

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра машин и оборудования в агробизнесе

Направление подготовки – 35.04.06 Агроинженерия

Магистерская программа – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

**ТЕМА: Исследование процесса разрушения зерна и разработка
конструкции устройства для его дробления**

Студент магистратуры _____ Сабиров Б.М.

Научный руководитель,
к.т.н., доцент _____ Дмитриев А.В.

Рецензент
к.т.н., доцент _____ Медведев В.М.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите

Протокол № ____ от _____ 2018 г.

Заведующий кафедрой машин и
оборудования в агробизнесе _____ Зиганшин Б.Г.

Казань – 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	6
1.1 Классификация способов дробления зерна.....	6
1.2 Анализ существующих конструкции устройств для дробления зерна.....	9
1.3 Анализ теоретических исследований процесса разрушения зерна при дроблении.....	16
1.4 Задачи исследований.....	23
2. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ ЗЕРНА.....	24
2.1 Рекомендации для разработки и создания устройств для дробления зерна.....	24
2.2 Устройство и принцип действия предлагаемой дробилки зерна.....	27
3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	31
3.1 Общий план исследований.....	31
3.2 Методика определения средней силы удара для разрушения зерна пшеницы.....	31
3.3 Методика определения модуля помола зерна.....	36
3.4 Методика определения удельного расхода электроэнергии на процесс дробления.....	38
3.5 Методика статистической обработки результатов экспериментов.....	39
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ.....	42
4.1 Результаты исследований определения средней силы удара для разрушения зерна пшеницы.....	42
4.2 Результаты определения модуля помола зерна.....	47
4.3 Результаты исследований определения удельного расхода электроэнергии на процесс дробления.....	52
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	54

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	55
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	59

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях интенсивное развитие пищевой промышленности и значительный подъем в развитии сельского хозяйства, особенно в производстве зерна, стали основным катализатором, способствующим бурному развитию отрасли животноводства. Здесь важно отметить и другую отрасль, входящую в агропромышленный комплекс страны – производство кормов, имеющую важное значение для развития всего животноводства.

Основная задача производства кормов, заключается в обеспечении ими сельскохозяйственных животных в нужном количестве при необходимом качестве и пищевой ценности. Однако неизменным остается основное требование к кормам – это сбалансированность рациона. Достичь оптимального состояния сбалансированности кормов позволяет создание новых формул составляющих ингредиентов корма, а также улучшения качества их приготовления, а в частности дробления (размола), что улучшает смешиваемость, способность к грануляции и потребление, увеличивает перевариваемость.

Затраты на производство продукции животноводства определяются в первую очередь стоимостью кормов и их качеством.

Основные технологические и технические требования, которые предъявляются к машинам и оборудованию по приготовлению кормов на современном этапе, обусловлены необходимостью сократить потери питательных веществ в процессе заготовки, переработки, хранения, приготовления и раздачи кормов [14].

Приготовление кормов - один из важнейших технологических процессов в животноводстве. Наиболее трудоемкой в кормопроизводстве является дробление компонентов кормовой смеси. В связи с выше изложенным, задача по созданию новых машин для дробления зерна, обеспечивающих высокие показатели технологической эффективности при

низких ресурсо-энергозатратах затратах, является актуальной, имеющей важное значение.

Работа посвящена разработке усовершенствованной конструкции устройства для дробления зерна при приготовлении кормов и исследованию процесса разрушения зерна.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Классификация способов дробления зерна

Применяемые для кормления сельскохозяйственных животных грубые, концентрированные, сочные корма и их разновидности резко различаются по таким физико-механическим свойствам, как размерные характеристики, объемная масса, плотность, влажность, усилия для разрушения и т.д. Один из основных способов обработки кормов – дробление. Его проводят с целью ускорения процессов переваривания кормов в желудке животных и повышение усвояемости питательных веществ. Это связано с тем, что скорость переваривания питательных веществ зависит от площади поверхности частиц корма. Наиболее распространенные способы измельчение зерна – дробление ударом, истирание, сжатием, раздавливанием [18]:

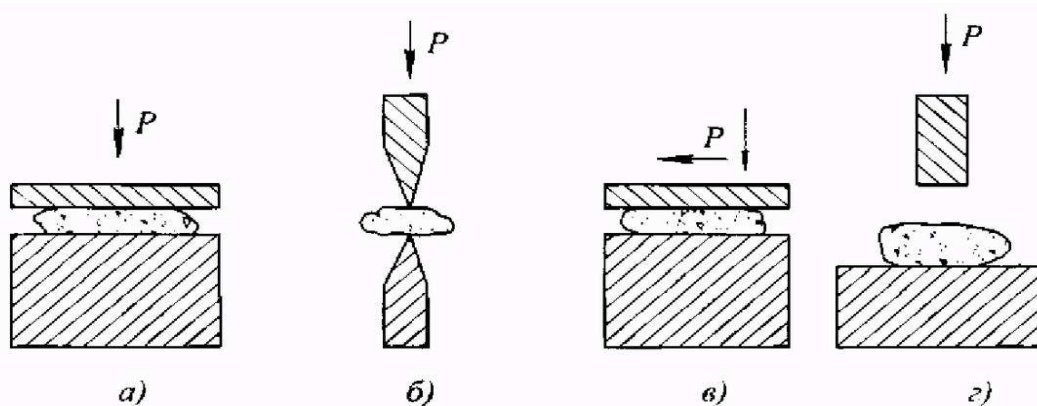


Рисунок 1.1 - а) раздавливание; б) сжатие; в) истирание; г) удар

Параметрами процесса при ударе являются скорость удара, число ударов, удельная энергия удара, угол падения и энергия, затрачиваемая на дробление. При этом разрушаемый продукт характеризуется геометрическими размерами, влажностью, физико–механическими свойствами (твердость, модуль упругости и др.) и прочностными свойствами (предел прочности, деформация до разрушения). Показатели качества

получаемой продукции является ее фракционный состав, по которому можно оценить долю частиц чистого эндосперма, а также сросшихся с оболочкой с зародышем частиц эндосперма, чистого зародыша, мелких частиц.

Качественное измельчение кормов в сельском хозяйстве является необходимым требованием для нормальной жизнедеятельности и повышения продуктивности животных. Но сам процесс измельчения при приготовлении кормов является одним из наиболее энергоёмких. Снижение энергоёмкости и увеличение производительности кормоизмельчителей прямо зависит от применения и комбинирования различных видов дробления кормов. Измельчение – процесс разделения твёрдого тела до требуемых размеров посредством приложения внешних сил [16].

В современных дробилках зерна, различных по конструкции, многие виды измельчения действуют одновременно, например, раздавливание и истирание, истирание и удар. Необходимость в комбинировании различных видов измельчения вызывается многообразием размеров и свойств измельчаемого материала, а также требований к свойствам и размерам готового продукта.

Дробилки подразделяют на следующие основные виды: щековые, валковые, конусные и ударного действия. Дробилки ударного действия подразделяются на молотковые и роторные. В молотковых дробилках молотки подвешены шарнирно, а в роторных - жестко прикреплены к ротору.

Щековые дробилки используются для крупного и среднего дробления материалов в горнорудной промышленности и промышленности строительных материалов. Принцип таких дробилок заключается, в том, что камера дробления имеет форму клина, образованную двумя щеками. Одна из которых, в основном, является неподвижной, а вторая - подвижной. При периодическом движении подвижной щеки происходит дробление материала и одновременно удаление измельченного материала из рабочей камеры [20].

Валковые дробилки отличаются тем, что рабочим органами их являются валки вращающихся относительно неподвижной поверхности или относительно друг друга и раздавливающих, а также истирающих поступающий между ними материал.

Конусные, где одна коническая поверхность эксцентрично движется относительно другой, осуществляя тем самым раздавливание, излом, истирание продукта.

Роторные дробилки применяются в различных областях промышленности. Эти машины ударного действия. Дробление в них происходит за счет быстро вращающихся бил, которые жестко прикреплены на роторе. Ротор установлен внутри корпуса. На стенках корпуса установлены приемный лоток, отражательные плиты, колосниковые решетки, которые образуют вместе с ротором камеру дробления [16].

