

ФГБОУ ВО Казанский государственный аграрный университет

Институт механизации и технического сервиса

Направление 35.03.06 Агроинженерия

Профиль Технические системы в агробизнесе

Кафедра Машин и оборудования в агробизнесе

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на соискание квалификации (степени) «бакалавр»

Тема: «Совершенствование предпосевной обработки семян с разработкой  
диэлектрического сепаратора»

Шифр ВКР 35.03.06.176.20.ДС.00.00.00.ПЗ

Студент Б 262 - 06у группы



подпись

Галимуллин А.Ф.

Ф.И.О.

Руководитель К.Т.Н., доцент  
ученое звание



подпись

Хусайнов Р.К.

Ф.И.О.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите  
(протокол № 7 от 05.02.2020 г.)

Зав. кафедрой К.Т.Н., доцент  
ученое звание



подпись

Халиуллин Д.Т.

Ф.И.О.

## АННОТАЦИЯ

К выпускной квалификационной работе Галимуллина А.Ф. на тему: «Совершенствование технологии предпосевной обработки семян с разработкой конструкции диэлектрического сепаратора»

Работа состоит из пояснительной записки на \_\_\_\_\_ листах машинописного текста и графической части на 5 листах формата А1.

Записка состоит из введения, трех разделов, выводов и включает \_\_\_\_\_ рисунков, \_\_\_\_\_ таблицы. Список использованной литературы содержит \_\_\_\_\_ наименований.

Во введении обоснована актуальность темы проекта.

В первом разделе выполнен литературно-патентный обзор. Рассмотрены машины для диэлектрического сепарирования зерна. Проведен анализ технических решений существующих конструкций сепараторов, выявлены недостатки конструкций. Поставлены цели и задачи проектирования.

Во втором разделе приведено описание работы линии диэлектрического сепарирования зерна и проведен расчет производительности и подбор оборудования для технологической линии. Разработана технологическая линия для сепарирования зерна.

В третьем разделе приведено описание предлагаемого конструктивного решения, проделаны необходимые технологические и конструктивные расчёты, и дано экономическое обоснование конструкции. Разработаны мероприятия безопасности труда при работе с конструкцией.

Записка завершается выводами и предложениями.

## ABSTRACT

To the final qualifying work Galimullina A.F. on the topic: "Improving the technology of pre-sowing seed treatment with the development of the design of a dielectric separator"

The work consists of an explanatory note on typewritten text sheets and a graphic part on 5 sheets of A1 format.

The note consists of an introduction, three sections, conclusions and includes \_\_\_\_ drawings, \_\_\_\_ tables. The list of used literature contains \_\_\_\_ titles.

In the introduction, the relevance of the topic of the project is substantiated.

In the first section, a literary-patent review is performed. Machines for dielectric separation of grain are considered. The analysis of technical solutions of the existing separator constructions is carried out, the design flaws are revealed. The goals and objectives of the design are set.

The second section describes the operation of the dielectric grain separation line and calculates the productivity and selection of equipment for the production line. A technological line for separating grain was developed.

In the third section, a description of the proposed constructive solution is presented, the necessary technological and structural calculations are made, and the economic substantiation of the design is given. Work safety measures have been developed when working with a structure.

The note ends with conclusions and suggestions.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                               |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                 |  |
| 1 ЛИТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНЫЙ ОБЗОР.....                                                            |  |
| 1.1 Патентный поиск по диэлектрическим сепарирующим устройствам.....                          |  |
| 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....                                                                  |  |
| 2.1 Технология подготовки семян.....                                                          |  |
| 2.2. Описание работы линии подготовки зерна.....                                              |  |
| 2.3 Расчет производительности линии.....                                                      |  |
| 2.4 Подбор оборудования линии.....                                                            |  |
| 3. КОНСТРУКТИВНАЯ ЧАСТЬ.....                                                                  |  |
| 3.1 Обоснование конструкторской разработки.....                                               |  |
| 3.2 Расчет параметров диэлектрического сепаратора.....                                        |  |
| 3.2.1 Выбор электродвигателя.....                                                             |  |
| 3.2.2 Расчет и выбор аппаратуры управления и защиты.....                                      |  |
| 3.2.3 Расчет вала барабана.....                                                               |  |
| 3.2.4 Расчет шпоночного соединения.....                                                       |  |
| 3.3 Правила техники безопасности при работе с диэлектрическим сепарирующим устройством.....   |  |
| 3.4 Предложения по улучшению влияния предприятия на окружающую среду.....                     |  |
| 3.5 Физическая культура на производстве.....                                                  |  |
| 3.6 Экономическое обоснование конструкции.....                                                |  |
| 3.6.1 Расчёт массы и стоимости конструкции.....                                               |  |
| 3.6.2. Расчёт технико-экономических показателей эффективности конструкции и их сравнение..... |  |
| ВЫВОДЫ.....                                                                                   |  |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....                                                         |  |
| СПЕЦИФИКАЦИИ.....                                                                             |  |
| ПРИЛОЖЕНИЯ                                                                                    |  |

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие, в силу причин как положения в стране, так и развития техники и науки, активно изучается влияние различных электрофизических внешних воздействий на растения. Выявленные зависимости используют для получения высококачественных семян и управления развитием растений. Электрофизическое управление должно в будущем почти полностью заменить опасные для человека и природы химические методы их защиты от вредителей и болезней, ускорения роста и созревания, консервации семян и зерновой продукции. За последние годы разработаны эффективные электрофизические технологии отбора биологически чистых фракций семян, их обеззараживания без применения пестицидов, стимулирования всхожести, энергии прорастания и силы роста, экологически чистой консервации свежесобранного семенного материала, его сушки.

Предпосевная обработка и стимуляция семян применяется несколько десятков лет, что дает увеличение энергии прорастания и всхожести, ускорения пробуждения, созревания урожая, повышение сопротивляемости неблагоприятной окружающей среде.

Использование семян элиты и первого класса в настоящее время снизилось в России в 3 раза, а урожайность в 3-6 раз ниже биологического предела данного сорта.

Применение электрофизических методов стимуляции и обработки от вредителей дает в наших неблагоприятных условиях прибавку урожая.

Целью выпускной квалификационной работы является выделение из общей зерновой массы наиболее жизнеспособных, здоровых и однородных семян. Для чего разработана линия обработки семян зерновых культур способом диэлектрической сепарации с разработкой устройства диэлектрического сепаратора.

## 1 ЛИТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНЫЙ ОБЗОР

### 1.1 Патентный поиск по диэлектрическим сепарирующим устройствам

*Диэлектрический сепаратор (Патент № 1660750).*

Цель изобретения – повышение эффективности разделения семян хлопчатника и легучек хлопка – сырца.

На рисунке 1.1 изображен диэлектрический сепаратор, который включает загрузочный бункер 1, расположенный под ним с возможностью вращения

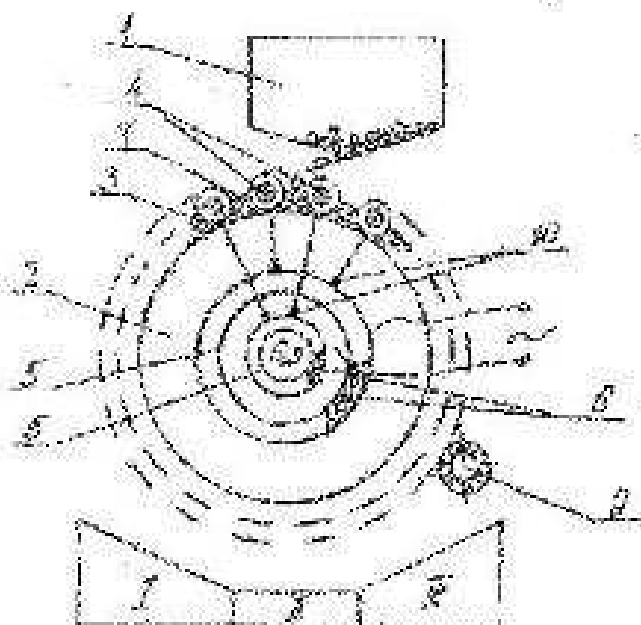


Рисунок 1.1 – Диэлектрический сепаратор

рабочий орган 2 в виде диэлектрического цилиндра 3 с электродами 4 чередующейся полярности в виде стержней, соединенных с источником высокого напряжения (не показан) посредством контактных колец 5 с диэлектрическими вставками 6 и размещенных в углублениях 7 на поверхности диэлектрического цилиндра 3 вдоль образующей, с образованием зазора между стержнями, приемники 8 продуктов разделения и очистную щетку 9.

Разнополярные выводы источника высокого напряжения соединены с электродами 4 посредством щеток 10 и неподвижных контактных колец 5, установленных в зоне размещения очистной щетки 9.

Диаметр стержней электродов 4 составляет 3-13 мм, а величина зазора между стержнями составляет 0,3-0,7 диаметра стержней.

Сепаратор работает следующим образом. Сепарируемый материал из бункера 1 поступает в зону действия неоднородного электрического поля электродов 4 чередующейся полярности вращающегося рабочего органа 2.

При этом частицы сепарируемого материала попадают в межэлектродный промежуток, поляризуются, и втягиваются в зазор между электродами 4.

Размещение электродов разной полярности на определенном расстоянии друг от друга позволяет улучшить процесс сепарирования частиц с разными физико-биологическими свойствами. Ввиду того, что диэлектрическая проницаемость сепарируемой частицы 11 больше диэлектрической проницаемости воздушного зазора между электродами 4, то происходит увеличение концентрации силовых линий электрического поля, пронизывающих эту частицу и замыкающихся на электродах 4 разной полярности. Вследствие этого происходит повышение напряженности поля, поляризующей частицу, и увеличение электрической силы, прижимающей ее к поверхности рабочего органа.

В зависимости от электрофизических свойств и массы в нижней части рабочего органа семена отрываются и попадают в разные приемники 8 продуктов разделения. Лепкие и мелкие частицы снимаются с помощью щеточного съемника 9, в зоне действия которого электроды 4 отличаются от источника высокого напряжения с помощью диэлектрических вставок 6 контактных колец 5.

Барабанный электросепаратор (*Патент № 2119828*) (рисунок 1.2)

Барабанный электросепаратор, включающий загрузочный бункер, расположенные под ним каскадно друг под другом по крайней мере два узла сепарации, каждый из которых состоит из установленного с возможностью вращения барабана и очистного приспособления, установленного с возможностью взаимодействия с барабаном, отсекатели и приемники продуктов разделения, отличающийся тем, что барабаны выполнены из

полупроводниковых материалов с проводимостью р- или n-типа и расположены в вертикальной плоскости с чередованием: барабан из материала р-типа проводимости - барабан из материала n-типа проводимости.

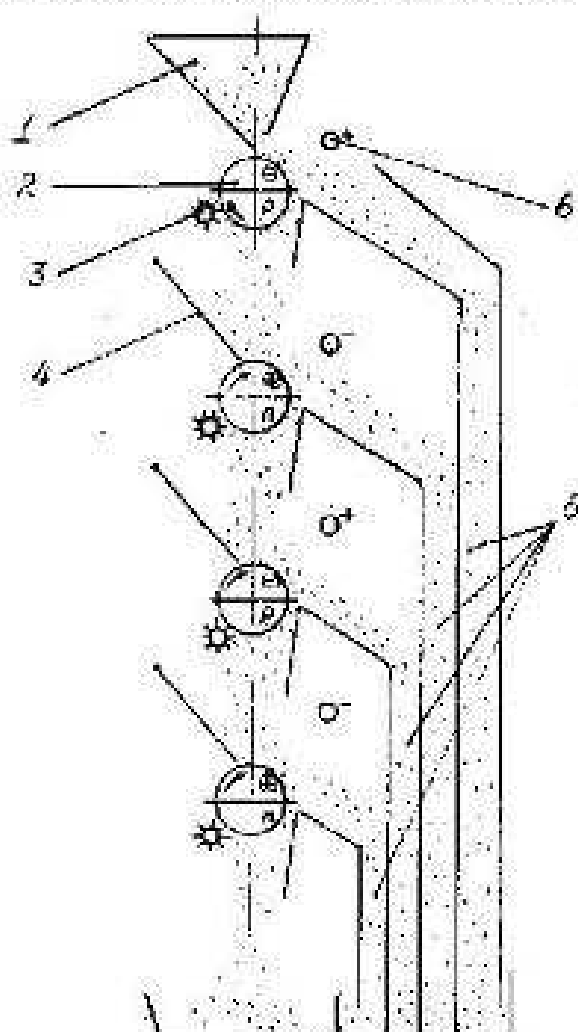


Рисунок 1.2 – Диэлектрический сепаратор

Магнитный сепаратор (*Патент № 2294243*) (рисунок 1.3) предназначен для очистки любой инертной мелкодисперсной среды от примесей сильномагнитных, слабомагнитных, парамагнитных и диамагнитных токопроводящих частиц и может быть использован для обогащения отходов руды в горнодобывающей промышленности, а также для очистки от магнитных примесей в пищевой промышленности. Позволяет препятствовать образованию магнитных флокул и обеспечивает качественное разделение свободных частиц и сrostков. Сепаратор содержит регулируемый вибробункер для подачи исходного материала, внешний



барабан, выполненный из диэлектрического материала в виде рабочего органа с фасонным профилем и возможностью фиксации его в разных положениях относительно магнитной системы. Магнитная система состоит из внешнего немагнитного барабана и внутреннего барабана из магнитного материала, на котором закреплены радиально расположенные с чередующейся полярностью ряды блоков постоянных магнитов.

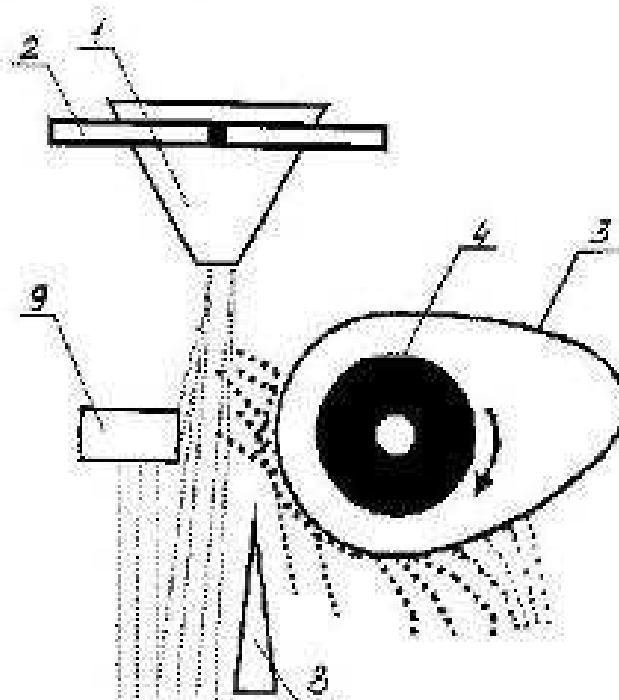


Рисунок 1.3 – Магнитный сепаратор

Сепаратор для сыпучих материалов (*Патент № 2252994*) (рисунок 1.4) Изобретение относится к сепарации сыпучих материалов в различных отраслях производства, где возникает необходимость разделения сыпучих материалов на фракции. Сепаратор для сыпучих материалов содержит бункер с питателем, сепарирующую камеру, вентилятор и воздуховоды. Сепарирующая камера выполнена из диэлектрического материала в форме прямоугольной вертикальной трубы, снабжена электродами, расположенными на ее внутренних противоположенных стенках, и у своего нижнего основания имеет герметически примыкающую систему воздушных патрубков, входящих во внутрь сепарирующей камеры, снабженных расщепляющими наконечниками и вентилями для регулирования скорости встречного потока воздуха в

межэлектродном пространстве и соединенных между собой герметизированными коническими сборниками, улавливающими фракции сепарируемого материала. Технический результат - повышение качества разделения сыпучих материалов и снижение эксплуатационных расходов на сепарацию.

