – Минск : ИВЦ Минфина, 2012 г. – 576 с.
7. Концепция системы машин и оборудования для реализации инновационных технологий производства, первичной переработки и хранения основных видов сельскохозяйственной продукции до 2015 и на период до 2020 года : рекомендации по применению / сост.: В. Г. Гусаков [и др.] ; Национальная академия наук Беларуси. – Минск : НАН Беларуси, 2014. – 138 с.
8. Машины для перемешивания материалов : Ч. 2. Смесители периодического действия : методические указания к курсовому проектированию / сост. Д. Р. Дамдинова. – Улан-Удэ : Изд-во ВСГТУ, 2000. – 24 с.
9. Машины и оборудование в животноводстве : учебное пособие для учащихся учреждений, обеспечивающих получение профессионально-технического и среднего специального образования по сельскохозяйственным специальностям / Д. Ф. Кольга [и др.]. – Минск : Беларусь, 2010. – 312 с.
10. Общие требования к организации проектирования и правила оформления дипломных и курсовых проектов (работ) : учебно-методическое пособие / Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2015. – 136 с.
11. Передня, В. И. Механизация приготовления кормосмесей / В. И. Передня. – Минск : Ураджай, 1982. – С. 9–10.

12. Передняя, В. И. Технические средства для приготовления и раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота / В. И. Передняя, А. В. Китун ; НАН Беларуси, НПЦ по механизации сельского хозяйства. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 139 с.

13. Подготовка кормов к скармливанию : учебное пособие / Н. Н. Кердяшов, А. А. Наумов. – Пенза : РИО ПГСХА, 2007. – 247 с.

14. Положение о порядке организации курсового проектирования и защиты курсовых проектов (работ) : 26.06.2014, № 176 / БГАТУ. – Минск, 2014.

15. Романюк, Н. Н. Общие требования к организации проектирования и правила оформления дипломных и курсовых проектов (работ) : учебно-методическое пособие / Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2015. – 136 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет»

(название факультета)

Кафедра «Технологии и механизация животноводства»

Дисциплина: «Технологии и техническое обеспечение производства продукции
животноводства»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проекту

На тему

« _____
_____ »

Студент: _____

(№ группы, Ф.И.О.)

_____ «__» _____ 20__ г.

(подпись)

Руководитель: _____

(Ф.И.О., ученая степень)

_____ «__» _____ 20__ г.

(подпись)

Минск, 20__

Учреждение образования
«Белорусский государственный
аграрный технический университет»

(название факультета)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

(подпись)

_____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

по курсовому проектированию

Студенту _____

1 Тема проекта _____

2 Срок сдачи студентом законченного проекта «___» _____ 20__ г.

3 Исходные данные к проекту _____

4 Содержание пояснительной записки (перечень вопросов, которые подлежат разработке)

5 Перечень графического материала (с точным обозначением обязательных чертежей и графиков) _____

6 Дата выдачи задания «__» _____ 20__ г.

7 Календарный график работы над проектом на весь период проектирования (с обозначением сроков выполнения и трудоемкости отдельных этапов):

раздел 1 к «__» _____ 20__ г. – 20 % _____

раздел 2 к «__» _____ 20__ г. – 50 % _____

раздел 3 к «__» _____ 20__ г. – 30 % _____

оформление пояснительной записки

и графического материала к «__» _____ 20__ г. – 20 % _____

Защита курсового проекта с «__» по «__» _____ 20__ г.

Руководитель _____

(подпись)

(инициалы, фамилия)

Дата выдачи задания _____

Задание принял к исполнению _____

(дата и подпись студента)

Таблица 1 – Физико-механические свойства кормов

Культура	Коэффициент трения корма	Плотность, кг/м ³	Культура	Коэффициент трения корма	Плотность, кг/м ³
Ячмень	0,8	1,3·10 ³	Горох	1,0	1,36·10 ³
Овес	0,6	1,35·10 ³	Сено	1,1	60–70
Рожь	0,6	1,28·10 ³	Солома	1,25	35–55
Пшеница	0,7	1,36·10 ³			

Таблица 2 – Физико-механические свойства зерна

Культура	Предел прочности σ , кг/см ²	Модуль упругости E , кг/см ²
Овес	26	259
Рожь	22	224
Пшеница	31	313
Кукуруза	39	394
Тритикале	28	286
Ячмень	20	202

Таблица 3 – Физико-механические свойства корнеклубнеплодов

Показатель	Картофель	Свекла	Морковь
Диаметр (ширина), мм	65...100	150...180	40...60
Длина, мм	75...100	150...200	150...200
Содержание влаги, %	75	80	85
Объемная масса, см/м ³	700	650	580
Модуль упругости, МПа	34...54	54...83	69...83
Предел прочности при сжатии, МПа	10...18	13...24	13...25
Угол естественного откоса, град.:			
– в покое	35...40	35...40	24...26
– в движении	25...30	25...30	17...18
Плотность, кг/м ³	500...750	500...750	500...750
Коэффициент трения о материалы:			
– сталь	0,45...0,60	0,45...0,60	0,45...0,60
– дерево	0,45...0,68	0,45...0,68	0,45...0,68
– резина	0,5...0,8	0,5...0,8	0,5...0,8
Высота сбрасывания, м:			
– сталь	0,3...0,4	0,2...0,6	0,25...0,35
– дерево	0,25...0,5	0,4...0,75	0,4...0,5
– резина	0,5...0,75	0,75...1	0,75...1

Учебное издание

Китун Антон Владимирович, **Романович** Анастасия Андреевна,
Скорб Игорь Игоревич и др.

ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА.
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Учебное пособие

Ответственный за выпуск *А. В. Китун*
Корректор *Д. О. Бабакова*
Компьютерная верстка *Д. О. Бабаковой*
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 04.09.2018 г. Формат 60×84¹/₈.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 15,34. Уч.-изд. л. 6,00. Тираж 98 экз. Заказ 58.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.