Молотковые дробилки представляют собой машины ударного действия, с молотками, шарнирно закрепленными на роторе. Молотковым дробилкам присуще высокая степень измельчения, относительно невысокая стоимость измельченного материала. Конструктивные параметры и потребная мощность на единицу производительности в 2-5 раз меньше, чем у щековых и конусных дробилок. Возможность присоединения загрузочных и разгрузочных каналов к трубопроводам, герметичность корпуса сводят до минимума выброс пыли в окружающую среду. Молотковые дробилки имеют простую конструкцию, удобны в обслуживании, возможность легкой замены изношенных деталей, доступные подведение измельчаемого материала и отвод готового продукта. Наличие динамически сбалансированного ротора не требует сооружения тяжелого фундамента [15].

Основные способы дробления зерна следует отнести высокую стоимость дробилок, сравнительно большие энергетические затраты и низкое качество готового продукта, так как получаемый продукт

отличается высокой степенью неоднородности гранулометрического состава. Поэтому необходимы дальнейшие исследования, направленные на создание более совершенной дробилки зерна. Она должна обладать простотой конструкции и невысокой металлоёмкостью, иметь небольшую энергоёмкость, обеспечивать равномерность гранулометрического состава готового продукта, иметь широкие возможности регулирования степени измельчения, обеспечивать заменяемость рабочих органов и лёгкий доступ к ним.

1.2 Анализ существующих конструкций устройств для дробления зерна

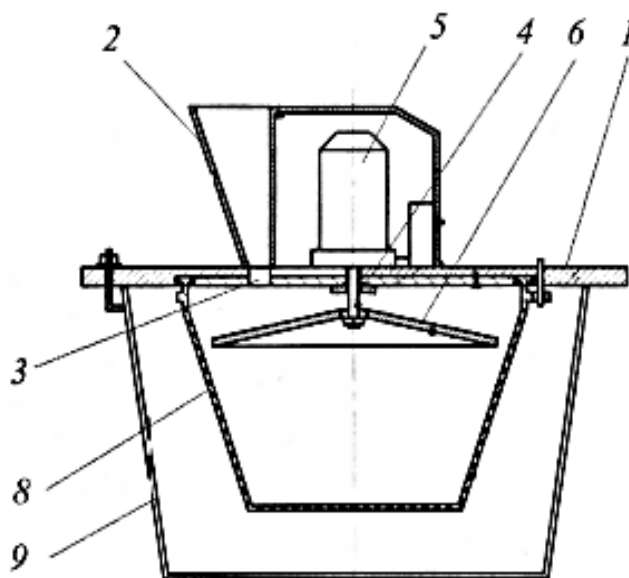
В настоящее время важным фактором решения задачи эффективного приготовления кормов из зерна является совершенствование используемого оборудования, в том числе и машин для дробления зерна, работа которых наиболее сильно влияет на качество получаемой продукции.

Основными машинами для дробления зерна являются молотковые, конусные, дисковые, жерновые, стержневые и роторные дробилки. Все эти машины используются в существующих технологиях по приготовлению кормов. Перечисленные типы машин воздействуют на зерно различными способами – сжатием, раздавливанием, ударом, раскалыванием и стиранием [1, 2, 3, 10].

От правильного выбора типа дробильной машины и способа дробления в значительной степени зависят качество готового продукта и эффективность работы всей технологической линии.

Для дробления зерна при производстве кормов в условиях сельскохозяйственных предприятиях малых форм собственности применяют машины для дробления зерна, отличающиеся простотой исполнения, малой энергоёмкости и удобством использования. Рассмотрим некоторые новые такие конструкции машин для дробления зерна.

Дробилка для зерна по приготовлению кормов, представленная на рисунке 1.2, содержит станину, привод, сито и отражатель. Загрузочный бункер с окном для выхода зерна закреплен на станине. На приводном валу размещена разгонная пластина. Рифли выполнены радиально загнутыми с уменьшающейся высотой. Сито и отражатель выполнены в виде усеченных конусов. Такое исполнение конструкция ведёт к повышению производительности и качеству дробления зерна [6].



1 – станина; 2 – загрузочный бункер; 3 – окно для выхода зерна; 4 – приводной вал; 5 – привод; 6 – разгонная пластина; 8 – сито; 9 – отражатель

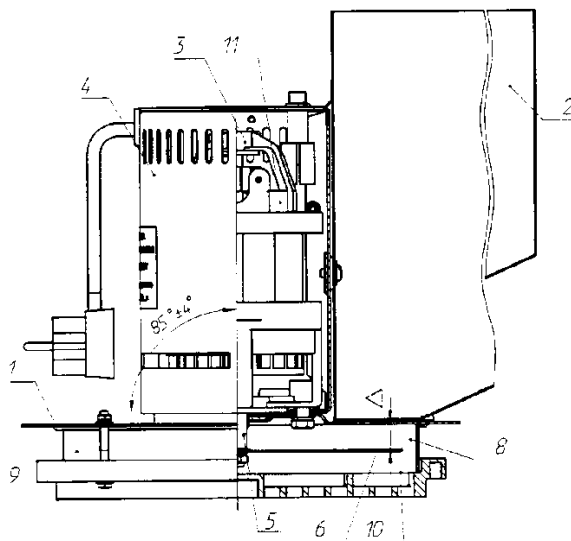
Рисунок 1.2 - Устройство для измельчения зерна (Патент RU 253 4111)

К недостатком данной конструкции можно отнести то, что материал сходит с разгонной пластины узкой струей, в результате чего на измельчение работает малая площадь отражательной пластины.

Следующая рассматриваемая нами дробильная машина для переработки зерна (рисунок 1.3) содержит основание, загрузочный бункер с окном для выхода зерна, измельчитель с защитным кожухом, причем последний установлен на основании, а измельчитель выполнен в виде электродвигателя, на валу которого установлена пластина и сито [7].

Электродвигатель снабжен термозащитой, установленной на его обмотке. Загрузочный бункер закреплен на защитном кожухе через

амортизирующие прокладки. Рабочие лопасти пластины заточены под углом $25\pm 5^\circ$. Измельчитель установлен на основании под углом $85\pm 4^\circ$ к основанию. Сито выполнено в виде съемной сетки, при этом основание, съемная сетка и обечайка образуют камеру дробления в которой расположена пластина с рабочими лопастями, установленная на валу электродвигателя. Применение такой машины повышает качество дробления зерна.



1 – основание; 2 – загрузочный бункер; 3 – измельчитель (в виде электродвигателя); 4 – защитный кожух; 5 – вал электродвигателя; 6 – пластина; 7 – рабочие лопасти; 8 – камера дробления; 9 – обечайка; 10 – съемная сетка; 11 – термopедохранитель

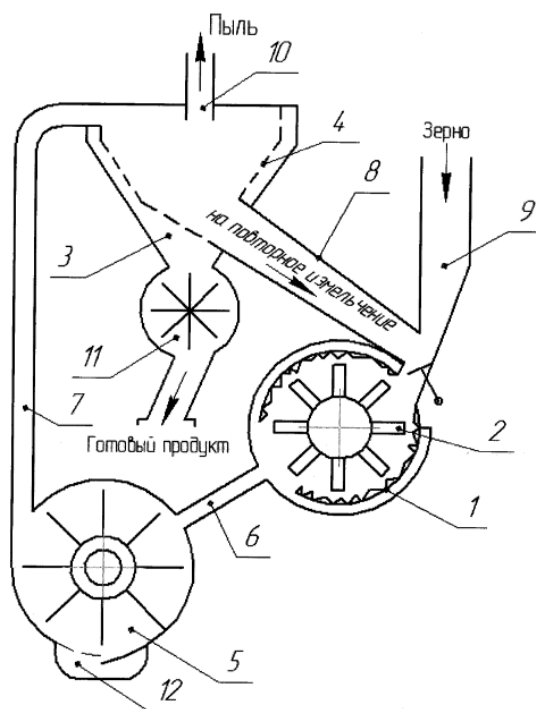
Рисунок 1.3 – Устройство для дробления зерна (Патент RU 151368)

Недостатками данной машины является высокая трудоемкость обслуживания, большой расход электроэнергии и массогабаритные характеристики измельчения зерна на фракцию типа муки, так как рабочие лопасти не имеют острой режущей кромки.

Следующая рассматриваемая нами модернизированная дробилка для зерна (рисунок 1.4) содержит дробильную камеру с ротором, вентилятор – швырялку, циклон, в которой установлено решето с зазором [8].

Вентилятор – швырялка зернопроводом соединен с выходом дробильной камеры, а кормопроводом сообщен с загрузочным бункером. В верхней части циклона установлен пылепровод, а в нижней – шлюзовой затвор,

предназначенный для вывода готового продукта. В нижней части корпуса вентилятора – швырялки установлена ловушка твердых включений, предназначенная для удаления инородных тел из продуктовой смеси, состоящей из трех фракций: пылевидной, требуемого гранулометрического состава и недоизмельченного зерна.