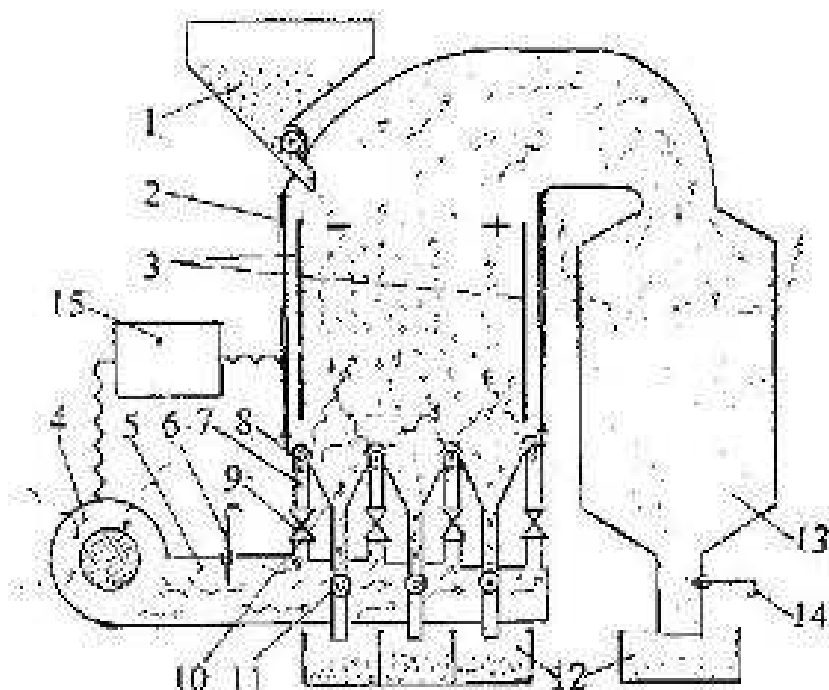


Рисунок 1.4 – Сепаратор для сыпучих материалов

Электродинамический сепаратор (Патент № [102 201](#)) (рисунок 1.5) для выделения электропроводных немагнитных материалов, включающий в себя расположенный под питателем с возможностью вращения рабочий орган в виде диска из диэлектрического материала, соосно установленного под ним индуктора бегущего магнитного поля, выполненного в виде быстроходного ротора с постоянными магнитами чередующейся полярности, и разгрузочный бункер, отличающийся тем, что сепаратор выполнен с возможностью саморазгрузки переработанного материала с дискового рабочего органа при его вращении, а постоянные магниты расположены по периферии быстроходного ротора. Сепаратор отличающийся тем, что отношение угловой скорости вращения ротора ( $\omega_1$ ) к угловой скорости вращения дискового рабочего органа ( $\omega_2$ ) находится в диапазоне  $\omega_1/\omega_2=30\div40$ . Сепаратор отличающийся тем, что по периферии ротора выполнены радиальные пазы для крепления магнитов.

Сепаратор отличающийся тем, что между питателем и рабочим диском находится кольцевой дозатор. Сепаратор отличающийся тем, что дисковый рабочий орган имеет гладкую поверхность и вращается со скоростью, позволяющей частицам материала перемещаться к его краям.

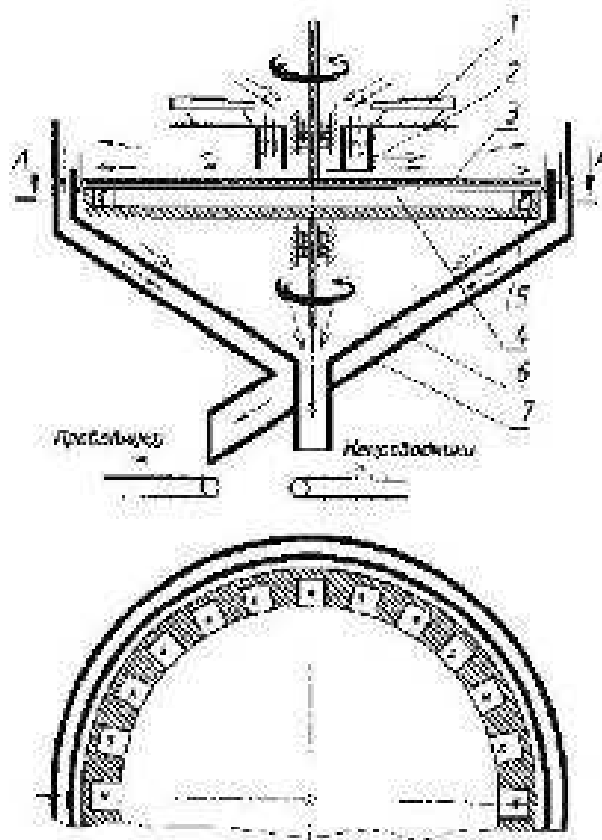


Рисунок 1.5 – Электродинамический сепаратор для выделения электропроводных немагнитных материалов

*Коронный электросепаратор (Патент № 2351399) (рисунок 1.6).*

Цель изобретения – разделение частиц, одинаковых по диэлектрическим свойствам и размерам, но различных по поверхностному сопротивлению.

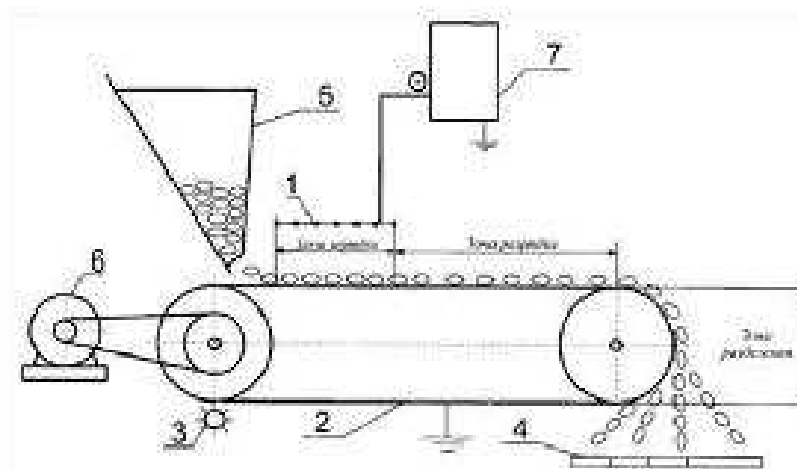


Рисунок 1.6 – Коронный электросепаратор

Коронный электросепаратор состоит из электродвигателя 6, загрузочного бункера 5, источника высокого напряжения 7, осадительного электрода 2, подвижного и изменяющего свои размеры коронирующего электрода 1, который ограничен зоной зарядки. Коронирующий электрод выполнен из двух параллельных друг другу телескопических направляющих, находящихся на подвижной рамке, между которыми натянуты тонкие проволоочки. Осадительный электрод 2, выполненный в виде ленточного транспортера из проводящего материала и вращающийся на двух заземленных металлических цилиндрах, классификатора 4, щетки для удаления налипших частиц 3.

Сепаратор работает следующим образом. При подаче напряжения на коронирующий электрод 1 возникает поле коронного разряда. Частицы из бункера 5 поступают в зону зарядки между коронирующим 1 и осадительным 2 электродами, в результате чего приобретают электрический заряд. После выхода из зоны зарядки частицы попадают в зону разрядки, где они разряжаются. Электрический заряд, полученный частицей в поле коронного разряда, стекает на электропроводящую ленту.

Частицы с разными параметрами будут по-разному заряжаться в зоне зарядки и разряжаться в зоне разрядки. Для получения необходимой разности в зарядах частиц требуется изменять продолжительность зон зарядки и разрядки. Коронирующий электрод выполнен из двух параллельных друг другу

телескопических направляющих, находящихся на подвижной рамке, между которыми натянуты тонкие проволоочки. При изменении зоны зарядки направляющие выдвигаются или задвигаются, при изменении зоны разрядки подвижная рамка передвигается на салазках. Для изменения зон зарядки и разрядки могут быть предложены другие конструкции коронирующего электрода. Основным условием должно быть то, что коронирующий электрод должен быть подвижным и иметь возможность изменять свои размеры.

Скорость разрядки зависит от контактного сопротивления «частица-электрод», определяется поверхностным сопротивлением частицы и электропроводностью транспортной ленты. Частицы с меньшим поверхностным сопротивлением разряжаются быстрее, чем с большим сопротивлением.

При выходе из зоны разрядки частицы попадают в зону разделения, где на них действуют сумма сил, которая и определяет угол отрыва частицы от электрода. В этой зоне на частицу действуют три силы: сила взаимодействия заряженной частицы с плоскостью ленты, сила тяжести и центробежная сила. Первая сила прижимает частицу к ленте, она зависит от величины заряда частицы, центробежная сила отталкивает ее, а сила тяжести в верхнем полуцилиндре прижимает ее к ленте, в нижнем – отрывает от него.

В зависимости от суммарного действия сил распределение частиц образует веер. Частицы с малым контактным сопротивлением успевают разрядиться до зоны разделения и отбрасываются силами инерции с поверхности ленты. Частицы с большим контактным сопротивлением несут на себе заряд, тем самым прижимаются к ней электрическими силами.

Остаточный заряд частиц определяет угол отрыва частицы от вращающегося электрода. Чем меньше электрическое сопротивление частиц, тем быстрее они отрываются от поверхности вращающегося электрода. В зависимости от остаточного заряда частицы распределяются по классам в приемном устройстве после отрыва от транспортной ленты.

Коронный электросепаратор позволяет проводить разделение соразмерных частиц с одинаковыми диэлектрическими свойствами за счет различий поверхностного сопротивления и тем самым сепарировать трудноразделимые смеси.

*Диэлектрический сепаратор (Патент № 2248247) (рисунок 1.7).*

Цель изобретения – повышение эффективности процесса сепарации семян, повышение полноты их разделения по всхожести, энергии прорастания, силе начального роста, выравненности по массе и размерам, увеличение диапазона размеров сепарируемых семян.

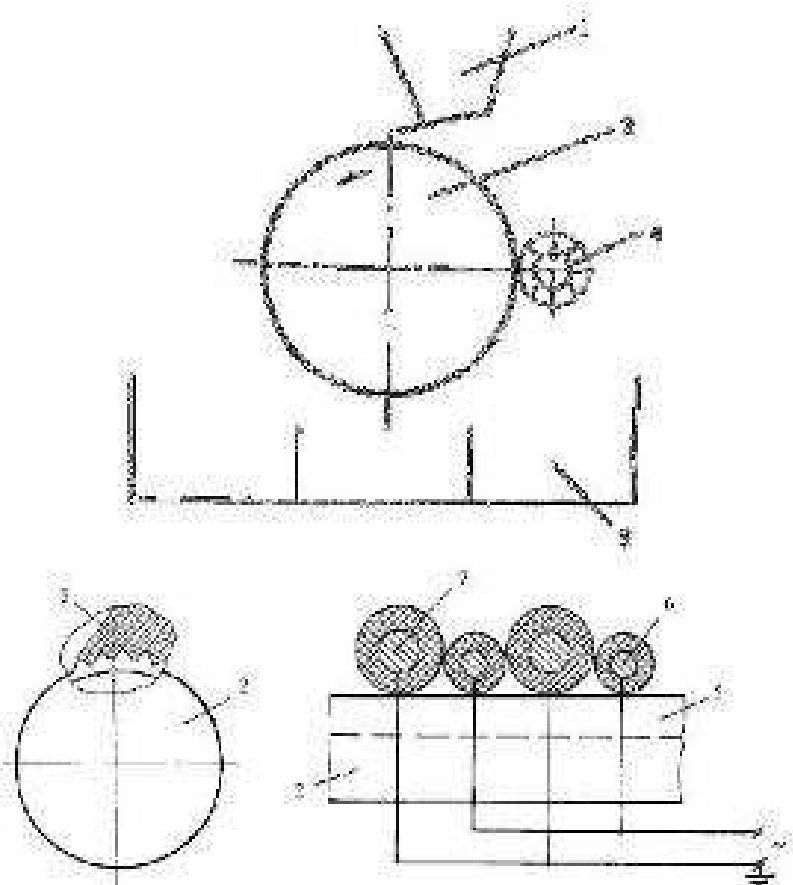


Рисунок 1.7 – Диэлектрический сепаратор

Сепаратор включает питатель 1, расположенный под питателем и снабженный приводом горизонтально установленный вращающийся барабан 2, выполненный из диэлектрического материала, уложенные на поверхности барабана в виде разомкнутой бифилярной обмотки и подключенные к

источнику высокого напряжения электроды чередующейся полярности, поверхность которых покрыта электронизоляционным материалом, очищающая щетка 4, а также приемники продуктов сепарации 3. На поверхности барабана дополнительно расположены вдоль образующей барабана выполненные из диэлектрического материала выступы 5 треугольной или трапециевидной формы высотой от 6 до 12 мм при диаметре барабана 250-340 мм. Электроды чередующейся полярности выполнены из проводов различных диаметров и уложены поперек диэлектрических выступов по их вершинам. Электроды меньшего диаметра 6 подключены к источнику высокого переменного напряжения, а электроды большего диаметра 7 – заземлены. Соотношение диаметров электродов выбрано равным  $(1,78-2,14):1$ . Горизонтально установленный вращающийся барабан имеет скорость своего вращения 8-34 об/мин, а подаваемое на электроды переменное напряжение составляет от 100 до 5000 вольт при частоте от 40 до 85 Гц.

Диэлектрический сепаратор работает следующим образом. На электроды чередующейся полярности подается переменное напряжение с параметрами от 100 до 5000 вольт при частоте от 40 до 85 Гц, которые используются от вида сепарируемых семян или семенной смеси. Скорость вращения барабана устанавливается от 8 до 34 об/мин. Семена или семенная смесь из питателя 1 поступает на поверхность горизонтально установленного вращающегося барабана 2 с выступами 5 и попадают в неоднородное электрическое поле, создаваемое электродами чередующейся полярности 6 и 7. При этом происходит поляризация семян и за счет взаимодействия электрических зарядов на поверхности семян и электрического поля обмотки возникает электрическая сила, притягивающая семена к поверхности обмотки рабочего органа. Степень поляризации семян и соответственно величина результирующей электрической силы зависят от качества семян (их плотности, зрелости и др.). При этом менее ценные семена поляризуются в большей степени, они сильнее притягиваются к поверхности обмотки рабочего органа и, перемещаясь вместе с вращающимся рабочим органом, попадают под очистную

щетки и сметаются в приемник отходов. Более качественные семена поляризуются в меньшей степени, величины результирующей электрической силы недостаточно для удержания их на поверхности обмотки рабочего органа и они падают в приемник качественных семян.