1 – дробильная камера; 2 – ротор; 3 – циклон; 4 – решетчатый механизм; 5 – вентилятор - швырялка; 6 – зернопровод; 7 и 8 – кормопроводы; 9 – загрузочный бункер; 10 – пылепровод; 11 – шлюзовый затвор; 12 – ловушка твердых включений

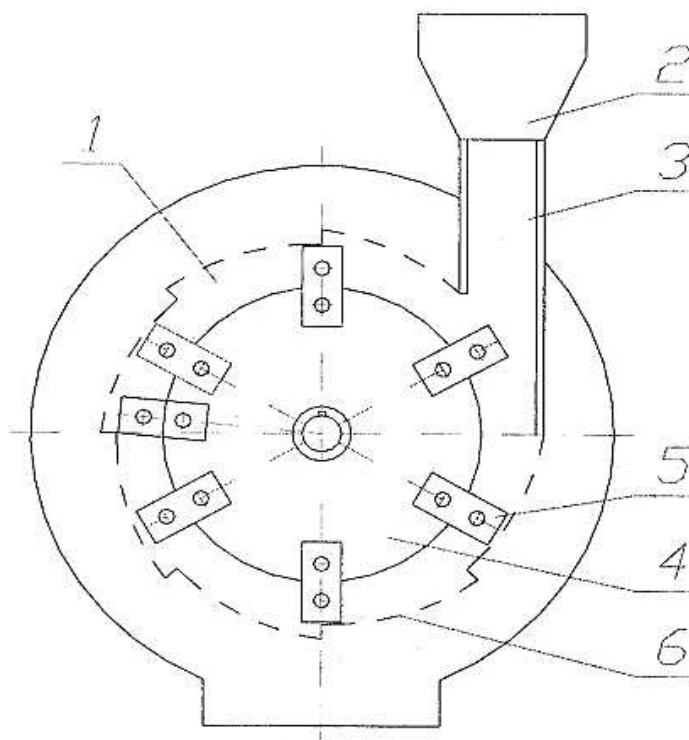
Рисунок 1.4 – Модернизированная дробилка для зерна (Патент RU 151368)

Загрузочный бункер установлен над загрузочным окном дробильной камеры. Решето состоит из двух одинаковых по форме и размерам секций – внутренней и наружной. Секции установлены соосно без зазора, при этом наружная секция шарнирно соединена с механизмом поворота и установлена с возможностью поворота относительно внутренней секций. Настройка решета на необходимый размер рабочей ячейки производится путем поворота наружной секции решета относительно внутренней.

Недостатком данной машины является повышенная энергоемкость и сложность обслуживания.

Дробилка для зерна (рисунок 1.5) относится к устройствам для измельчения зерновых кормов, а также других сыпучих материалов, применяемых для кормления животных [13].

Дробилка содержит дробильную камеру, бункер с загрузочной горловиной, решето, установленное по периферии дробильного ротора с молотками, причем решето выполнено в виде сегментов, расположенных так, что радиальный зазор между сегментами решета и молотками ротора периодически уменьшается по направлению вращения ротора, начиная от загрузочной горловины на величину от S_{max} до S_{min} , при этом тыльная часть кромки каждого отверстия решета выступает к центру ротора по ходу его вращения, а загрузочная горловина установлена тангенциально.



1 – дробильная камера; 2 – бункер; 3 – загрузочная горловина; 4 – ротор; 5 – молотки; 6 - решето

Рисунок 1.5 – Молотковая дробилка (Патент RU 2287371)

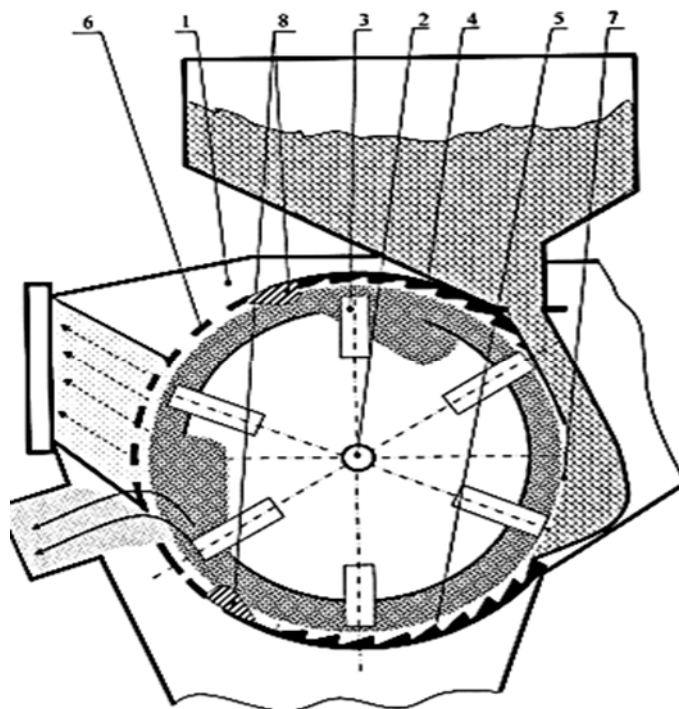
Недостатком данной конструкции молотковой дробилки является то, что кольцевой слой измельчаемого материала, возникающий внутри дробильной камеры при вращении ротора, приобретает большую окружную скорость и

снижает эффективность взаимодействия между молотками и измельчаемым материалом, роль решета как пассивного измельчающего органа при этом остается незначительной, это ведет к дополнительным непроизводительным энергозатратам.

Дробильная машина, представленная на рисунке 1.6, относится к устройствам для дробления зерна и других сыпучих материалов в сельском хозяйстве и комбикормовой промышленности [9].

Устройство содержит дробильную камеру, в которой размещены ротор с молотками, решето, нижняя и верхняя деки. На границах решета с деками дробильной камеры установлены разрыхлители.

Недостатком конструкции является образование однородного и расслоенного, в поперечном сечении, воздушно – продуктового слоя (ВПС), совершающего круговое движение внутри дробильной камеры. Расслоение ВПС представляет собой структуру, на периферии которой в большей части расположены крупные раздробленные и нераздробленные зерновки, а на противоположной части слоя, что ближе к центру вращения, - измельченные и переизмельченные зерновки. Это объясняется сепарацией частиц в слое измельчаемого материала под действием центробежных сил. Крупные частицы располагаются в основном на периферии кругового движения корма (на поверхности решет и дек), а мелкие – на внутренней поверхности слоя (в зоне действия молотков), при этом происходит переизмельчение мелких фракций корма. Крупные фракции корма перекрывают собой выход измельченного корма через решето и потребляют энергию на круговое вращение ВПС.



1 – дробильная камера; 2 – ротор; 3 – молотки; 4, 5 – нижняя и верхняя деки;
6 – решето; 7 – окно загрузки; 8 – разрыхлители

Рисунок 1.6 – Дробилка зерна (Патент RU 2568754)

Проведенный нами анализ новых конструкций машин для дробления зерна показал наличие большого количества решений их конструктивного исполнения. Данные машины достаточно просты в устройстве и могут быть использованы при приготовлении кормов в условиях сельскохозяйственного производства. Однако их анализ показал и некоторые их недостатки, которые могут снижать эффективность дробления зерна. Поэтому задача совершенствования конструкции машин для дробления зерна (дробилок) остается актуальной и на сегодняшний день.

1.3 Анализ теоретических исследований процесса разрушения зерна при дроблении

Определение величины энергии, затрачиваемой на преодоление внутренних сил сцепления зерен при их разрушении, является одной из основных задач в теории дробления и измельчения.

Измельчение – самая распространенная и важная операция в технологическом процессе подготовки кормов, обусловленная требованиями физиологии кормления животных.

Питательные вещества усваиваются организмом только в растворенном виде, а скорость обработки частиц корма желудочным соком прямо пропорционально площади их поверхности. В результате измельчения кормов образуется множество частиц с большей площадью поверхности, что способствует ускорению пищеварения и главное, лучшему усвоению питательных веществ. Так, например, за счет измельчения зерна продуктивное использование его повышается на 10...15%.

Результат разделение тел на части называется иногда дроблением, размолотом, резанием, измельчением

Измельчение можно характеризовать как процесс образования дополнительных поверхностей продукта. Измельченный продукт легче дозируется, равномернее смешивается, обладает лучшей сыпучестью.