Экспериментальные лабораторные исследования предложенного диэлектрического сепаратора и последующие натурные испытания показали, что с использованием всех отличительных признаков предложенного технического решения достигнуто повышение эффективности процесса сепарации семян, полнота разделения семян по всхожести, энергии прорастания, силе начального роста, а также выравненность по массе и размерам увеличена на 12-16%. При этом одновременно было достигнуто увеличение диапазона размеров сепарируемых семян различных культур, что, в свою очередь, позволило расширить технологические возможности предложенного диэлектрического сепаратора. На предложенной конструкции диэлектрического сепаратора удалось повысить величину результирующей силы взаимодействия электродов с сепарируемыми семенами при одновременном снижении напряжения питания на электродах. При этом получено повышение качества очистки сепарируемых семян от семян сорных растений.

Укладка электродов чередующейся полярности с различными диаметрами на вершины выступов треугольной или трапециевидной формы позволяет снизить потери потоков вектора электрической индукции через основание рабочего органа и увеличить напряженность электрического поля в рабочей зоне сепарации, что, в свою очередь, позволяет улучшить поляризацию сепарируемых семян и соответственно повысить четкость и качество разделения семенной смеси. Кроме того, увеличение напряженности электрического поля в рабочей зоне сепарации позволяет увеличить диапазон сепарируемых семян по их крупности, а также снизить напряжение питания на электродах при сепарации более мелких семян.

*Диэлектрический сепаратор (Патент № 1634319) (рисунок 1.8).*



Цель изобретения – повышение качества разделения и надежности в работе устройства.

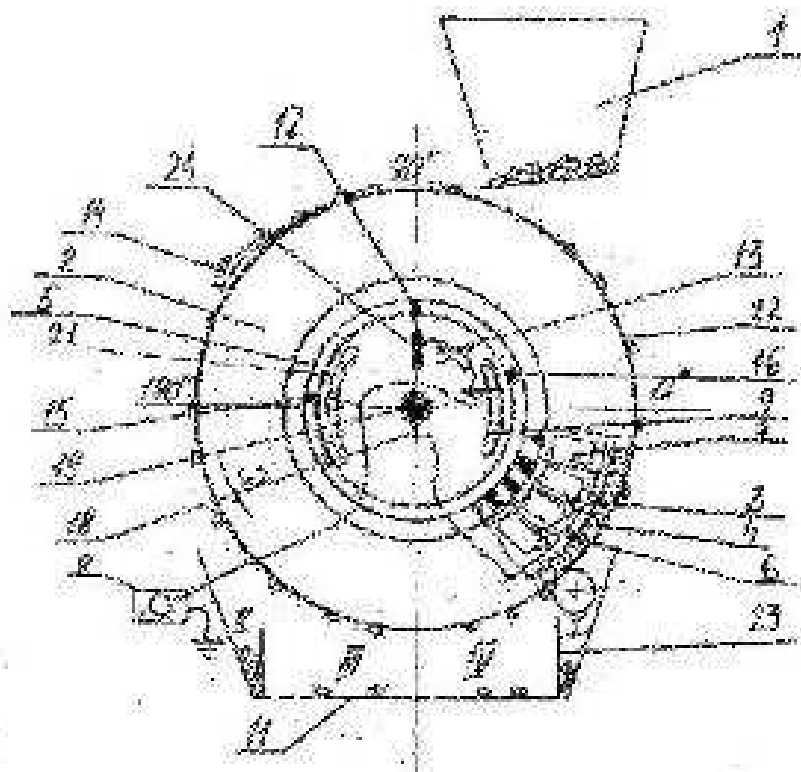


Рисунок 1.8 – Диэлектрический сепаратор

Диэлектрический сепаратор включает загрузочный (питающий) бункер 1, расположенный под ним рабочий орган в виде установленного с возможностью вращения цилиндрического барабана 2 с электродами 3 и 4 чередующейся полярности, установленными на барабане 2 вдоль образующей его поверхности. Электроды 3 одной из полярностей объединены и заземлены. Соосно барабану 2 установлен составной коллектор 5 с отводами 6, подсоединенными к потенциальным электродам 4 и соединенными между собой посредством сопротивления 7. Сепаратор включает источник 8 высокого напряжения, один вывод которого заземлен, а другой подсоединен к коллектору 5 с отводами 6 посредством контактного приспособления 9, очистную щетку 10 и приемники 11 продуктов разделения.

Кроме того, сепаратор снабжен дополнительной щеткой 12, установленной с возможностью взаимодействия с составным коллектором 5 в

его верхней точке и заземленной посредством переменного сопротивления 13, и приспособлением 14 для перегрузки семян, установленным над барабаном 2 во втором по ходу вращения барабана 2 квадранте (90-180°). Составной коллектор 5 закреплен на торце барабана с возможностью совместного с ним вращения. Питающий бункер 1 установлен с возможностью перемещения относительно поверхность барабана в зоне первого по ходу вращения барабана 2 квадранта (0-90°). Контактное приспособление 9 выполнено в виде двух щеток 15 и 16. Щетка 15 установлена в зоне между вторым и третьим по ходу вращения барабана 2 квадрантами (зона низкой чувствительности), а щетка 16 установлена в зоне между четвертым и пятым по ходу вращения барабана 2 квадрантами. Дополнительная щетка 12 установлена с возможностью вертикального перемещения, а щетки 15 и 16 контактного приспособления 9 установлены с возможностью углового перемещения относительно оси вращения барабана 2. Приспособление 14 для перегрузки семян выполнено из упругого диэлектрического материала, например из полиэтиленовой пленки низкого давления.

Сепаратор работает следующим образом. В зависимости от выполняемой операции возможны два режима работ сепаратора: двукратная очистка и однократное сортирование за один пропуск семени через сепаратор и однократное сортирование, последний режим работы предпочтителен только в случаях, когда обрабатываемая партия семян чистая от примесей и требуется только сортировать по электрофизическим свойствам. В этом режиме производительность в 3-5 раз выше, чем в другом режиме.

*Диэлектрический сепаратор (Патент № 1688924) (рисунок 1.9).*

Цель изобретения – повышение производительности сепаратора за счет исключения эффекта «кипящего слоя» в зоне подачи разделяемой смеси.

Диэлектрический сепаратор включает питатель 1 с лотком 2 и заслонкой 3, расположенный под ним с возможностью вращения рабочий орган 4 роторного типа с системой электродов чередующейся полярности, подключенные к источнику высокого напряжения, очищающую щетку 5,

приспособление 6 для ограничения потока частиц на поверхность рабочего органа 4, установленное над поверхностью рабочего органа 4 в зоне подачи разделяемой смеси за питателем 1 по ходу вращения рабочего органа 4, выполненное подпружиненным пружиной 7 и контактирующим с поверхностью рабочего органа 4, и приемники 8 продуктов разделения расположенные под рабочим органом 4.

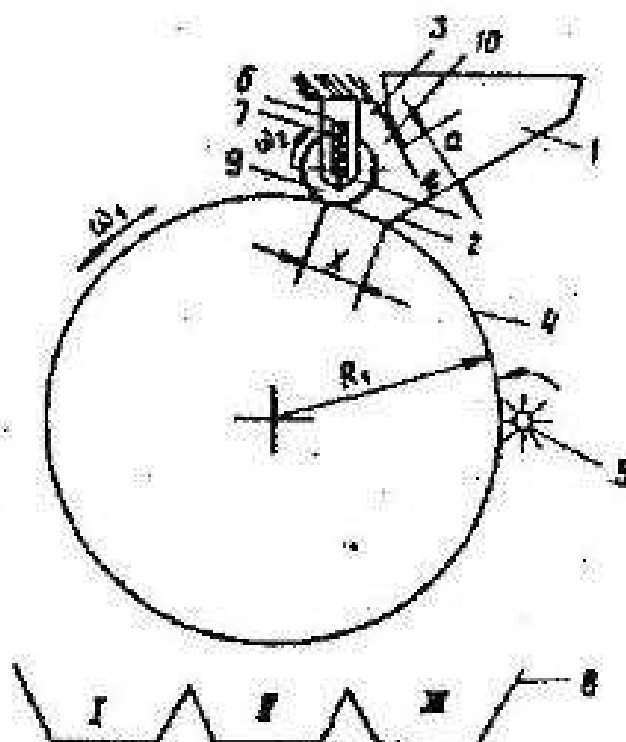


Рисунок 1.9 – Диэлектрический сепаратор

Приспособление 6 для ограничения потока частиц на поверхность рабочего органа 4 выполнено в виде цилиндрического валика 9 из эластичного диэлектрического материала, установленного вдоль образующей поверхности рабочего органа 4 на расстоянии  $x$  от линии его контакта с поверхностью рабочего органа 4 до линии схода разделяемой смеси с лотка 2 питателя 1 не более величины  $a$  полного открытия заслонки 3 питателя, причем радиус  $R_2$  валика 9 составляет не менее данного расстояния  $x$ . Для фиксации заслонки 3 в необходимом положении она снабжена стопорным винтом 10.

Разделяемая смесь из питателя 1 по лотку 2 поступает на поверхность рабочего органа 4 и прижимается к ней валиком 9. При этом независимо от вида семян и их линейной скорости на выходе с лотка 2 питателя 1 происходит выравнивание линейных скоростей рабочего органа 4 и разделяемых семян вследствие равенства линейных скоростей рабочего органа 4 и валика 9 и принудительного прижатия сепарируемого материала валиком 9 к рабочему органу 4. Далее под действием сил электрического поля, центробежной силы и силы тяжести происходит разделение семян. Более крупные и выполненные семена попадают во фракцию I приемника 8, более мелкие – во фракцию II, а мелкий сор сметается щеткой 5 во фракцию III.

## **1.2 Выводы по разделу**

Проведенный анализ существующих конструкций указывает на перспективность разработки новых рабочих органов и технических средств для повышения эффективности разделения семян.

Для нашей разработки за основу принимаем патент № 1688924, который отличается повышенной производительностью сепаратора за счет исключения эффекта «кипящего слоя» в зоне подачи разделяемой смеси.

# **2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

## **2.1 Технология подготовки семян**

Формирование семенного материала складывается из правильного севооборота, подготовки почвы, ухода за сельскохозяйственными растениями, семенами, их обработки и хранения.

Одним из важных этапов в получении высокого урожая сельскохозяйственных культурных растений является производство качественного семенного материала. Традиционно подготовка семян складывается из предварительной, первичной и вторичной очисток, калибровки, просушивания до номинальной влажности 14-16%,

протравливания. Последним этапом по улучшению посевных качеств являются различные виды стимуляции исходного материала. Разновидность предпосевной обработки и стимуляции семян можно представить в виде следующей классификации (рис. 2.1).

Очистка – это разделение (сепарация) зерновой смеси на отдельные фракции, различающиеся по каким-либо физико-механическим свойствам (размеру, плотности и др.). Очистка может быть предварительная, первичная и вторичная [6].

Предварительную очистку используют для свежесобранного зерна влажностью до 35 %. При этом в очищенном зерне снижается содержание наиболее крупных и мелких примесей (с 15...20 до 3 %), удаляется часть избыточной влаги, увеличивается его сыпучесть, облегчаются последующие процессы (особенно сушка), повышается устойчивость зерна к самосогреванию при временном хранении в насыпи.

Первичной очистке подвергают свежесобранное зерно влажностью не более 22 % или предварительно обработанное и высушенное зерно влажностью не более 18 %. При этом из зерна выделяются крупные, легкие и мелкие примеси, дробленое и щуплое зерно; содержание примесей в зерне снижается с 8...10 до 1...3 %. Исходный зерновой ворох разделяется на три фракции: очищенное зерно, фуражные отходы и примеси.

Вторичная очистка способствует выделению из зерна близких к нему по размерам примесей, трудноотделимых семян сорняков. В результате исходный зерновой ворох разделяется на семенную фракцию, зерно второго сорта, легкие, мелкие и крупные примеси.

Продовольственное и фуражное зерно подвергают в основном предварительной и первичной очистке, а семенное – еще и вторичной.

При предварительной очистке потери зерна в отходах должны быть не более 0,05%, дробление – 0,1%, а полнота выделения сорной примеси – не ниже 50%. При первичной очистке потери полноценного зерна должны быть не более 1,5% в фуражных отходах и 0,05% в примесях, дробление – не более 1%,

полнота выделения сорных примесей – не ниже 60%. При вторичной очистке потери семян основной культуры в отходах должны быть не более 7%, дробление - не более 0,8%. Вторичная очистка должна обеспечить подготовку семян II и I классов посевного стандарта, при которых чистота семян составляет соответственно 98 и 99%, а всхожесть – 90 и 95%.

Очистка и сортирование зерновых смесей основаны на их разделении по геометрическим параметрам, аэродинамическим свойствам, форме и состоянию поверхности, плотности, электропроводности, цвету и др.

*Разделение по геометрическим размерам.* Зерно разделяют по размерам (толщине, ширине и длине) на решетках и роликовых поверхностях. Толщиной считается наименьший, длиной – наибольший и шириной – средний размеры.

По ширине зерна разделяют на решетках с круглыми отверстиями и на роликовых поверхностях. Частицы, меньшие по ширине, чем размер отверстий, проходят сквозь них, а крупные сходят с решет. Все, что проходит сквозь отверстия, называют проходом, а что идет поверх решет – сходом.

Эффективное разделение по ширине на решетках с круглыми отверстиями возможно в том случае, если зерно (частицы) расположатся продольной осью перпендикулярно к поверхности решета. Для этого решету необходимо сообщить вертикальные колебания. В тех случаях, когда длина частиц не превышает ширину более чем в 2 раза, семена хорошо разделяются и на решетках с горизонтальными колебаниями.

По толщине материал разделяют на решетках с продолговатыми отверстиями и на ленточных поверхностях. Частица должна повернуться на ребро и расположиться вдоль отверстия. Это требование обеспечивается при горизонтальных колебаниях решет.

По длине частицы разделяют на яченстых триерах и решетках с круглыми отверстиями. Триер представляет собой барабан 4, на внутренней поверхности которого нанесены ячейки, лоток 5 и шнек 3. Барабан вращается относительно оси О. Смесь, засыпанная внутрь барабана, попадает в ячейки и увлекается ими. Длинные частицы не захватываются ячейками, короткие - западают в

ячейки, поднимаются и сбрасываются в лоток, а затем выводятся шнеком из барабана.

Для сортирования по длине над решетом с круглыми отверстиями устанавливают глухую пластину с зазором. Последний принимают больше максимальной ширины частиц, которые не могут стать длинной осью перпендикулярно к поверхности решета, поэтому они не просыпаются по ширине, а пройдут только те, у которых длина меньше диаметра отверстия. Длинные частицы смеси идут с решета сходом. Роликовые устройства наряду с шириной и толщиной разделяют смесь и по длине.

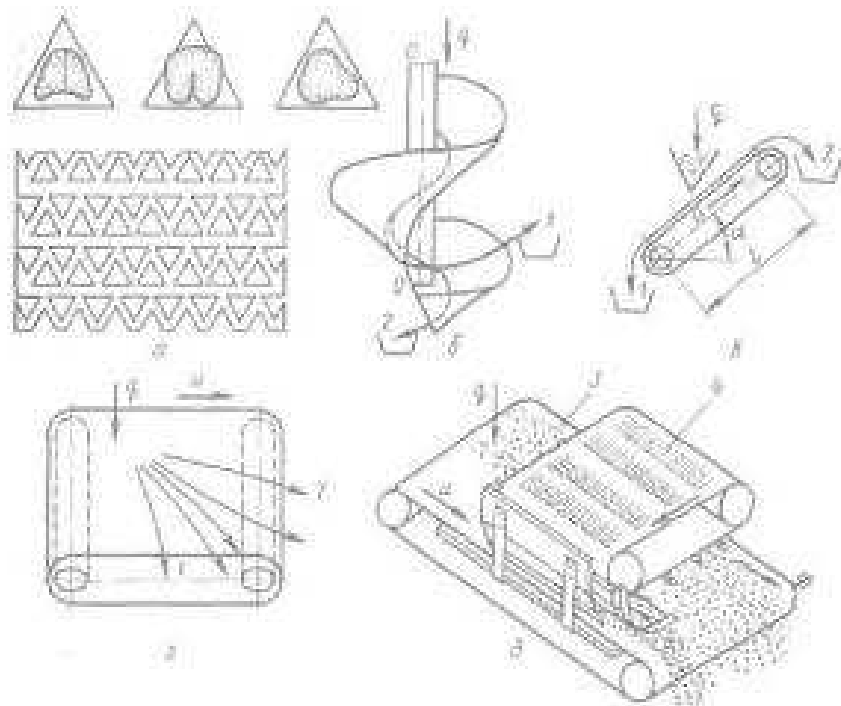
*Разделение по аэродинамическим свойствам.* Частицы делятся по парусности как в нагнетательном, так и во всасывающем воздушном потоке.

При нагнетательном воздушном потоке частица занимает различные положения в зависимости от ее аэродинамических свойств (парусности) и массы. Более тяжелые частицы и с малым сопротивлением воздушному потоку поступают в один лоток и легкие – в другой.

Всасывающий воздушный поток воздействует на частицы более продолжительно, чем нагнетательный, поэтому разделение массы происходит эффективнее [6].

*Разделение по форме и состоянию поверхности.* Различия в свойствах поверхности материалов широко используется при очистке и сортировании зерновых смесей.

На решетках с треугольными отверстиями (рис. 2.1, а) смеси разделяются по форме (например, пшеница и гречиха, тимофеевка и шавель мелкий).



а – решета с треугольными отверстиями; б – винтовые сепараторы; в – продольные горки; г – поперечные горки; д – транспортно-ленточные сепараторы; 1 и 2 – лотки выхода округлых и плоских частиц; 3 – ленточный продольный транспортер; 4 – поперечные транспортеры с лентами

Рисунок 2.1 – Схема устройств, разделяющих материал по форме поверхности

На винтовых сепараторах-змейках (рис. 2.1, б) округлые зерна и примеси, поступающие на винтовую поверхность, движутся по ней по-разному. Округлые зерна, перекатываясь, получают большую скорость, а следовательно, и высокую центробежную силу. Они выбрасываются через край поверхности в лоток 1. Более плоские частицы меньше отходят от оси  $OO$  и сходят в лоток 2. Змейки применяют для разделения вико-овсяной смеси и гороха из овса.

На горках с продольным и поперечным движением полотна (рис. 2.1, в, г) смеси разделяются по форме с учетом шероховатости их поверхности. Гладкие частицы с округлой формой скатываются вниз в лоток 1, а более плоские шероховатые увлекаются полотном и ссыпаются в лоток 2. На продольных горках очищают семена свеклы. Горки с поперечным движением полотна используют для выделения семян повилки из семян льна и клевера.

На транспортно-ленточных сепараторах (рис. 2.1, д) выделяют из семян льна трудноотделимые сорняки (клевер, подорожник, повилка и др.). Транспортер 3 перемещает слой в одно зерно в продольном направлении, а

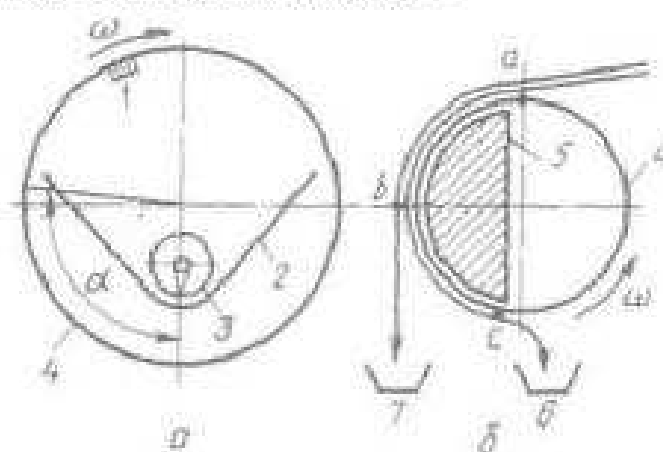


поперечные транспортеры 4 с нитями выметают шероховатые и округлые частицы сорняков из семян льна. На разделение влияет также электростатическое поле, образованное трением нитей о ленточный транспортер.

На триерах с ворсистой поверхностью (рис. 2.1, а) выделяются семена овсянга из овса и пшеницы из-за шероховатости их поверхности. Цепкие семена овсянга застревают вверх ворсистой поверхностью вращающегося цилиндра 4. Щетка 1, поставленная неподвижно внутри цилиндра, сбрасывает их в желоб 2, откуда шнек 3 выводит зерна наружу. Гладкие семена идут сходом из цилиндра. По такому же принципу работают вальцовые горки с внешней рабочей поверхностью [20].

В магнитных сепараторах (рис. 2.1, б) шероховатые семена некоторых культур обволакиваются металлическим порошком. Смесь зерна с металлическим порошком подается на цилиндр 4. Часть цилиндра находится под действием магнитного поля.

В магнитных сепараторах (рис. 2.1, б) шероховатые семена некоторых культур обволакиваются металлическим порошком. Смесь зерна с металлическим порошком подается на цилиндр 4.



- а — триер с ворсистой поверхностью, б — магнитный сепаратор;  
 1 — щетка, 2 — желоб, 3 — шнек, 4 — цилиндры, 5 — магнит, 6 — лоток для частиц, удерживающих порошок, 7 — лоток для гладких семян

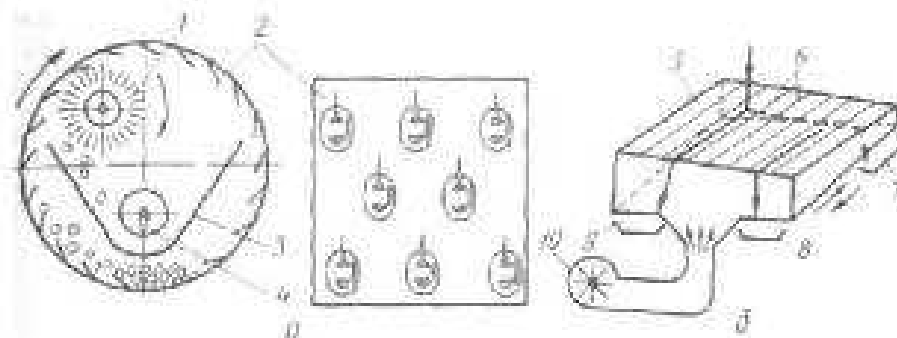
Рисунок 2.2. – Схемы устройств, разделяющих зерновые смеси по состоянию поверхности

В магнитных сепараторах (рис. 2.2, б) шероховатые семена некоторых культур обволакиваются металлическим порошком. Смесь зерна с металлическим порошком подается на цилиндр 4. Часть цилиндра находится под действием магнитного поля. Шероховатые семена (повитика, плевел, подорожник и др.) и поврежденные с приставшим порошком удерживаются на большей дуге цилиндра, чем гладкие, поэтому они поступают в лоток 6, а гладкие (клевер, лен) – в лоток 7.

При использовании металлических порошков требуются дополнительные затраты, а также ухудшаются условия труда [6].

#### *Разделение по плотности.*

Игольчатый барабан (рис. 2.3, а) выделяет из здоровых семян гороха зерна, пораженные бруксусом. У последних меньшая плотность, чем у здоровых семян. На внутренней поверхности барабана в шахматном порядке закреплены иглы. Барабан вращается, накалывает на иглы поврежденные зерна и поднимает их. В верхней части установлена металлическая щетка 1, посредством которой поврежденные зерна снимаются с игл и сбрасываются в лоток 3, а оттуда шнеком 4 выводятся наружу.



а – игольчатый барабан, б – пневматический сортировальный стол, 1 – щетка, 2 – корпус барабана, 3 – лоток, 4 – шнек, 5 – дека, 6 – рифы деки, 7, 8 и 9 – лотки соответственно для легких семян, семян со средней и большей плотностью, 10 – вентилятор

Рисунок 2.3 – Схемы устройств, разделяющих материал по плотности массы и удельному весу

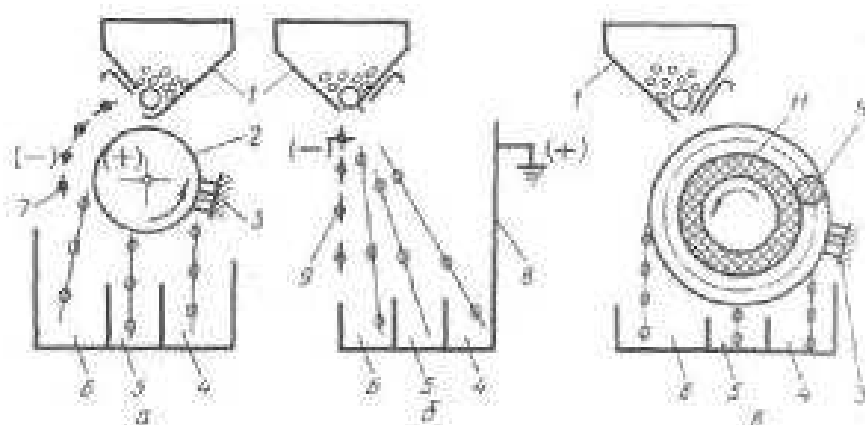
Пневматические сортировальные столы (рис. 2.3, б) очищают и разделяют семена по комплексу свойств, в основном по плотности (семена с наиболее полной физиологической зрелостью), форме и длине.

Зерновой материал поступает на решетчатую деку 5, которой сообщаются поперечные или продольные колебания. Деку, выполненную с рифами 6 или без них, устанавливают с наклоном вдоль и поперек колебаний. Слой зерна, поступившего на деку, продувается снизу воздушной струей от вентилятора 10.

Под действием колебаний и воздушного потока зерновой материал располагается слоями: тяжелые частицы – внизу, легкие – сверху. Первые двигаются под действием колебаний деки и сходят в лоток 9, а вторые «всплывают» поверх слоя и ссыпаются в лоток 7 вследствие наклона и колебаний деки. Зерна со средней плотностью поступают в лоток 8 [20].

*Разделение по электропроводности.* Такое разделение основано на различии электропроводности, диэлектрической проницаемости и других электрических свойств компонентов разделяемых смесей. Используют электростатический, коронный и диэлектрический методы.

Электростатическое разделение происходит так: материал поступает из бункера 1 (рис. 2.4, а) на вращающийся барабан 2 с положительным зарядом.



а – в статическом поле, б – в поле коронного разряда, в – по диэлектрической проницаемости; 1 – бункера; 2 – барабан; 3 – щетки; 4, 5, 6 – лотки; 7 – отрицательно заряженный электрод; 8 и 9 – коронирующий и перфорированный электроды; 10 – бифилярная обмотка; 11 – изолятор

Рисунок 2.4 – Схемы устройства для разделения материала по электрическим свойствам

Частица заряжается, соприкасаясь с поверхностью барабана. Заряд

зависит от ее электропроводности. Далее на поток материала воздействует электростатическое поле, образованное барабаном 2 и отрицательно заряженным электродом 7.

Частицы с большей электропроводностью поступают в приемный лоток 6, а с меньшей – в лоток 5. С барабана частицы счищаются щеткой 3.

Разделение в поле коронного разряда протекает следующим образом. Между коронирующим 8 (рис. 2.4, б) и перфорированным 9 электродами при высоком напряжении возникает электрический разряд, ионизирующий воздух. Частицы, поступающие в ионизированную среду, получают различный заряд и отклоняются на разный угол: частицы с меньшей электропроводностью поступают в приемный лоток 6, а с большей – в лотки 4 и 5 [6].

Диэлектрический метод разделения применяют для зерновых смесей. Вращающийся барабан представляет собой изолятор 11 (рис. 2.4, б), на который намотаны в один слой перпендикулярно к его оси вращения два изолированных проводника с чередующейся полярностью (бифилярная обмотка 10). Между ними образуется электрическое поле, поляризующее расположенные между ними частицы. Последние взаимодействуют с внешним полем и притягиваются к барабану. Сила взаимодействия зависит от диэлектрической проницаемости частиц. При меньшей проницаемости частица раньше отрывается от поверхности барабана, а при большей – позже. Первые поступают в лоток 6, а вторые – в лотки 4 и 5.

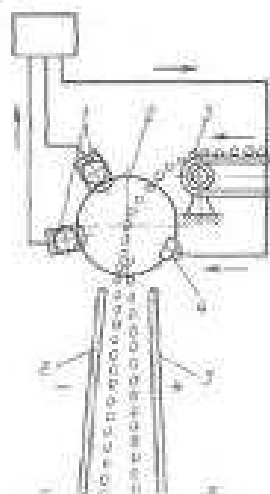
Электрическими методами можно очистить зерновой материал от проросших примесей и дефектных семян, выделить из пшеницы куколь, овсюг.

Устройства, в которых используют электростатическое и коронное поля, сложнее сепараторов с бифилярной обмоткой, и для их питания требуется более высокое (в 3...7 раз) напряжение (30...70 кВ).

*Разделение по цвету.* Такое разделение основано на использовании фотоэлементов. Частицы поступают в специальный оптический круг 2 (рис. 2.5), где отраженным светом действуют на фотоэлементы 1, возбуждая в них электрический ток. В зависимости от цвета частиц в фотоэлементах сила тока

различна. Фотоэлементы посылают импульс заряда на электрод 4. Последний заряжает частицы темного цвета положительным зарядом, которые затем проходят между дефлекторами 5 и 8, отклоняются от положительного дефлектора 5 и поступают в приемник 7. Светлые частицы направляются в приемник 6.

Фотоэлектрическим способом разделяют по цвету семена фасоли, сои и других зернобобовых культур [20].