Работа при измельчении продуктов затрачивается на:

- 1) отделение внутренних поверхностей измельчаемых частиц;
- 2) трение, возникающее между рабочими поверхностями и продуктом;
- 3) внутреннее трение частиц при их измельчении;
- 4) трение движущихся частей машин и другие механические сопротивления. Ввиду разнообразности направлений, по которым расходуется энергия при измельчении, является почти невозможным дать единую формулу для подсчета энергии при этом процессе.

Однако крошившиеся в течение продолжительного времени исследования в этой области выявили в основном две теории дробления, разработанные Ф. Киком и профессором П. Риттингером.

Фридрих Кик в своей теории исходит из расчета работы, необходимой для деформации измельчаемого продукта.

Из теории упругости известно, что работа деформации при сжатии равна:

$$A = \frac{\sigma \cdot V}{2 \cdot \epsilon}, \quad (1.1)$$

где (σ) – возникающее при деформации напряжение;

(ϵ) – модуль упругости (для зерна 1000 ... 5000 кг/см²);

(V) – объем измельчаемого тела.

Усилие, необходимое для измельчения, согласно теории Кика определяется следующим образом.

Из приведенной формулы (1.1) следует, что отношение работы, потребной для измельчения пропорционального объема измельчаемой частицы продукта:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}, \quad (1.2)$$

где (a_1) и (a_2) – линейные размеры частицы.

С другой стороны, работа равняется произведению силы на путь, поэтому

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{P_1 \cdot S_1}{P_2 \cdot S_2}, \quad (1.3)$$

где (P_1) и (P_2) – усилия измельчения;

(S_1) и (S_2) – соответствующие абсолютные деформации.

По закону Гука деформация тела пропорциональна его линейным размерам:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{a_1}{a_2}, \quad (1.4)$$

Подставляя в равенство (1.3) вместо отношения деформаций отношение линейных размеров, получаем:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{P_1 \cdot a_1}{P_2 \cdot a_2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}, \quad (1.5)$$

откуда,
$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}, \quad (1.6)$$

Таким образом, при теории Кика, работа на измельчение пропорциональна объему измельчаемого продукта, а усилия измельчения пропорциональны площади поперечного сечения этого продукта.

Теория Кика более правильна при дроблении крупных продуктов. При таком тонком измельчении, какое производится в мукомольном производстве, это теория имеет большие погрешности.

Более подходящей для измельчения зерна в муку является теория Риттингера. Риттингер исходит из работы, потребной для отделения внутренних поверхностей измельчаемых частиц.

Предположим, что кубическая частица, имеющая линейные размеры, равные 1 мм, измельчается в одном случае до частиц с линейным размером в 1/3 мм, а в другом случае до частиц с линейным размером в 1/4 мм.

Потребную работу для первого случая измельчения обозначим через (A3), а для другого через (A4). Работу, необходимую для отделения поверхности 1 мм², обозначим через (A).

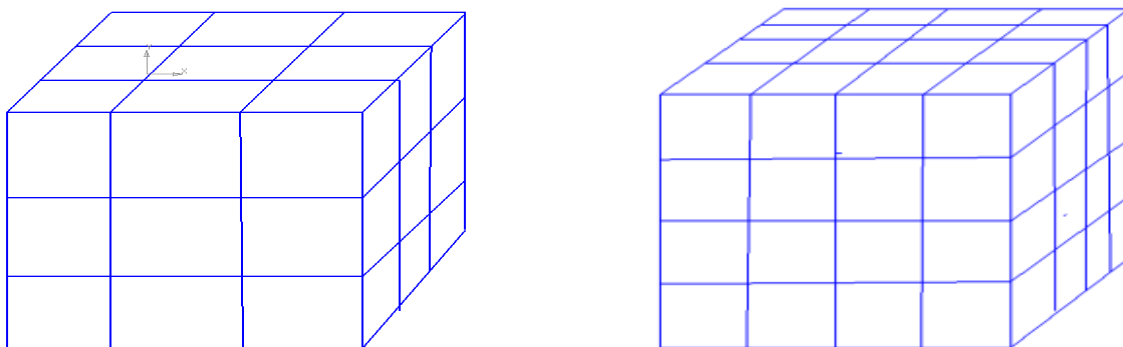


Рисунок 1.7 – Приращение новых поверхностей

Как видно из рисунка 1.7, для деления куба на части с линейными размерами, равными в $1/3$ мм, приходится отделение проводить по шести плоскостям. Поверхность каждой плоскости равна 1 мм^2 . Количество плоскостей выражается следующим образом:

$$6 = 3(3 - 1), \quad (1.7)$$

а работа на измельчение:

$$A_3 = 6A = 3A(3 - 1). \quad (1.8)$$

При делении куба на части, линейные размеры которых равны $1/4$ мм, приходится проводить девять плоскостей, с поверхностью в 1 мм^2 каждая. Число плоскостей выражается:

$$9 = 3(4 - 1). \quad (1.9)$$

Работа на измельчение:

$$A_4 = 9A = 3A(4 - 1). \quad (1.10)$$

Таким путем можно убедиться, что для измельчения куба на части с линейными размерами в n раз меньшими приходится проводить $3(n - 1)$ плоскости, и работа на такое измельчение будет равна:

$$A_n = 3A(n - 1). \quad (1.11)$$

При делении на (m) частей также получим:

$$A_m = 3Am(m - 1). \quad (1.12)$$

откуда

$$\frac{A_m}{A_n} = \frac{3A(m - 1)}{3A(n - 1)} = \frac{m - 1}{n - 1}. \quad (1.13)$$

При больших величинах (m) и (n) единицей можно пренебречь, и формула работы на измельчение получится:

$$\frac{A_M}{A_n} = \frac{m}{n}. \quad (1.14)$$

Число, показывающее во сколько раз линейный размер измельчаемых частиц больше линейного размера измельченных частиц, называется коэффициентом измельчения. Поэтому по теории Риттингера получаем, что работа на измельчение продукта прямо пропорциональна коэффициенту

измельчения. Кик значительно облегчил практическую возможность пользования формулой Риттингера, изменив ее в сторону замены показателя степени измельчения на линейные размеры измельчаемых и измельченных частиц.

При измельчении куба с линейным размером стороны (B) при коэффициенте измельчения (n) линейный размер измельчений частицы (b) будет равняться:

$$b = \frac{B}{n}, \quad (1.15)$$

откуда получаем:

$$n = \frac{B}{b}, \quad (1.16)$$

Подставив это выражение в формулу Риттингера, получим работу на измельчение куба с линейными размерами в миллиметрах:

$$A_n = 3A \cdot \left(\frac{B}{b} - 1 \right). \quad (1.17)$$

Если куб имеет длину сторон не в 1 мм, а в (B) мм, то площади раздела будут равны (B) мм² и работа измельчения будет:

$$A_B = 3A \cdot B^2 \left(\frac{B}{b} - 1 \right). \quad (1.18)$$

В 1 мм³ продукта, содержится 1/B³ кубиков со стороной в (B) мм. Поэтому работа измельчения единицы объема продукта, в данном случае 1 мм³ продукта, равна:

$$A_1 = 3A \frac{B^2}{B^3} \left(\frac{B}{b} - 1 \right) = 3A \left(\frac{1}{b} - 1 \right). \quad (1.19)$$

Если возьмем два случая измельчения одного и того же продукта при различных конечных размерах его части, то отношение затрачиваемой работы, согласно указываемой формуле, получается:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{3A \left(\frac{1}{b_1} - \frac{1}{B} \right)}{3A \left(\frac{1}{b_2} - \frac{1}{B} \right)} = \frac{b_2}{b_1} \cdot \frac{B - b_1}{B - b_2}, \quad (1.20)$$

Эта формула дает представление об изменении количества работы, затрачиваемой при измельчении зерна до различных линейных размеров частиц муки [22].

Как видно из этой формулы, чем меньше крупнота измельченных частиц, тем больше расход энергии.

Это положение находит свое подтверждение в мукомольном производстве, в котором получение более тонкой муки связано с большим расходом энергии на размол.

В 1928 году академик П.А. Ребиндер предложил оценивать работу измельчения как сумму работ, затрачиваемых на деформацию разрушаемых кусков и на образование поверхностей, впоследствии названную основным законом измельчения:

$$A = K\Delta V + \sigma\Delta F, \quad (1.21)$$

где K, σ - коэффициенты пропорциональности;

ΔV - деформированный объем;

ΔF - вновь образованная поверхность.

Необходимо отметить, что ни одна из ранее предложенных гипотез не дает достаточно точных результатов при теоретическом определении затрат энергии на дробление, следовательно энергетические гипотезы дробления можно рассматривать приближенными. В связи с этим при выводе формулы для расчета мощности привода дробилок, учитывая значительные расхождения между теоретическими и эмпирическими данными, необходимо в нее поправочные коэффициенты, полученные из экспериментальных исследований [23].

Используя основной закон измельчения (1.21) С.В. Мельников в 1952 г. предложил эмпирическую рабочую формулу для определения работы на дробление:

$$A_{\text{изм}} = C_{\text{пр}} [C_v \lg \lambda^3 + C_s(\lambda - 1)], \quad (1.22)$$

где $A_{\text{изм}}$ - полные затраты работы на измельчение, Дж/кг;

$C_{\text{пр}}$ - коэффициент процесса;

C_s, C_v - постоянные коэффициенты, Дж/кг;

λ - степень измельчения.

Степень измельчения λ определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{D_H}{dk}, \quad (1.23)$$

где D_H - средний начальный линейный размер материала, мм;

dk - средний конечный линейный размер материала, мм;

Сопоставляя вероятностному характеру процесса дробления марковский случайный процесс для степени измельчения Алешкиным В.Р. было получено следующее выражение:

$$\lambda = (t + 1)^\alpha \text{ или } \lambda = e^{\alpha \ln(t+1)}, \quad (1.24)$$

где t - время, с;

α - параметр процесса.

Формула (1.24) дает нам теоретически найденную зависимость степени измельчения от времени. Очевидно, что параметр процесса α определяется экспериментально и должен быть меньше единицы. Иначе, чем больше работает молотковая дробилка, тем быстрее возрастает степень измельчения λ . На самом деле следует ожидать, что с увеличением времени t степень измельчения λ возрастает

все медленнее [11]. Но в любом случае из формулы (1.24) следует, что степень измельчения может возрастать неограниченно.

Процесс измельчения кормов многостадийный и теоретически продолжается до тех пор, пока измельчаемый материал находится в камере измельчения. На практике можно допустить существование предельного времени измельчения $t_{пред}$, такого, что если время переработки измельчаемого материала превышает $t_{пред}$, то дальнейшего измельчения практически не происходит.

1.4 Задачи исследований

На основании проведенного анализа способов дробления зерна, машин используемых для дробления зерна, а также теоретических исследований процесса разрушения зерна при дроблении, нами выявлена необходимость в модернизации технических средств для дробления зерна, а в частности мобильных малогабаритных дробилок, поэтому для дальнейших исследований поставим следующие задачи:

1. разработать конструкцию дробилки зерна с учетом известных преимуществ и недостатков существующих машин;
2. разработать методику экспериментального исследования для определения средней силы разрушения зерна пшеницы;
3. разработать методику определения модуля помола зерна и электроэнергии;
4. провести лабораторные эксперименты по определению средней силы разрушения зерна;
5. провести эксперименты по определению удельной энергоемкости и модуля помола зерна;
6. произвести статистическую обработку полученных результатов эксперимента;
7. Сделать выводы по полученным результатам.

2 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ ЗЕРНА

2.1 Рекомендации для разработки и создания устройств для дробления зерна

Измельчением называется процесс механического разделения твердого тела на части. При этом действующие на тело внешние силы превосходят силы молекулярного сцепления [12].

Технологический результат работы дробильной машины оценивают тремя основными характеристиками:

- 1) размер раздробленных частиц;
- 2) их форма;
- 3) распределение частиц по размерным классам.

Несмотря на широкое распространение в технике и науке, процесс дробления теоретически мало изучен и еще недостаточно практически освоен. На современных измельчающих машинах производственного типа нельзя достичь точных размеров, определенной формы и наперед заданного распределения по размерным классам частиц раздробленного материала. Объясняется это прежде всего тем, что процесс дробления зависит от очень многих причин, частично совершенно случайных, поэтому по своему характеру весьма сложен.

Основные факторы, влияющие на процесс дробления, сводятся к следующему:

- 1) свойства материала: прочность, твердость, вязкость, однородность, состояние и вид поверхности, степень влажности, размеры, форма и взаимное расположение дробимых кусков, коэффициент трения между частицами материала и другие;

- 2) свойства дробильной машины: форма и состояние дробящей поверхности, ее скорость и характер движения, масса рабочего органа

(соотношение масс рабочего органа и материала), коэффициент трения рабочей поверхности по материалу и другие.

Дробление не только по количеству затрачиваемой энергии, но и по износу рабочих частей машины относительно весьма дорогой технологический процесс, и поэтому основной принцип дробления во всех отраслях, где измельчение материалов производят в производственных масштабах, — не дробить ничего лишнего.

Выполнением этого требования достигают:

- 1) увеличения производительности;
- 2) уменьшения расхода энергии;
- 3) уменьшения износа рабочих частей машины.

Возможно, более точное дробление до заданных размеров уменьшает пылеобразование. Пыль нежелательна в техническом, гигиеническом и экономическом отношениях. Она повышает износ машины, а также и расход энергии, так как увеличивает трение, затрудняет обслуживание и вредна для людей и животных, так как засоряет их дыхательные пути. Пыль представляет собой в значительной степени потери продукта. Мучная, сахарная, угольная, алюминиевая пыль так же, как и пыль многих других материалов, не способных к легкому воспламенению, взрывоопасна. Например, алюминиевая, магниевая и другая металлическая пыль так же, как и мучная, может при взаимодействии с кислородом воздуха воспламениться и взрываться от нагревательных приборов, электрической искры рубильника и других. Взрывы пыли чрезвычайно разрушительны, предупреждение их основано на эффективной вентиляции и правильной организации производства.

Ни одно из современных измельчающих устройств не может сообщить измельченному продукту монодисперсное состояние, и количество слишком крупных и чрезмерно измельченных частиц продукта доходит обычно до 25%. Количество пыли составляет 2% и больше.

Дробление может быть не только сухое, но и мокрое (смачивание дробимого материала водой). При мокром дроблении вместо пыли образуется шлам, условия работы благодаря этому более гигиеничны и безопасны, так как устраняется запыление воздуха и исключается возможность взрывов.

Сформулируем основные эксплуатационные требования, предъявляемые к устройству для дробления зерна, а также требования безопасности:

- поступление технологических материалов к режущим, измельчающим, дозирующим и другим рабочим органам должно быть без дополнительного ручного регулирования (разравнивания, подпрессовывания, дозагрузки и пр.);

- места прохождения технологического материала, являющиеся рабочей зоной операторов при технологическом обслуживании, должны быть снабжены дополнительными средствами защиты, исключающими производственную опасность;

- измельчающие диски (барабаны) дробилок и машин для подготовки кормов должны быть статистически и динамически отбалансированы;

- расположение точек смазки должно обеспечивать удобный и безопасный доступ к ним;

- наружные поверхности всех защитных ограждений приводов и карданов должны быть окрашены в отличительный сигнальный цвет (красный или желтый). Допускается вместо сплошной окраски нанесение 3...4 полос сигнального цвета под углом 45° на поверхности плоских защитных ограждений;

- узлы, системы и оборудование машины, выход из строя которых влечет за собой аварии, должны иметь повышенную прочность;

- в электрической схеме машин должна быть предусмотрена защита от перегрузок и короткого замыкания. В случае перегрузок по технологическим причинам устанавливается защита, обеспечивающая автоматическую разгрузку и отключение;

- машина должна обладать минимальными энергозатратами и оптимальными экономическими показателями.