1 – фотоэлементы, 2 – оптический круг, 3 – транспортер, 4 – заряжающий электрод, 5 и 8 – дефлекторы, 6 и 7 – приемники

Рисунок 2.5 – Схема фотоэлектрического аппарата, разделяющего частицы по цвету

#### *Использование магнитного поля для очистки семян*

Магнитное поле используют для очистки семян культурных растений от семян сорняков, имеющих шероховатую поверхность. Перед очисткой зерновую смесь обрабатывают магнитным порошком. Шероховатая поверхность семян сорняков легко покрывается магнитным порошком. Гладкая поверхность культурных растений не удерживает частицы магнитного порошка. Обработанная магнитным порошком зерновая смесь 3 (рис. 2.6) подается на поверхность вращающегося барабана 2, изготовленного из немагнитного материала. Внутри барабана расположен мощный электромагнит 1, наружная поверхность полюса которого занимает примерно половину внутренней поверхности барабана. Покрытые порошком семена сорняков удерживаются магнитным полем электромагнита на поверхности барабана и подают в бункер

5, расположенный под барабаном. Семена культурных растений соскальзывают с барабана гораздо раньше и попадают в бункер 4.

Стоимость обработки зернового материала данным способом немного дороже, чем обработка на барабанной и камерной зерноочистительных машинах, за счет магнитного порошка.

Описанный принцип действия используется в электромагнитных семяочистительных машинах ЭМС-1А, СМЩ-0,4, предназначенных для очистки гладких семян многолетних трав, технических культур и проса от трудноотделимых семян сорняков, повилики, смолевки, шивелы, василька и др. Преимущества данных машин в том, что железные частицы, часто встречающиеся в кормах, притягиваются к полюсам магнитов, и таким образом отделяются от кормов [7].

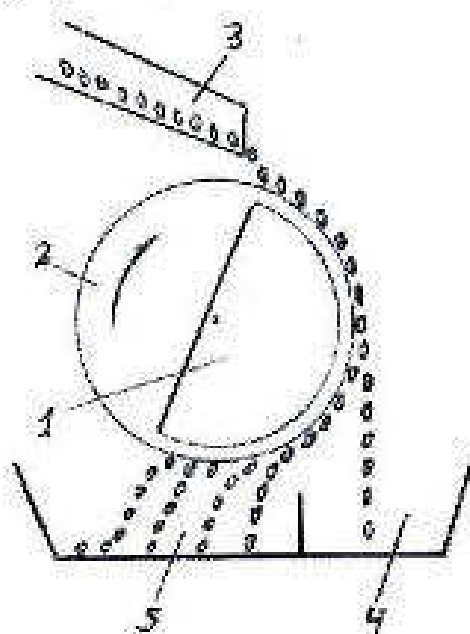


Рисунок 2.6 – Схема устройства электромагнитной семяочистительной машины

### *Диэлектрическая сепарация*

Сущность диэлектрического принципа сепарирования семян сельскохозяйственных культур основывается на различии пондеромоторных поляризационных сил, действующих на семена при их помещении в неоднородное электрическое поле, которое создается системой разноименно

заряженных электродов. При этом частицы с разной диэлектрической проницаемостью движутся по разным траекториям.

Основанные на этом принципе устройства можно использовать для очистки, сортирования и калибрования семян.

Общий элемент всех диэлектрических сепарирующих устройств – рабочие органы, которые формируют неоднородные электрические поля. Благодаря избирательному воздействию таких полей на сепарирующие частицы можно отбирать биологически наиболее ценные семена и очищать основную культуру от трудноотделимых и карантинных семян сорных растений.

В диэлектрических сепарирующих устройствах реализуется принцип суперпозиции сил разной физической природы, что позволяет разделять семена по совокупности физико-механических и химико-физических свойств, то есть отбирать биологически ценные семена, обеспечивающие большую продуктивность растений. На устройствах, в которых используется принцип разделения семян только по их физико-механическим свойствам, этого сделать практически невозможно.

Применение диэлектрических сепараторов позволяет:

- Отбирать биологически ценные высокопродуктивные семена различных сельскохозяйственных культур;
- Снижать норму высева и сберегать отобранные на сепараторах менее продуктивные семена;
- Поддерживать высокие сортовые свойства сельскохозяйственных культур путем отделения аномальных семян, нехарактерных для конкретного сорта;
- Исключать травмирование посевного материала благодаря тому, что электроды не имеют острых углов и покрыты упругой изоляцией;
- Выполнять одновременно несколько функций (наряду с отбором биологически ценных семян) – активировать семена электромагнитным полем, частично очищать поверхность от микроорганизмов, отделять насекомых, травмирующих и поедающих семена;

- Получать однородный материал с практически непрерывным спектром значений массы, плотности и других показателей качества семян и зерна путем плавного изменения напряжения на рабочих органах.

Напряжение на рабочих органах диэлектрических сепараторов составляет лишь 0,7...2 кВ.

Диэлектрические сепараторы энергоскономичны. Удельный расход энергии у них на два порядка меньше, чем у механических. Для диэлектрических сепараторов не требуется специального оборудования, источников питания и выпрямительных устройств. Они надежно работают на переменном токе промышленной частоты.

Следует отметить, что диэлектрические сепараторы обладают высокой универсальностью, т.е. на них можно разделять семена различных культур (овощных, зерновых, технических, кормовых трав), морфологические и механические свойства которых неодинаковы.

Таким образом, диэлектрическую сепарацию используют для выделения из общей зерновой массы наиболее жизнеспособных, здоровых и однородных семян. Она обеспечивает выравнивание семян не только по физико-механическим, но и биологическим, посевным и физиологическим свойствам. Это обеспечивает дружность всходов, одинаковую динамику развития растений, одновременность формирования и созревания урожая.

## **2.2 Описание работы линии подготовки зерна**

Важнейшими роста эффективности зерна в любых поточных линиях являются рост эффективности отдельных технологических операций и выбор рационального числа операций и их последовательности в технологическом процессе сепарации с минимальным количеством принудительного транспортирования зерна. Объединение машин в поточную линию и их автоматизация позволяют повысить производительность труда в 7...10 раз и снизить себестоимость обработки зерна в 2...3 раза по сравнению с



использованием этих же машин в разрозненном виде [2].

Поэтому, исходя из обзора литературы, нами предлагается линия по подготовке семян, основными рабочими составляющими которой являются для первичной (и при необходимости, вторичной) очистки – воздушно-решетная машина, состоящая из решетной части и двух пневмоканалов. Проектируемая линия представлена в виде блок-схемы на рисунке 3.1 и технологической схемы на рисунке 2.8.

Из ямы (рис. 2.8) зерно подается с помощью норки 2 в зерноочистительную машину 3, в которой используется разомкнутая воздушная система, т.к. она использует для очистки всегда свежий воздух. На машине установлено два независимых пневмосепаратора. Каждый имеет свою осадочную камеру, циклон 4 и свой вентилятор. Такая схема позволяет выделить часть легких примесей до решетки, для облегчения их работы, а оставшуюся часть легких примесей выделить на выходе из решетки.

Зерно в первом пневмосепарирующем канале очищается от легких примесей и поступает на решетный стан, где из зерна выделяются крупные и мелкие примеси, а при необходимости и мелкое зерно.



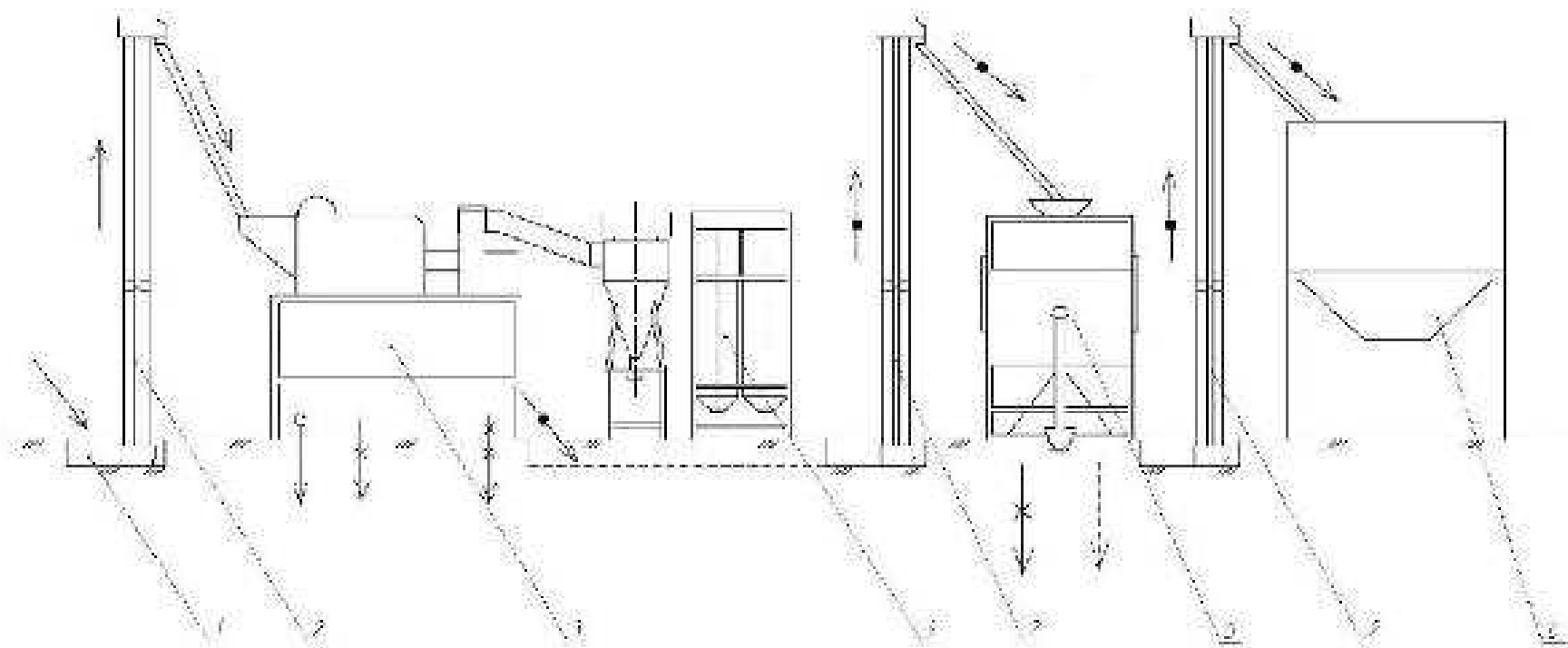
Рисунок 2.7 - Блок-схема линии обработки семян

Зерно, очищенное на решетках от крупных и мелких примесей, на выходе

из секций дополнительно продувается воздушным потоком и из него выделяются оставшиеся мелкие примеси. Воздух с примесями от пневмосепарирующих каналов по воздуховодам направляется в горизонтальные циклоны, в которых осаждаются легкие примеси, выделенные из зерна. Легкие примеси выводятся из циклонов через шишозовые затворы в накопительный бункер для примесей.

Зерно после очистки подается норней на диэлектрическое сепарирующее устройство 5, и к норни 2, которая поднимает зерно в накопительный бункер 6.

Применение диэлектрического метода разделения обеспечивает отбор высококачественных семян с лучшими посевными свойствами и более развитым зародышем, выровненных по морфологическим, механическим и физиологическим признакам и свойствам. В сравнении с существующими методами электросепарирования обеспечивает появление более ранних и дружных всходов (на 3...4 суток), более ровную динамику развития растений и ускоренное созревание урожая (на 4...7 сут).



—> *Тяжелые семена*      —x—> *Мелкие примеси*      - - - -> *Обломки*  
 ○—> *Легкие примеси*      X X —> *Крупные примеси*      —■—> *Поврежденные зерна*

Рисунок 2.8 – Технологическая схема подготовки семян.

1 – яма; 2 – ворон; 3 – зерноочистительная машина; 4 – циклон; 5 – диэлектрический сепаратор; 6 – бункер

## 2.3 Расчет производительности линии

В предприятии предполагается обрабатывать предложенным способом 150 тонн семян зерновых культур. Ориентировочно обработка должна длиться с середины и до конца апреля, то есть полмесяца.

При работе в одну смену при пятидневной рабочей неделе и восьмичасовом рабочем дне это составит 10 дней или 80 ч.

На основе выбранного технологического процесса произведем подбор технологического оборудования.

Определяем часовую производительность [18]:

$$Q_{\text{ч}} = K_{\text{см}} \frac{G}{T}, \text{ т/ч}, \quad (2.1)$$

где  $K_{\text{см}}$  – коэффициент использования времени смены,  $K_{\text{см}} = 0,94$  [18];

$G$  – количество семенного материала, т;

$T$  – время, необходимое для обработки семян, ч.

$$Q_{\text{ч}} = 0,94 \cdot \frac{150}{80} = 1,5 \text{ т/ч}.$$

## 2.4 Подбор оборудования линии

Подача технологической линии определяется по основной технологической операции – очистке зерна, а паспортная подача вспомогательного оборудования (шнековые транспортеры, дозаторы) должна быть не меньше подачи основных машин.

Выбираем зерноочистительную машину ЗМ-10/5 производительность на очистке семян 5 т/ч.

Зерноочистительная машина содержит решетный стан с двумя ярусами решет, два установленных независимо воздушных сепаратора. Станы

уравновешивают сами себя. Эта схема снижает в несколько раз динамическую нагрузку на пол (перекрытие), вибрацию машины и здания. В машинах применяются качающиеся решета, и они используются при очистке товарного и семенного зерна.

В сравнении с машинами данного класса отечественными или германскими данная машина может:

- давать выходных фракций от 3 до 5;
- при необходимости выбрасывать отработанный воздух в помещение;
- более качественная работа решет за счет лучшей работы механизма очистки решет, т.к. решета выполнены в виде долек, а щетки передвигаются на тележках;
- обеспечивать более эффективную работу воздушно-очистительной части за счет полноразмерных пневмоканалов и большей выравненности воздушного потока, а на машинах высокой производительности за счет двух независимых пневмосепараторов, один до решет, другой после;
- более высокая производительность решет за счет их работы на более высокой частоте колебаний, это достигается хорошей динамической уравновешенностью машины; машина создает минимальную динамическую нагрузку на пол (перекрытие), по сравнению с машинами данного класса, например, с отечественными нагрузка меньше в 5 раз, а с германскими - в 10 раз;
- машина удобна в технологической настройке за счет плавного регулирования производительности, которая достигается путем электронного или механического (ступенчатого) изменения оборотов вала питателя.

Производительность дизлектрического сепарирующего устройства должна соответствовать производительности линии, поэтому  $Q_c = 5 \text{ т/ч}$ .

В линии 3 нории. Выбираем норию НПК-5.

В состав линии входит бункер подготовленных семян. Вместимость бункера определяем по формуле:

$$V_{\delta} = \frac{Q_{\pi} t_{\pi}}{\rho \beta}, \text{ м}^3, \quad (2.2)$$

где  $t_{\pi}$  – время хранения продукта в бункере или период непрерывной работы при остановке части технологической линии;

$\rho$  – плотность смеси компонентов, т/м<sup>3</sup>. Для пшеницы  $\rho=0,72 \dots 0,8$  т/м<sup>3</sup> [20].