2.2 Устройство и принцип действия предлагаемой дробилки зерна

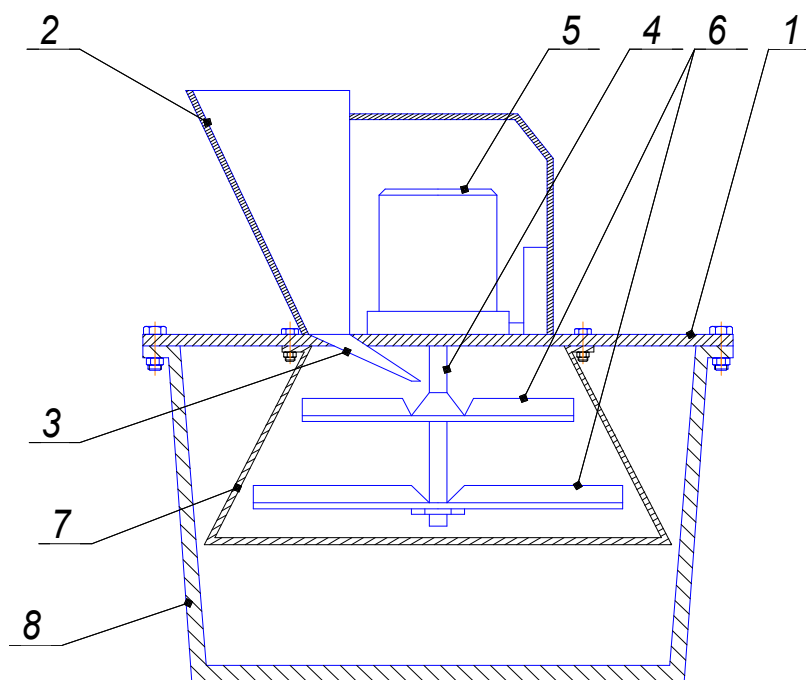
При проведении анализа устройств для дробления зерна, нами были рассмотрены различные новые изобретения, установки, применяемые в производстве, интернет ресурсы и книжные издания. В результате проведенного анализа были найдены основные преимущества и недостатки существующих машин для дробления зерна, на основе чего мы предлагаем новую конструкцию дробилки, которая представлена на рисунке 2.1.

Устройство для дробления зерна содержит: станину 1 с закрепленным на ней загрузочным бункером 2, снабженный подводным патрубком 3, сито 7 в виде усеченного конуса, отражатель 8, привод 5, установленный в станине вертикальный приводной вал 4 с верхним и нижним лопастными дисками 6.

Рабочий процесс осуществляется следующим образом. Зерно, поступающее из загрузочного бункера 2 через подводный патрубок 3 в центральную часть верхнего лопастного диска 6, разгоняется и ударяется об сито 7. Получив частичное разрушение зерно или продукт дробления отскакивает на нижний лопастной диск. Нижний лопастной диск повторно разгоняет продукт дробления и направляет его на сито для окончательного дробления. Продукт дробления, получивший в результате разрушения необходимый размер проходит сквозь сито, которое имеет отверстия диаметром равным необходимому диаметру дробленого продукта.

Повышение эффективности дробления происходит за счет того, что верхний и нижний лопастные диски служат для разгона зерна и подачи его на сито, а загнутые в сторону вращения лопасти обеспечивают придание зерну максимального ускорения. Подводный патрубок загрузочного бункера служит для подачи зерна непосредственно в центральную часть верхнего

диска, а выполнение сита в виде усеченного конуса обеспечивает отскок зерна, после первого удара, на второй диск, который разгоняет зерно для удара о сито для окончательного дробления.



1 – станина; 2 – загрузочный бункер; 3 – окно для выхода зерна; 4 – приводной вал; 5 – привод; 6 – верхний и нижний лопастной диск; 7 – сито; 8 – отражатель.

Рисунок 2.1 – Схема устройства для дробления зерна



Рисунок 2.2 - Общий вид устройства для дробления зерна



Рисунок 2.3 – Расположение лопастных дисков на валу электродвигателя



Рисунок 2.4 – Лопастной диск

Технический результат достигается тем, что в устройстве для дробления зерна содержащем станину с закрепленным на ней загрузочным бункером, сито, отражатель и привод, установленный в станине вертикальный приводной вал с верхним и нижним лопастными дисками,

лопасти которых загнуты в сторону их вращения, диаметр нижнего диска в 1,2...1,3 раза больше диаметра верхнего диска, сито выполнено в виде усеченного конуса, а загрузочный бункер снабжен подводным патрубком.

Полученная дробилка имеет следующие преимущества: объемная камера дробления, два разгонных лопастных диска, сито и отражатель выполнены в виде конической формы. Такое исполнение конструкции ведет к повышению производительности и качеству дробления зерна.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Общий план исследований

Программа проведения лабораторных экспериментов заключалась в следующем:

1. Определение средней силы удара для разрушения зерна пшеницы;
2. Определение модуля помола зерна;
3. Определение удельного расхода электроэнергии при дроблении;
4. Статистическая обработка результатов экспериментов.

3.2 Методика определения средней силы удара для разрушения зерна пшеницы

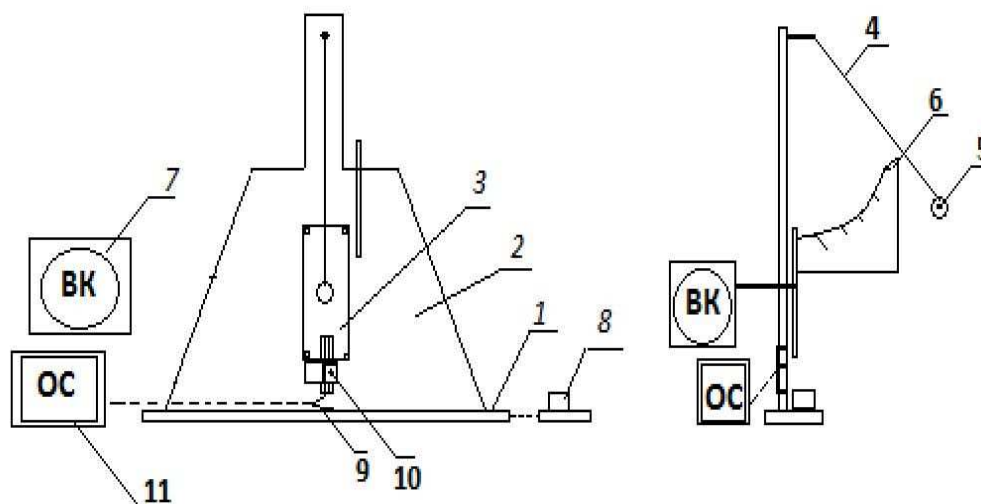
Для нахождения величину средней силы удара разрушения зерна пшеницы и его структурных элементов разработаны методика и экспериментальная (лабораторная) установка (рисунок 3.2), состоящая из следующих основных узлов: опора 1, с вертикальной стойкой 2, на которой закреплена контактная плоскость 3. Имеется нить 4 с грузом 5, а отклонение нити от контактной плоскости определяется углом измеряемым по шкале 6. На контактной плоскости в точке соударения с грузом располагается пробоина, к которому с другой стороны стойки подключен вакуумный насос 7. Он создает разрежение, необходимое для удерживания в этой самой точке исследуемое зерно. Также на контактной плоскости зафиксирована кнопка 10, которая соединена с контактной плоскостью так, что при ударе груза происходит замыкание и создается импульс для подачи сигнала от во время удара об нее груза. Импульс создается путем подачи сигнала высокого логического уровня от источника напряжения 8. Импульс проходит через кнопку 10 в систему измерения 9 только тогда, когда груз 5 соприкасается с

контактной плоскостью кнопки. Фиксация времени удара ведется при помощи системы измерения 9, которая создана на основе микропроцессора. Полученные результаты работы программы подаются на систему визуализации, созданной на базе ЭВМ [24].



Рисунок 3.1 – Экспериментальная лабораторная установка

Более простая электрическая схема работы предлагаемой лабораторной установки изображена на рисунке 3.3. За счет замыкания кнопки, импульс поступает на вход микропроцессора. При появлении импульса на входе, микропроцессорная плата включается с помощью двоичного таймер-счетчика, который показывает момент первого размыкания кнопки. Последнее измерение для уменьшения влияния «дребезга контактов» кнопки. Для защиты необходимых результатов от данного эффекта, также возможно применить избегание размыкания кнопки, то есть впоследствии срабатывания за время, которое не превышает трети наименьшего возможного времени удара.



1 – нижняя опора; 2 – боковая опора; 3 – контактная плоскость; 4 – нить; 5 – груз; 6 – шкала; 7 – вакуумный компрессор; 8 – источник постоянного напряжения; 9 – система измерения; 10 – кнопка; 11 – отображающая программа

Рисунок 3.2 – Общий вид экспериментальной лабораторной установки для определения средней силы удара при измельчении зерна и его частей

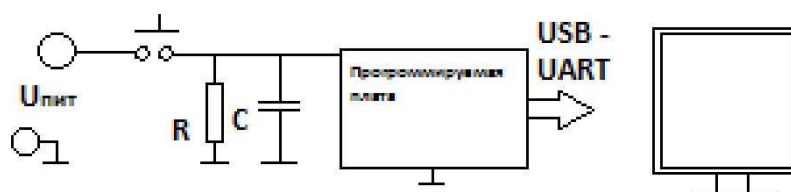


Рисунок 3.3 - Упрощенная электрическая принципиальная схема работы установки

К данной установке, дополнительно применяется фильтрующая RC-цепь. Ее целью является сглаживания вибраций, созданных «дребезгом контактов». Все необходимые значения переходят с таймер-счетчика в индивидуальный персональный компьютер, где производятся дальнейшие вычисления.