$\beta$  – коэффициент заполнения бункера, зависящий от назначения машины и вида зерна. Для бункера зерна  $\beta = 0,85 \dots 0,9$  [14].

$$V_{\delta} = \frac{10 \cdot 8}{0,76 \cdot 0,9} = 116 \text{ м}^3$$

Вместимость бункера для подготовленных семян будет равен 116 м<sup>3</sup>.

### 3 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1 Выбор и обоснование новой конструкции

Диэлектрический сепаратор включает питатель 1 с лотком 2 и заслонкой 3, расположенный под ним с возможностью вращения рабочий орган 4 роторного типа с системой электродов чередующейся полярности, подключенные к источнику высокого напряжения, очищающую щетку 5, приспособление 6 для ограничения потока частиц на поверхность рабочего органа 4, установленное над поверхностью рабочего органа 4 в зоне подачи разделяемой смеси за питателем 1 по ходу вращения рабочего органа 4, выполненное подпружиненным пружиной 7 и контактирующее с поверхностью рабочего органа 4, и приемники 8 продуктов разделения расположенные под рабочим органом 4.

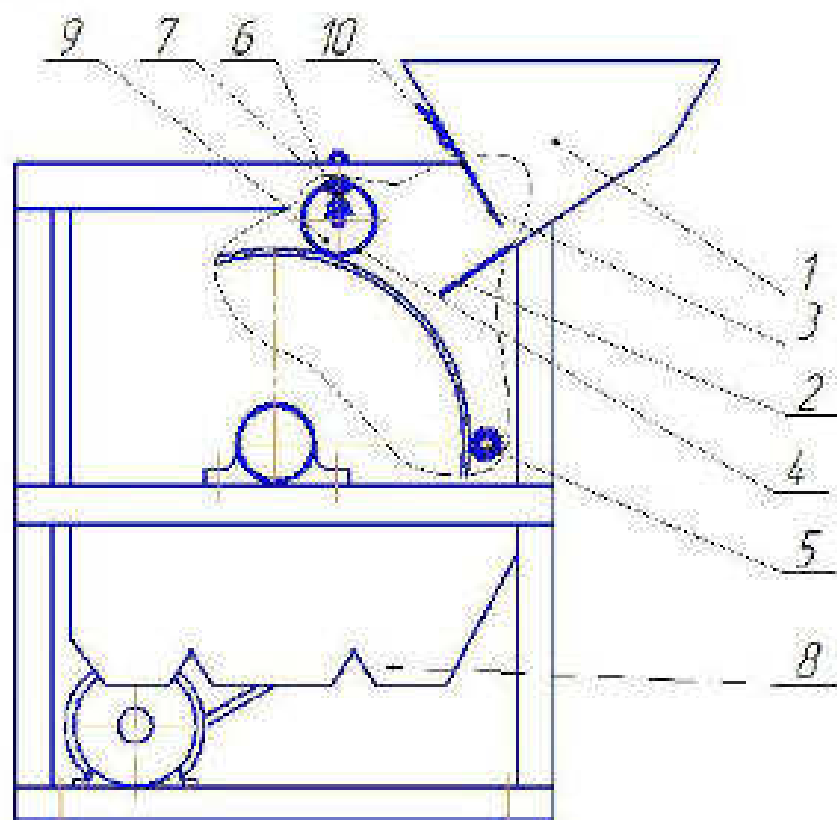


Рисунок 3.1 – Диэлектрический сепаратор

|          |                 |    |         |      |                                     |  |  |
|----------|-----------------|----|---------|------|-------------------------------------|--|--|
|          |                 |    |         |      | ВКР.35.03.06.176.20.ДСУ.00.00.00.ПЗ |  |  |
| Изм      | Лист            | ИР | Подпись | Дата | Диэлектрический сепаратор           |  |  |
| Разработ | Галимзянов А.Ф. |    |         |      |                                     |  |  |
| Провер   | Хусанов Р.К.    |    |         |      | Казанский ГАУ<br>группа Б262-06У    |  |  |
| И.контр. | Хусанов Р.К.    |    |         |      |                                     |  |  |
| Выбор    | Халипов Д.Т.    |    |         |      |                                     |  |  |

|              |                |                    |                    |                |
|--------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|
| И-в. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № дубл. | Взам. инв. № подл. | Подпись и дата |
| Изм.         | Лист           | № докум.           | Подпись            | Дата           |

При приспособление 6 для ограничения потока частиц на поверхность рабочего органа 4 выполнено в виде цилиндрического валика 9 из эластичного диэлектрического материала, установленного вдоль образующей поверхности рабочего органа 4 на расстоянии  $x$  от линии его контакта с поверхностью рабочего органа 4 до линии схода разделяемой смеси с лотка 2 питателя 1 не более величины  $a$  полного открытия заслонки 3 питателя, причем радиус  $R_1$  валика 9 составляет не менее данного расстояния  $x$ . Для фиксации заслонки 3 в необходимом положении она снабжена стопорным винтом 10.

Разделяемая смесь из питателя 1 по лотку 2 поступает на поверхность рабочего органа 4 и прижимается к ней валиком 9. При этом независимо от вида семян и их линейной скорости на выходе с лотка 2 питателя 1 происходит выравнивание линейных скоростей рабочего органа 4 и разделяемых семян вследствие равенства линейных скоростей рабочего органа 4 и валика 9 и принудительного прижатия сепарируемого материала валиком 9 к рабочему органу 4. Далее под действием сил электрического поля, центробежной силы и силы тяжести происходит разделение семян. Более крупные и тяжелые семена попадают во фракцию I приемника 8, более мелкие – во фракцию II, а мелкий сор сметается щеткой 5 во фракцию III.

Для нашей разработки за основу принимаем патент № 1688924, который отличается повышенной производительностью сепаратора за счет исключения эффекта «кипящего слоя» в зоне подачи разделяемой смеси.

### 3.2 Расчет параметров диэлектрического сепаратора

#### 3.2.1 Выбор электродвигателя

Рассчитываем привод диэлектрического сепаратора. Выбираем электродвигатель, необходимый для привода:

$$P_{\text{дв}} = \frac{R_f \cdot V}{\eta} \tag{3.1}$$



где  $P_{дв}$  – предварительная мощность двигателя, Вт;

$\eta_m$  – КПД механизма,  $\eta=0,9$  [19];

$F_t$  – окружное усилие на барабане, Н;  $F_t=1800$  Н [19];

$V$  – скорость вращения барабана, м/с.

$$V = \frac{n \cdot \pi \cdot D}{60}, \quad (3.2)$$

где  $n_p$  – частота вращения вала барабана,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$D$  – диаметр барабана, м.

$$V = \frac{30 \cdot 3,14 \cdot 0,3}{60} = 0,5 \text{ м/с.}$$

$$P_{эм} = \frac{1800 \cdot 0,5}{0,9} = 1000 \text{ Вт.}$$

Принимаем электродвигатель 5A100L8Y3 мощностью 1,1 кВт с частотой  $n=750 \text{ мин}^{-1}$ .

Таблица 3.1

| Тип двигателя | Мощность, кВт | Частота вращения, $\text{мин}^{-1}$ | КПД, % | $\cos\varphi$ | $M_{тв}/M_n$ | $M_{max}/M_n$ | $J_{дв}$ , $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ |
|---------------|---------------|-------------------------------------|--------|---------------|--------------|---------------|-----------------------------------------|
| 5A100L8Y3     | 1,1           | 700                                 | 70     | 0,68          | 1,6          | 1,9           | $3,45 \cdot 10^{-2}$                    |

Далее выбираем редуктор.

Определяем расчетное передаточное число:

$$U'_p = \frac{n_{дв}}{n_5} \quad (3.3)$$

где  $n_{дв}$  – частота вращения двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_5$  – частота вращения барабана,  $\text{мин}^{-1}$ .

$$U'_p = \frac{750}{30} = 25.$$

Выбираем редуктор Ц 2У-100, у которого передаточное число  $U_p=25$ , максимальный момент на тихоходном валу  $250 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . [15].

### 3.2.2 Расчет и выбор аппаратуры управления и защиты

Определяем номинальный ток двигателя по формуле:

$$I_N = \frac{P_N \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \text{ А}, \quad (3.4)$$

где  $P_N$  – номинальная мощность электродвигателя, Вт;

$U_N$  – номинальное напряжение сети, В;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности;

$\eta$  – КПД электродвигателя.

$$I_N = \frac{1100}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,68 \cdot 0,7} = 3,5 \text{ А}$$

Выбираем магнитный пускатель по номинальному току контактов главной цепи и номинальному напряжению

$$I_{н.м.л} \geq I_N \quad \text{А}, \quad (3.5)$$

где  $I_{н.м.л}$  – номинальный ток контактов главной цепи, А;

$$10 \text{ А} > 3,5 \text{ А}.$$

Выбираем магнитный пускатель ПМЕ-112 со следующими характеристиками [8]:

- Тип исполнения магнитного пускателя – открытый;
- Номинальный ток – 10 А.

|              |                    |          |         |      |                                     |
|--------------|--------------------|----------|---------|------|-------------------------------------|
| Инв. № подл. | Подпись и дата     |          |         |      |                                     |
|              | Взам. инв. № дубл. |          |         |      |                                     |
|              | Взам. инв. № подл. |          |         |      |                                     |
| Инв. № подл. | Подпись и дата     |          |         |      |                                     |
|              | Взам. инв. № дубл. |          |         |      |                                     |
|              | Взам. инв. № подл. |          |         |      |                                     |
| Изм.         | Лист               | № докум. | Подпись | Дата | ВКР.35.03.06.176.20.ДСУ.00.00.00.ПЗ |
|              |                    |          |         |      | Лист                                |
|              |                    |          |         |      | 39                                  |

Подписать и дата

|                    |  |
|--------------------|--|
| Взам. инв. № дубл. |  |
|--------------------|--|

|                      |  |
|----------------------|--|
| Взагл. инв. На подл. |  |
|----------------------|--|

Подпись и дата

Имя. Не подл.

|      |      |          |         |      |
|------|------|----------|---------|------|
|      |      |          |         |      |
| Коп. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

ВКР.35.03.06.176.20.ДСУ.00.00.00.ПЗ

ЛИСТ  
40

40

40

$$M = 9550 \frac{1,1}{30} = 350,1 \text{ Нм.}$$

Из условия прочности на кручение определяем диаметр вала:

$$d = \sqrt[3]{\frac{T}{0,2[\tau]}}, \text{ мм,} \quad (3.10)$$

где  $[\tau]$  – допустимое напряжение;

$[\tau] = (15 \dots 30) \text{ МПа}$ , принимаем  $[\tau] = 15 \text{ МПа}$  [4]

$$d = \sqrt[3]{\frac{350,1 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 15}} = 48,8 \text{ мм.}$$

По ГОСТ 6636-80 выбираем диаметр вала  $d_1 = 50 \text{ мм}$ .

Определяем диаметры и длины ступеней:

$$d_0 = d_1 + (5 \dots 10), \quad (3.11)$$

где  $d_0$  – диаметр вала под подшипник, мм;

$d_1$  – диаметр вала, мм.

$$d_0 = 50 + 5 = 55 \text{ мм.}$$

Определяем диаметр вала под барабан:

$$d_2 = d_0 + (5 \dots 10), \quad (3.12)$$

где  $d_2$  – диаметр вала под барабан, мм.

$$d_2 = 60 + 5 = 65 \text{ мм.}$$

Определяем длину консоли

$$l_{\text{ик}} = \frac{1,2d_1}{2} + 0,15d_1 + \frac{B}{2} + 0,35d_n + 0,8d_n, \text{ мм,} \quad (3.13)$$

где  $B$  – ширина подшипника, для примерного расчета принимаем подшипник шариковый радиальный 1212 по ГОСТ 28 428-90.  $B = 22 \text{ мм}$ . [19].

|                    |  |
|--------------------|--|
| Подпись и дата     |  |
| Взам. инв. № докл. |  |
| Взам. инв. № подл. |  |
| Подпись и дата     |  |
| И-в. № подл.       |  |

|      |      |          |         |      |
|------|------|----------|---------|------|
|      |      |          |         |      |
| И-в. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

ВКР.35.03.06.176.20.ДСУ.00.00.00.ПЗ

Лист

41

$$I_{\text{IK}} = \frac{1,2 \cdot 50}{2} + 0,15 \cdot 50 + \frac{22}{2} + 0,35 \cdot 60 + 0,8 \cdot 60 = 117,5 \text{ ММ.}$$

Расстояние между опорами равно 1478 мм.

Определяем максимальное нагружение:

$$S_{\text{max}} = 1,05 \cdot W_{\text{p}} \cdot H, \quad (3.14)$$

$$S_{\max} = 1.05 \cdot 10 = 10.5 \text{ H.}$$

Определяем реакции в опорах:

$$\sum m A = -S_{\max} \cdot l_1 + R_{\text{ex}} \cdot (l_1 + l_2); H. \quad (3.15)$$

$$R_B = \frac{S_{\max} \cdot l_1}{l_1 + l_2} \cdot H.$$

$$R_E = \frac{10,5 \cdot 0,75}{0,75 + 0,75} = 5,25 H.$$

$$\sum m_B = S_{\max} * l_2 - R_4 * (l_1 + l_2); \quad (3.16)$$

$$R_A = \frac{S_{max} \cdot l_2}{l_1 + l_2} \cdot H$$

$$R_A = \frac{10,5 \cdot 0,75}{0,75 + 0,75} = 5,25 H.$$

Строим эшюру нзгнбающих моментов:

$$M_A = R_s \times (l_1 + l_2) - S_{\max} \times l_1, \quad (3.17)$$

$$M_A = M_B = 5.25 \cdot (0.75 + 0.75) - 10.5 \cdot 0.75 = 0$$

$$M_c = \frac{S_{max} \cdot I}{4}. \quad (3.18)$$

$$M_C = \frac{10,5 \cdot 1,5}{4} = 3,9 \text{ Hda}$$

Проверим вал по условию на прочность при изгибе:

$$\frac{M_3}{W} \leq [\sigma]_{HM} \quad (3.19)$$

где  $[\sigma]$  – предел прочности при изгибе,  $[\sigma]=80 \dots 160$  МПа;

$M_0$  – эквивалентный момент,  $Hm$

$W$  – момент сопротивления,  $\text{см}^3$ .