В данной конструкции применяется микропроцессор Launspad C 2000 от Texas Instrument. В нем имеется 32-битный таймер - счетчик. Установленная тактовая частота работы микропроцессора $f_0 = 60$ МГц.

Для того чтобы установить значение средней силы удара для

разрушения структурных составляющих зерна пшеницы используется последующий способ: для этого выбирается зерно пшеницы определенной влаги. Оно устанавливается на контактной плоскости 3, где будет удерживаться за счет вакуумного компрессора 7. Вакуумный компрессор позволяет удерживать зерно пшеницы в точке соприкосновения груза с контактной плоскостью, создавая при этом разрежение. Далее груз 5 с нитью 4 отклоняется на определенный угол и отпускается. Таким образом, груз 5 ударяясь в кнопку 10 замыкается, и далее сигнал от источника постоянного напряжения импульс поступает в измерительную систему 9. Конструкция измерения определяет число n срабатываний таймер-счетчика за период замыкания кнопки 10 и представляет выбранное число в отображающую программу 11. На основании количества n срабатываний таймер-счетчика, определяется начальный и конечный углы отклонения груза с нитью. И далее ведутся следующие вычисления влажности зерна пшеницы и его структурных компонентов.

Чтобы определить длительность времени удара τ количества срабатываний таймер-счетчика, умножают на период повторных импульсов T , который образуется генератором микропроцессора:

$$\tau = nT, \quad (3.1)$$

где τ – длительность удара, с;

n – число импульсов, шт.;

$T = 1/f_0$ – период тактовых импульсов, с.

При определении средней силы удара для измельчения зерна и его частей воспользуемся теоремой об изменении импульса материальной точки:

$$m(v_2 - v_1) = (mg + N + F) \cdot \tau, \quad (3.2)$$

где m – масса груза, кг;

$v_2 - v_1$ – скорости груза до и после удара, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

N – внешняя сила, Н;

F – средняя сила удара, Н;

τ – длительность удара, с.

Изменяя зависимость (3.2), можно получить выражение определяющее среднюю силу удара:

$$F = v_2 + v_1 / \tau, \quad (3.3)$$

где F – средняя сила удара, Н;

m – масса груза, кг;

$v_2 - v_1$ – скорости груза до и после удара, м/с;

τ – длительность удара, с.

Скорости груза v_1 и v_2 можно определять применяя теорему об изменении механической энергии. Данное изменение можно определить механической энергии системы определяется суммарной значимостью внешних и внутренних потенциальных сил. На основании того, что внешняя сила N , которая является перпендикулярной перемещению, и при этом нить находится в состоянии не растяжимости, следовательно сила N не совершает работу, а сила mg обладает потенциальной энергией. Таким образом теорема об изменении механической энергии не изменяется и может быть определена:

$$mgh = mv_2^2 / 2 \quad (3.4)$$

Преобразуя уравнение 3.4, находим начальную и конечную скорости груза:

$$v_{1,2} = 2 \sin \frac{a_{1,2}}{\sqrt{gl}}, \quad (3.5)$$

где a_1 и a_2 – это углы отклонения груза до и после соударения, в град.

Используя выше изложенную методику, можно узнать диапазон средней силы удара для разрушения зерна пшеницы, необходимый для точного снятия оболочки и разрушения ядра. Знание значения средней силы удара

для разрушения зерна и его частей, помогут при разработке как конструктивных так и технологических параметров дробилок, которые обеспечивают эффективную и качественную переработку продукта.

3.3 Методика определения модуля помола зерна

О качестве продукта, полученного при измельчении, судят по результатам ситового анализа, выполняемого на решетном классификаторе. Показатель, с помощью которого можно оценить тонкость помола в соответствии с ГОСТом 8770-58, является средневзвешенный диаметр частиц (модуль), определяемый по формуле:

$$M = \frac{0,5 \cdot G_0 + 1,5 \cdot G_1 + 2,5 \cdot G_2 + 3,5 \cdot G_3}{100}, \quad (3.6)$$

где M – модуль помола, мм;

G_0 – масса навески на дне классификатора, г;

G_1, G_2, G_3 – масса навесок на ситах с отверстиями диаметром соответственно 1, 2 и 3 мм, г.

Помол считается:

- тонким при $M = 0,2 \dots 1$ мм;
- средним при $M = 1 \dots 1,2$ мм;
- крупным при $M = 1,8 \dots 2,6$ мм.

О работе дробилки судят по степени измельчения зерна, определяемой из выражения:

$$\lambda = \frac{D_{\text{э}}}{d_{\text{ср}}}, \quad (3.7)$$

где d_{CP} – средневзвешенный диаметр частиц (модуль) измельченного зерна, мм;

$D_э$ – диаметр шара объемом, равным объему одного зерна, называемый эквивалентным диаметром зерна.

По данным С.В. Мельникова, для расчета можно принять значение $D_э$ для пшеницы равным 3,8 мм; овса – 3,7 мм; ржи – 3,3 мм; ячменя – 4,2 мм. Определить удельную площадь поверхности зерна из-за сложной его формы довольно затруднительно. Поэтому определение удельной площади поверхности зерна основывается на использовании понятия эквивалентного диаметра $D_э$.

Определяют эквивалентный диаметр зерна следующим образом.

Из партии зерна отбирают навеску массой 0,5 кг, руководствуясь методикой ГОСТ 3040-55 «Зерно. Методы определения качества».

Из пробы выделяют две навески зерна по 5 г и от каждой из них отобрать по 100 зерен. Взвешивают отобранные 100 зерен и определяют среднюю массу одного зерна.

В наполненный керосином мерный цилиндр (в мензурку) помещают 100 отобранных зерен и по разнице отметок уровня керосина до и после погружения зерен находят средний объем зерна V_3 , см³.

Опт по определению среднего объема одного зерна V_3 , повторяют еще раз на другой партии из 100 зерен и для дальнейших расчетов принимают среднее значение из двух определений.

По полученному значению объема зерна вычисляют эквивалентный диаметр зерна $D_э$ по формуле:

$$D_э = 1,24\sqrt[3]{V_3}. \quad (3.8)$$

По полученному значению $D_{\text{э}}$ определяют удельную площадь поверхности S_H , $\text{см}^2/\text{г}$ исходного (начального) зернового материала по формуле:

$$S_H = \frac{6}{\rho D_{\text{э}}}, \quad (3.9)$$

где ρ – плотность зерна, $\text{г}/\text{см}^3$.

3.4 Методика определения удельного расхода электроэнергии на процесс дробления

Наряду с определением удельного расхода энергии на измельчение единицы зерна, представляет интерес и значение удельного расхода энергии на образование единицы новой поверхности при измельчении зерна.

В этом случае принимают во внимание результативность процесса, качество дробления. Поэтому для определения затрат на процесс дробления рассчитывают расход полезной энергии на образование единицы новой поверхности по формуле:

$$A = \frac{P_{\text{д}} - P_{\text{хх}}}{Q \Delta S}, \quad (3.10)$$

где A – удельный расход энергии, $\text{Дж}/\text{м}^2$;

$P_{\text{д}}$ – мощность на валу ротора дробилки при дроблении, Вт ;

$P_{\text{хх}}$ – мощность холостого хода дробилки, Вт ;

ΔS – приращение удельной площади поверхности, $\text{м}^2/\text{кг}$.

Значение $P_{\text{д}}$ принимаем согласно технической характеристики; $P_{\text{хх}}$ принять 15% установленной мощности двигателя. Производительность дробилки, $\text{кг}/\text{с}$, определяют по формуле:

$$Q = \frac{G}{t}, \quad (3.11)$$

где G – масса измельченного за время опыта зерна, кг;

t – продолжительность опыта, с.

Для энергетической характеристики процесса дробления следует определить величину удельного расхода полезной энергии на единицу массы по формуле:

$$A_M = \frac{P_D - P_{XX}}{Q}, \quad (3.12)$$

где A_M – удельный расход энергии на единицу массы, Дж/кг.