Определяем эквивалентный момент:

$$M_z = \sqrt{M^2 + T^2}, \text{ см}^3 \quad (3.20)$$

$$M_z = \sqrt{3,9 + 350,1} = 350 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Определяем момент сопротивления вала:

$$W = 0,1 d_0^3. \quad (3.21)$$

$$W = 0,1 \cdot 7^3 = 34,3 \text{ см}^3.$$

$$\frac{350}{34,3} \leq 160 \text{ МПа}$$

$$10,2 < 160 \text{ МПа}.$$

По условию прочности выбранный вал подходит

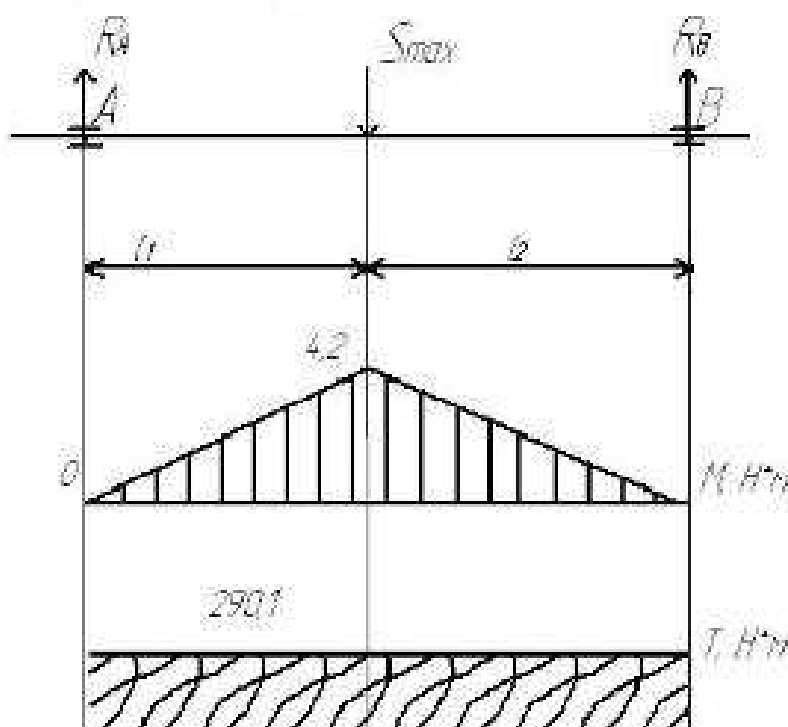


Рисунок 3.2 Схема нагружения вала

### 3.2.4 Расчет шпоночного соединения

Выбираем размер шпонки по ГОСТ 2336078,  $b \times l$   $20 \times 12$ ,  $l$  – ширина шпонки, мм,  $h$  – высота шпонки, мм.

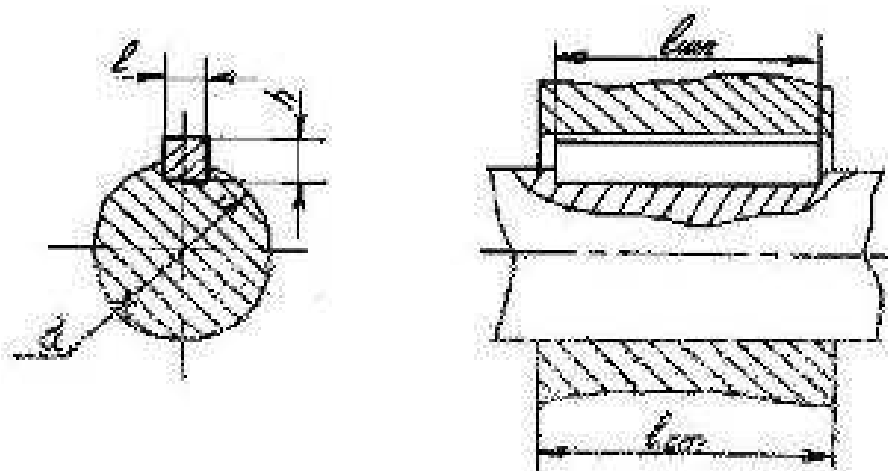


Рисунок 3.3 – Шпоночное соединение

Рассчитываем длину шпонки:

$$l = l_{\text{ст}} - (5 \dots 10) \text{ мм}, \quad (3.22)$$

где  $l_{\text{ст}}$  – длина ступицы, мм.

$$l = 119 - 10 = 109 \text{ мм.}$$

Определяем длину ступицы барабана

$$l_{\text{ст}} = (1,2 \dots 1,8)d, \quad (3.23)$$

$$l_{\text{ст}} = 1,7 \cdot 65 = 110 \text{ мм.}$$

Расчет шпонки на смятие:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4T \cdot 10^3}{d \cdot h \cdot l_p} \leq [\sigma], \text{ МПа} \quad (3.24)$$

где  $[\sigma_{\text{см}}]$  – допустимое напряжение смятия, МПа,  $[\sigma_{\text{см}}] = 100 \text{ МПа}$ ;

$l_p$  – рабочая длина шпонки, (для призматических  $l_p = l_{\text{шп}}$ ).

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4 \cdot 350 \cdot 10^3}{70 \cdot 12 \cdot 109} = 15,2 \text{ МПа.}$$

$$15,2 < 100 \text{ МПа.}$$

Условие на смятие обеспечено.

Расчет шпонки на срез:

|                    |                                                                                                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Подпись и дата     | Рассчитываем длину шпонки:                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | $l=l_{ст}-(5...10) \text{ мм}, \tag{3.22}$                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | где $l_{ст}$ – длина ступицы, мм.                                                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Взам. инв. № дубл. | $l=119-10=109 \text{ мм}.$                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | Определяем длину ступицы барабана                                                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | $l_{ст}=(1,2...1,8)d. \tag{3.23}$                                                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | $l_{ст}=1,7 \cdot 65=110 \text{ мм}.$                                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Взам. инв. № подл. | Расчет шпонки на смятие:                                                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | $\sigma_{см} = \frac{4T \cdot 10^3}{d \cdot h \cdot l_p} \leq [\sigma], \text{ МПа} \tag{3.24}$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | где $[\sigma_{см}]$ – допустимое напряжение смятия, МПа, $[\sigma_{см}]=100 \text{ МПа}$ ;      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Подпись и дата     | $l_p$ – рабочая длина шпонки, (для призматических $l_p=l_{шп}$ ).                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | $\sigma_{см} = \frac{4 \cdot 350 \cdot 10^3}{70 \cdot 12 \cdot 109} = 15,2 \text{ МПа}.$        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | $15,2 < 100 \text{ МПа}.$                                                                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | Условие на смятие обеспечено.                                                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Инв. № подл.       | Расчет шпонки на срез:                                                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    |                                                                                                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{2T \cdot 10^3}{d \cdot b \cdot l_p} \leq [\tau_{\text{ср}}], \quad (3.25)$$

где  $[\tau_{\text{ср}}]$  – допустимое напряжение на срез.

$$[\tau_{\text{ср}}] = 0,6 [\sigma_{\text{сст}}] = 60 \text{ МПа.}$$

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{2 \cdot 350 \cdot 10^3}{70 \cdot 20 \cdot 109} = 4,5 \text{ МПа.}$$

$$4,5 \text{ МПа} < 60 \text{ МПа.}$$

Таким образом, условие прочности шпонки обеспечивается.

По результатам расчета подобрана шпонка 20x12x100 ГОСТ 23360-78.

### 3.3 Правила техники безопасности при работе с диэлектрическим сепарирующим устройством

1. К обслуживанию сепаратора допускаются рабочие, знающие устройство машины, правило эксплуатации установки, изучившие руководство по устройству и эксплуатации, и прошедшие инструктаж по технике безопасности.

2. Не допускается присутствие посторонних лиц около рабочих органов машины.

3. Перед началом работы проверять состояние узлов и механизмов, своевременно проводить подтяжку ослабевших резьбовых соединений.

4. Не допускать перегрузку машины.

5. Категорически запрещается производить какие бы то ни было работы по ремонту машины во время ее работы.

6. Не допускается работа сепаратора с ослабленной тяговой цепью.

7. Запрещается эксплуатация машины и электрооборудования без надежного заземления.

8. Не реже одного раза в месяц электрооборудование должно подвергаться техническому осмотру. Обязательным условием является постоянный контроль за состоянием изоляции.

|                                     |      |          |         |      |                    |                    |                |
|-------------------------------------|------|----------|---------|------|--------------------|--------------------|----------------|
| Изм.                                | Лист | № докум. | Подпись | Дата | Взам. инв. № подл. | Взам. инв. № дубл. | Подпись и дата |
|                                     |      |          |         |      |                    |                    |                |
| ВКР.35.03.06.176.20.ДСУ.00.00.00.ПЗ |      |          |         |      | Лист               |                    |                |
|                                     |      |          |         |      | 45                 |                    |                |



9. Не пускать оборудование в работу, если на механизмах отсутствуют защитные кожухи.

10. У шкафа управления оборудования рекомендуется иметь изоляционную подставку.

11. При производстве работ по ремонту или осмотру оборудования необходимо отключать общий рубильник на шите управления, снять предохранители и повесить плакат: "Не включать – работают люди".

12. Приводная станция должна быть огорожена.

### 3.4 Предложения по улучшению влияния предприятия на окружающую среду

Вредное влияние пыли обусловлено многими факторами: физико-химическими свойствами, размерами и формой пылевых частиц; концентрацией их в воздухе окружающей среды; длительностью воздействия ее в течение смены и профессиональным стажем; другими неблагоприятными производственными факторами и особенностями трудовой деятельности. Кроме того, пыль увеличивает износ машин и оборудования, ухудшает санитарное состояние производственных помещений, снижает уровень освещенности вследствие загрязнения световых проемов, ламп и осветительной арматуры, может способствовать возникновению пожаров и взрывов [3].

С целью предупреждения заболеваний, вызванных действием пыли, следует соблюдать установленные предельно допустимые концентрации различных видов пыли в воздухе рабочей зоны. Для обоснования необходимости проведения мероприятий по созданию здоровых и безопасных условий труда и выбора их оптимального варианта на каждом рабочем месте, где образуется пыль, следует периодически контролировать ее концентрацию.

Шум является одним из главных неблагоприятных производственных факторов. Из-за шума у работающих возникает более быстрое утомление, которое приводит к снижению производительности на 10...15%, увеличению числа ошибок при выполнении операций трудового процесса и, следовательно,

|      |      |          |         |      |      |         |                |                    |                    |                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|------|----------|---------|------|------|---------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | Изм. | № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № подл. | Взам. инв. № дубл. | Подпись и дата | <p><b>окружающую среду</b></p> <p>Вредное влияние пыли обусловлено многими факторами: физико-химическими свойствами, размерами и формой пылевых частиц; концентрацией их в воздухе окружающей среды; длительностью воздействия ее в течение смены и профессиональным стажем; другими неблагоприятными производственными факторами и особенностями трудовой деятельности. Кроме того, пыль увеличивает износ машин и оборудования, ухудшает санитарное состояние производственных помещений, снижает уровень освещенности вследствие загрязнения световых проемов, ламп и осветительной арматуры, может способствовать возникновению пожаров и взрывов [3].</p> <p>С целью предупреждения заболеваний, вызванных действием пыли, следует соблюдать установленные предельно допустимые концентрации различных видов пыли в воздухе рабочей зоны. Для обоснования необходимости проведения мероприятий по созданию здоровых и безопасных условий труда и выбора их оптимального варианта на каждом рабочем месте, где образуется пыль, следует периодически контролировать ее концентрацию.</p> <p>Шум является одним из главных неблагоприятных производственных факторов. Из-за шума у работающих возникает более быстрое утомление, которое приводит к снижению производительности на 10...15%, увеличению числа ошибок при выполнении операций трудового процесса и, следовательно,</p> |
|      |      |          |         |      |      |         |                |                    |                    |                | <p align="center"><i>ВКР.35.03.06.176.20.ДСУ.00.00.00.ПЗ</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

к повышенной опасности возникновения травм. При длительном воздействии шума снижается чувствительность слухового аппарата, возникают патологические изменения в нервной и сердечно-сосудистой системах [3].

Предлагаемая технология является экологически безопасной, т.к. диэлектрическая сепарация исключает неблагоприятное влияние на человека и окружающую среду. Имеет место наличие защитных кожухов на вращающихся частях всей линии, что устраняет возможность прямого контакта человека с ними. Также в разработанной линии отсутствуют двигатели внутреннего сгорания, в связи с чем не происходит загрязнения окружающей среды токсичными веществами, находящимися в отработавших газах.

### 3.5 Физическая культура на производстве

Физическая культура на производстве – важный фактор ускорения научно-технического прогресса и производительности труда. Основным средством физической культуры являются физические упражнения, направленные на совершенствование жизненно важных сторон индивидуума, способствуя развитию его двигательных качеств, умений и навыков, необходимых для профессиональной деятельности. С этой целью используются следующие способы и методы по развитию физических способностей:

- ударные дозированные движения в вынужденных позах;
- выработка вращательных движений пальцев и кистей рук;
- развитие статической и динамической выносливости мышц пальцев и

KITCHEN DRY.

- развитие ручной ловкости, кожной и мышечно-суставной чувствительности, глазомера;
- развитие силы и статической выносливости позных мышц спины, та и разгибателей бедра;
- развитие точности усилий мышцами плечевого пояса.

Занятия по физической культуре на производстве должны включать различные виды спорта, благодаря которым сохраняется здоровье человека, его

психическое благополучие и совершенствуются физические способности. Творческое использование физкультурно-спортивной деятельности в этих условиях направлено на достижение жизненно-важных и профессиональных целей индивидуума.

### 3.6 Экономическое обоснование конструкции

#### 3.6.1 Расчёт массы и стоимости конструкции

Масса конструкции определяется по формуле:

$$G = (G_k + G_r)k, \quad (3.26)$$

где  $G$  – масса конструкции, кг;

$G_k$  – масса сконструированных деталей, кг;

$G_r$  – масса готовых деталей, кг,  $G_r = 2500$ ;

$k$  – коэффициент, учитывающий массу израсходованных на изготовление конструкции материалов.

Расчетную массу спроектированных деталей и узлов и агрегатов приводим в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Расчёт массы спроектированных деталей

| Наименование изделия | Объём изделия, см <sup>3</sup> | Плотность, кг/см <sup>3</sup> | Масса детали, кг |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Вал                  | 3949                           | 0,00785                       | 31               |
| Диск                 | 76                             | 0,00785                       | 0,6              |
| Корпус               | 90                             | 0,00785                       | 0,7              |
| Крышка подшипника    | 267                            | 0,00785                       | 2,1              |

Масса сконструированных деталей определяется по формуле:

$$G_k = (G_w + G_d + G_c + G_p), \quad (3.27)$$

где  $G_w$  – масса вала, кг;

$G_d$  – масса диска, кг;

$G_c$  – масса корпуса, кг;

$G_p$  – масса подшипника, кг.

Определяем значения масс:

$$G_2 = (31 + 0,6 + 0,7 + 2,1) = 34,4 \text{ кг};$$

$$G_1 = (130 + 34,4)1,05 = 172,6 \text{ КЗ.}$$

Балансовая стоимость новой конструкции по сопоставимости массы определяется по формуле:

$$C_{\sigma 1} = \frac{C_{\sigma 0} \cdot G_1 \cdot \delta}{G_0}, \quad (3.28)$$

где  $C_5, C_{61}$  – балансовая стоимость старой детали, руб.;

$G_0, G_1$  — масса старой и новой конструкции, кг;

$\delta$  – коэффициент удешевления конструкции.

Подставляя полученные значения в формулу (3.3) получаем:

$$C_{61} = \frac{60000 \cdot 172,6 \cdot 0,9}{185} = 50380,5 \text{ руб.}$$

### 3.6.2. Расчёт технико-экономических показателей эффективности конструкции и их сравнение

Часовая производительность машин определяется из конструктивных расчётов:

$$W_v = K_{em} \frac{G}{T}, T/\mathbf{u}_v \quad (3.28a)$$

где  $K_{см}$  – коэффициент использования времени смены,  $K_{см} = 0,94$  [18];

G – количество семенного материала, т.

$T$  – время, необходимое для обработки семян, ч.

$$W_1 = 4000 \text{ кг/ч};$$

$$W_{II}=5000 \text{ кг/ч.}$$

Энергоемкость процесса определяется по формуле:

$$\Theta_e = \frac{N_e}{W_e}, \quad (3.29)$$

где  $N_c$  – потребляемая мощность, кВт.

$W_q$  – часовая производительность, кг/ч.

Учитывая, что  $N_e=9$  кВт, находим:

$$\mathcal{E}_{e0} = \frac{9}{4000} = 0,0022 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{кг},$$

$$\mathcal{E}_{e1} = \frac{9}{5000} = 0,0018 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{кг}.$$

Металлоёмкость процесса определяется по формуле:

$$M_e = \frac{G}{W_q \cdot T_{\text{год}} \cdot T_c}, \quad (3.30)$$

где  $G$  – масса конструкции, кг;

$T_{\text{год}}$  – годовая загрузка машины;

$T_c$  – срок службы машин, лет.

Учитывая полученные значения и подставляя их находим:

$$M_{e0} = \frac{185}{4000 \cdot 1350 \cdot 5} = 0,000007 \text{ кг} / \text{кг},$$

$$M_{e1} = \frac{172,6}{5000 \cdot 1350 \cdot 5} = 0,000005 \text{ кг} / \text{кг}.$$

Фондоёмкость процесса определяется по формуле:

$$F_e = \frac{C_0}{W_q \cdot T_{\text{год}} \cdot T_{\text{сл}}}, \quad (3.31)$$

где  $C_0$  – балансовая совместимость конструкции, руб.;

Принимая из расчетов, что  $C_{01}=50380,5$  руб.,  $C_{00}=60000$  руб., определяем:

$$F_{e0} = \frac{60000}{4000 \cdot 1350 \cdot 5} = 0,0022 \text{ руб} / \text{кг}$$

$$F_{e1} = \frac{50380}{5000 \cdot 1350 \cdot 5} = 0,0015 \text{ руб} / \text{кг}$$

Себестоимость исходного и проектируемого варианта определяется по формуле:

$$S = C_{f,n} + C_s + C_{\text{sync}} + A, \quad (3.32)$$

где  $C_{эл}$  – затраты оплаты труда, руб./л;

$C_5$  – затраты на электроэнергию, руб/л;

$C_{\text{тр}}$  – затраты на ремонт и техническое обслуживание конструкции, руб;

А – амортизаційний отчислення на продукцію, руб./л.

$$C_{3,n} = z \cdot T_e \cdot K_{\partial} \cdot K_{cm} \cdot K_{om} \cdot K_{cc}, \quad (3.33)$$

где  $Z$  – часовая тарифная ставка,  $Z = 80$  руб/ч;

$T_e$  — трудоёмкость, чел/кг.

$$T_e = \frac{\Pi_p}{W}, \quad (3.34)$$

$$T_{\infty} = \frac{1}{4000} = 0,00025 \text{ ч/кг},$$

$$T_{el} = \frac{1}{5000} = 0,0002 \text{ s} / \text{Kz},$$

$$C_{\text{res}} = 80 \cdot 0,00025 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,12 = 0,023 \text{ py6/}\kappa\text{g}$$

$$C_{\text{нл}} = 80 \cdot 0,0002 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,12 = 0,018 \text{ py6 / } \kappa\text{z}.$$

Определяем затраты на электроэнергию:

$$C_i = H_i \cdot \mathcal{D}_i, \quad (3.35)$$

где  $C_c$  – отпускная цена электроэнергии, руб./кВт·ч;

$\mathcal{E}_c$  – потребляемая мощность, кВт·ч.

Принимая во внимание, что  $C_0 = 2,57$  руб./кВт·ч,  $\varepsilon_{\text{д}} = 0,0022$ ;  $\varepsilon_{\text{н}} = 0,0018$ , находим

$$C_{\text{e}} = 2,57 \cdot 0,0022 = 0,011 \text{ DVB} / \text{KZ},$$

$$C_{\text{н}} = 2,57 \cdot 0,0018 = 0,008 \text{ руб / кг.}$$

Затраты на РТО конструкции определяется по формуле:

$$C_{pmo} = \frac{C_6 \cdot H_{pmo}}{100 \cdot W_v \cdot T_{2000}}, \quad (3.36)$$

где  $P_{\text{гтв}}$  – суммарная норма затрат на РТО, %.

$$C_{pm0} = \frac{60000 \cdot 19,8}{100 \cdot 4000 \cdot 1350} = 0,0021 \text{ руб / кг},$$

$$C_{pm1} = \frac{50380,5 \cdot 19,8}{100 \cdot 5000 \cdot 1350} = 0,0014 \text{ руб / кг},$$

Амортизационные отчисления определяются по формуле:

$$A = \frac{C_6 \cdot a}{100 \cdot W_q \cdot T_{год}}, \quad (3.37)$$

где  $a$  – норма амортизации, %.

Принимая по нормативам, что  $a_{0,1}=18$ , находим

$$A_0 = \frac{60000 \cdot 18}{100 \cdot 4000 \cdot 1350} = 0,0022 \text{ руб / кг},$$

$$A_1 = \frac{50380,5 \cdot 18}{100 \cdot 5000 \cdot 1350} = 0,0015 \text{ руб / кг}.$$

$$S_0 = 0,023 + 0,011 + 0,0021 + 0,0022 = 0,038 \text{ руб / кг},$$

$$S_1 = 0,018 + 0,008 + 0,0014 + 0,0015 = 0,03 \text{ руб / кг}.$$

Приведённые затраты на работу конструкции определяют по формуле:

$$C_{np} = S + E_n \cdot K = S + E_n \cdot F_c, \quad (3.38)$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$K$  – удельные капитальные вложения или фондёмкость.

Принимая, что  $E_n=0,15$  находим

$$C_{np0} = 0,038 + 0,15 \cdot 0,0022 = 0,0384 \text{ руб / кг},$$

$$C_{np1} = 0,03 + 0,15 \cdot 0,0015 = 0,0301 \text{ руб / кг}.$$

Годовая экономия определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{год} = (S_0 - S_1) \cdot W_q \cdot T_{год}, \quad (3.39)$$

где  $T_{год}$  – годовая нормативная нагрузка, ч.

Принимая во внимание, что  $T_{год}=1350$ , находим:

$$\Xi_{год} = (0,038 - 0,03) \cdot 5000 \cdot 1350 = 56409,5 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект определяется по формуле:

$$\begin{aligned} E_{год} &= (C_{прив0} - C_{прив1}) \cdot W_n \cdot T_{год}, \\ E_{год} &= (0,0384 - 0,0301) \cdot 5000 \cdot 1350 = 57148 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (3.40)$$

Срок окупаемости капитала вложений определяется по формуле:

$$\begin{aligned} T_{ок} &= \frac{C_{61}}{\Xi_{год}}, \\ T_{ок} &= \frac{50380,5}{56409,5} = 0,8920081. \end{aligned} \quad (3.41)$$

Коэффициент эффективности капитала вложений определяется по формуле:

$$\begin{aligned} E_{эф} &= \frac{\Xi_{год}}{C_6} = \frac{1}{T_{ок}}, \\ E_{эф} &= \frac{1}{0,89} = 1,12 \end{aligned} \quad (3.42)$$

Результаты расчетов заносим в таблицу 3.3.

|                                                                                                                                                                                                       |                    |          |         |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|---------|------|
| Имя, № подл.                                                                                                                                                                                          | Подпись и дата     |          |         |      |
|                                                                                                                                                                                                       | Взам. инв. № подл. |          |         |      |
|                                                                                                                                                                                                       | Взам. инв. № докл. |          |         |      |
| Имя, № подл.                                                                                                                                                                                          | Подпись и дата     |          |         |      |
|                                                                                                                                                                                                       | Взам. инв. № подл. |          |         |      |
|                                                                                                                                                                                                       | Взам. инв. № докл. |          |         |      |
| <div><div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div></div></div> <div><div>ВКР.35.03.06.176.20.ДСУ.00.00.00.ПЗ</div><div>Лист</div></div> <div><div>53</div></div> |                    |          |         |      |
| Изм.                                                                                                                                                                                                  | Лист               | № докум. | Подпись | Дата |



Таблица 3.2 – Сравнительные технико-экономические показатели эффективности конструкции

| №   | Наименование показателей                       | Ед. измер. | Базовой (исходной) | проектируемой |
|-----|------------------------------------------------|------------|--------------------|---------------|
| 1.  | Часовая производительность                     | кг/ч       | 4000               | 5000          |
| 2.  | Фондоёмкость процесса                          | руб/кг     | 0,0022             | 0,00146       |
| 3.  | Энергоёмкость процесса                         | Вт/кг      | 0,0022             | 0,0018        |
| 4.  | Металлоёмкость процесса                        | кг/кг      | 0,000007           | 0,000005      |
| 5.  | Трудоёмкость процесса                          | ч-ч/кг     | 0,00025            | 0,0002        |
| 6.  | Уровень эксплуатационных затрат                | руб/кг     | 0,038              | 0,03          |
| 7.  | Уровень приведённых затрат                     | руб/кг     | 0,0384             | 0,0301        |
| 8.  | Годовая экономия                               | руб        | -                  | 56409,5       |
| 9.  | Годовой экономический эффект                   | руб        | -                  | 57148         |
| 10. | Срок окупаемости капитала                      | лет        | -                  | 0,89          |
| 11. | вложений                                       | .          |                    |               |
|     | Коэффициент эффективности капитальных вложений |            |                    | 1,12          |

### 3.7. Выводы по разделу

Выполненные конструктивные расчеты показывают работоспособность предлагаемой машины, его надежность и высокие технико-экономические показатели. Экономический эффект от использования проектируемого электрического сепаратора составил 57147 руб.

|              |                |                    |                |
|--------------|----------------|--------------------|----------------|
| Инт. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № подл. | Подпись и дата |
|              |                |                    |                |

## ВЫВОДЫ

1. Анализ показал, что широко используемые зерноочистительные машины уже не в полной мере обеспечивают требования эксплуатационной производительности, к дроблению зерна, микроповреждениям. Причем увеличение подачи зернового материала в агрегаты ведет к снижению качества его очистки.

2. Предлагается линия по обработке зерна на базе зерноочистительной машины ЗМ-10/5 и диэлектрического сепарирующего устройства, позволяющая получать качественный семенной материал. Оказывается, плохие и хорошие семена имеют разные диэлектрические свойства. Диэлектрическое сепарирующее устройство позволит отсортировать ценное зерно от биологически дефектного, не требует разборки и легко очищается от семян при переходе от одной культуры к другой.

3. В конструкторской части выпускной квалификационной работы было установлено, что проектируемые узлы сепаратора обеспечивают его надежную работу. Предлагаемое устройство позволяет получить годовой экономический эффект 57147 рублей, а срок окупаемости – 0,89 лет.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев, И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию / И.И. Алиев – 4-е изд., перераб. – Ростов н/Д : Феникс, 2003. – 480 с.
2. Бурков, А.И. Механизация послеуборочной обработки зерна и семян / А.И. Бурков, В.Л. Андреев, О.П. Родин // Агробизнес – Россия. – 2005. – № 1. – с. 57-59.
3. Детали машин и основы конструирования / под ред. М.Н. Еремина. – М. : Колос, 2004. – 462 с.
4. Ерылаев, И.Я. Методические указания к выполнению раздела дипломного проекта «Безопасность жизнедеятельности» / И.Я. Ерылаев, М.А. Орлова. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2007. – 11 с.
5. Ермолов, Ю.И. Перспективные технологии и технические средства для очистки зерна / Ю.И. Ермолов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2002. – № 6. – с. 28-29.
6. Зотов, Б.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве / Б.И. Зотов, В.И. Курдюмов. – 2-е изд., перераб. – М. : Колос, 2003. – 432 с.
7. Кожуховский, И.Е. Зерноочистительные машины. Конструкции, расчет и проектирование / И.Е. Кожуховский. – 2-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1974. – 200 с.
8. Красников, В.В. Подъемно-транспортные машины / В.В. Красников, В.Ф. Дубинин, В.Ф. Акимов [и др.]. – 4-е изд., перераб. – М. : Агропромиздат, 1987. – 272 с.
9. Кузнецов В. Очищать зерно в хозяйствах выгодно / В. Кузнецов, С. Лебедев // Сельский механизатор. – 2008. – № 3. – с. 20-21.
10. Нугманов, С.С. Справочник для выполнения дипломных, курсовых проектов и контрольных заданий по электротехническим дисциплинам / С.С. Нугманов, В.И. Хочетов. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2008. – 147 с.
11. Патент № 2195805 Российская Федерация. Зерноочистительный агрегат / А.И. Бурков, В.Л. Андреев, С.Л. Лопинев [и др.]. – № 2001118111/13, заяв. 29.06.01, опубл. 10.01.03, Бюл. № 35. – 4 с. : ил.
12. Патент № 2106207 Российская Федерация. Зерноочистительный агрегат / А.З. Бодурдинев. – № 94001395/13, заяв. 11.01.94, опубл. 10.03.98, Бюл. № 30, 2002. – 6 с. : ил.
13. Патент № 2245746 Российская Федерация. Зерноочистительная машина / В.Е. Святлов, Р.Г. Гатауллин. – № 2005103803/03, заяв. 10.02.03, опубл. 10.02.05, Бюл. № 28. – 8 с. : ил.

14. Патент № 2175273. Российская Федерация. Зерноочистительная машина / Ф.А. Мамедов, М.В. Туаев, В.И. Литвин [и др.] – № 2000111754/13 ; заяв. 15.05.00 ; стуб. 27.10.01, Бюл. № 31, 2003. – 5 с. : ил.

15. Патент № 2307499. Российская Федерация. Устройство для загрузки и предварительной очистки зерна / Т.Т. Гаппов, С.А. Бакузарова, К.Д. Кудзиев [и др.] – № 2006115009/11 ; заяв. 02.05.06 ; стуб. 10.10.07, Бюл. № 27 – 4 с. : ил.

16. Реконструкция типовых зерноочистительно-сушильных комплексов (рекомендации) / НИИСХ Северо-Востока. – Киров : НИИСХ Северо-Востока, 2000. – 72 с.

17. Руководство по устройству и эксплуатации зерноочистительного агрегата ЗАВ-40 / Воронежский ЦНТИ – Воронеж. Коммуна, 1970. – 133 с.

18. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин : учебник для ВУЗов сельскохозяйственного машиностроения / Е.С. Босой, О.В. Верняев, И.И. Смирнов, Е.Г. Султан-Шах. – 2-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1977. – 568 с.

19. Халанский, В.М. Сельскохозяйственные машины / В.М. Халанский, И.В. Горбачев. – М. : Колос, 2003. – 624 с.