3.5 Методика статистической обработки результатов экспериментов

Одной из задач статистической обработки результатов экспериментальных данных – это отыскание некоторых величин, характеризующих выборную статистическую совокупность. Достаточную информацию об эксперименте можно получить по таким характеристикам: среднее значение \bar{x} ; стандартное отклонение (среднее квадратическое отклонение) – S ; стандартная ошибка (ошибка средней) – $S_{\bar{x}}$; коэффициент вариации – v .

Наиболее широко используемой характеристикой является средняя арифметическая, представляющая собой частное от деления суммы значений всех вариантов на их число:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x}{n}. \quad (3.15)$$

Одна из важнейших статистических характеристик – среднее квадратическое отклонение, характеризующее рассеяние значений вариант по отношению к середине распределения, т.е. к средней арифметической:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (3.16)$$

где x - значение отдельных вариантов;

\bar{x} - средняя арифметическая;

n - число вариант.

Среднеквадратическое отклонение – именованное число и выражается в тех же единицах, что и данные измерения. Это затрудняет сравнение разноразмерных признаков для оценки степени их варьирования. Относительный показатель изменчивости изучаемого материала может быть вычислен в виде коэффициента вариации:

$$v = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\%. \quad (3.17)$$

Одна из основных задач статистического анализа – установление степени приближения оценок (средней арифметической, среднего квадратического отклонения и других), вычисленных для выборки, к таким же параметрам генеральной совокупности. Прямая проверка этого, как правило, невозможна, однако теория математической статистики дает возможность с определенной вероятностью установить пределы, в которых находится средняя генеральной совокупности. Для этого вычисляется ошибка средней:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (3.18)$$

Эта величина, выраженная в тех же единицах измерения, что и средняя арифметическая, характеризует ошибку, которая допускается, рассматривая \bar{x} в качестве средней генеральной совокупности. Учитывая это, среднюю арифметическую записывают обычно с ее ошибкой - $\bar{x} = \pm S_{\bar{x}}$. Стандартное отклонение, средняя квадратичная ошибка отдельного измерения

определяется по следующей формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{m_i}^{\Pi} (m_{cp} - m_i)^2}{\Pi}}, \Pi \rightarrow \infty \quad (3.19)$$

где m_{cp} - среднее арифметическое значение;

m_i - значение отдельных вариантов;

Π - повторность. (периодичность).

Коэффициент вариации – относительная средняя квадратическая ошибка измеряется в процентах и определяется по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{x} \times 100\%. \quad (3.20)$$

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

4.1 Результаты исследований определения средней силы удара для разрушения зерна пшеницы

Одним из основных показателей, характеризующих физико-механические и технологические свойства зерна, является влажность, оказывающая влияние на разницу в величинах разрушающих усилий оболочки и ядра зерна пшеницы.

Для дробления зерна пшеницы в существующих машинах оптимальная влажность ее считается 9...14%. Эксперименты проводились с зерном с влажностью 9,8; 12,5; 12,9; 13,5; 14,1%.

Проведя эксперименты, согласно методике изложенной в разделе 3, нами были проведены эксперименты по определению средней силы разрушения зерна пшеницы в зависимости от влажности.

Данное исследование проводилось нами на экспериментальной лабораторной установке для определения средней силы разрушения зерна (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Экспериментальная лабораторная установка для определения средней силы разрушения зерна

В качестве объекта исследования был выбран один из сортов пшеницы – «Казанская-560».

Вначале отбираем необходимое количество зернового материала (партии зерна) (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Отбор исследуемого зернового материала

На каждом этапе эксперимента исследованию подвергалось 50 шт. семян пшеницы. Данные экспериментальных исследований приведены в приложении (см. Приложение А).

Первый эксперимент проводится при угле подачи 20° (рисунок 4.4).

Зерно необходимой влажности устанавливается на контактной плоскости, где удерживается за счет вакуумного компрессора Вакуумный компрессор позволяет удерживать зерно пшеницы в точке соприкосновения груза с контактной плоскостью, создавая при этом разрежение. Далее груз с нитью отклоняется на определенный угол и отпускается. Таким образом, груз ударяясь в кнопку замыкается, и далее сигнал от источника постоянного напряжения импульс поступает в измерительную систему.



Рисунок 4.3 – Экспериментальная лабораторная установка
подключенная к вакуумному компрессору

Процесс экспериментального определения средней силы разрушения за счет удара груза показан на рисунке 4.4.

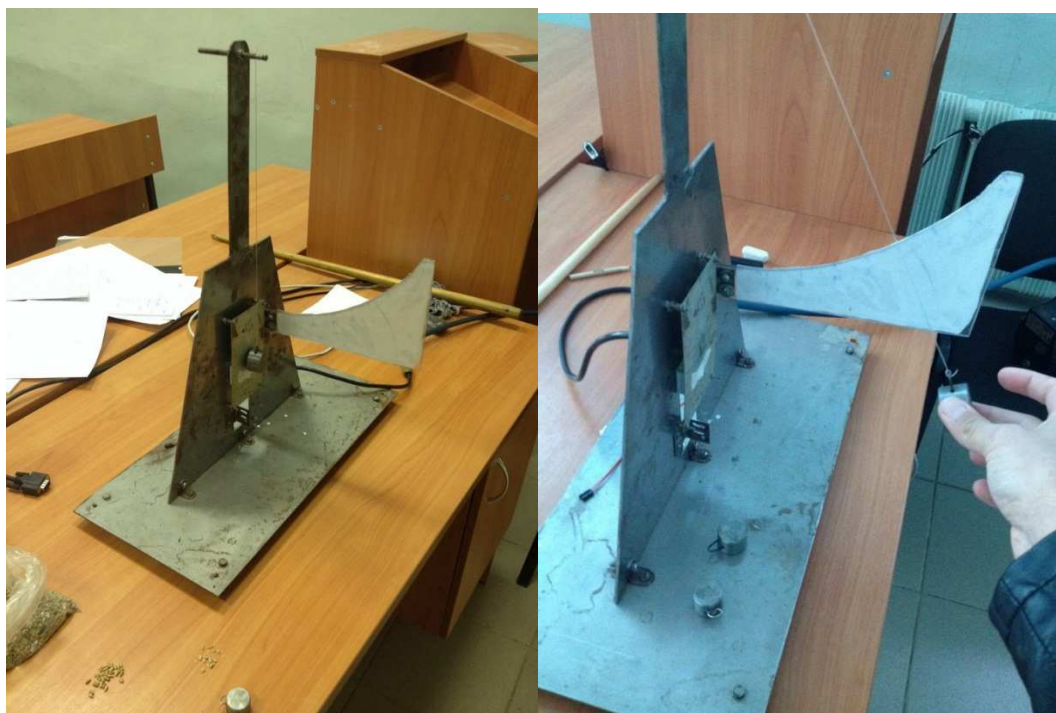


Рисунок 4.4 – Регулировка угла отклонения. Проведение эксперимента

Таким образом, в зависимости от угла подачи зерновой материал

разрушается при ударе о груз, и измельченные частицы собираются на основании экспериментальной лабораторной установки.

Затем определяем количество разрушенных семян и вносим эти данные в таблицу (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Разрушенные семена

Последующие эксперименты проводились изменяя влажность зерна пшеницы, массы и угол отклонения груза.

1. Влажность зерна 9,8%, длина нити экспериментальной лабораторной установки $l = 0,367$ см, угол отклонения груза $\alpha_1 = 20^\circ$, $\alpha_2 = 30^\circ$, $\alpha_3 = 45^\circ$, массы груза $m_1 = 0,088$ кг, $m_2 = 0,126$ кг, $m_3 = 0,198$ кг.
2. Влажность 12,5%, длина нити экспериментальной лабораторной установки $l = 0,367$ см, угол отклонения груза $\alpha_1 = 20^\circ$, $\alpha_2 = 30^\circ$, $\alpha_3 = 45^\circ$, массы груза $m_1 = 0,088$ кг, $m_2 = 0,126$ кг, $m_3 = 0,198$ кг.
3. Влажность 12,9%, длина нити экспериментальной лабораторной установки $l = 0,367$ см, угол отклонения груза $\alpha_1 = 20^\circ$, $\alpha_2 = 30^\circ$, $\alpha_3 = 45^\circ$, массы груза $m_1 = 0,088$ кг, $m_2 = 0,126$ кг, $m_3 = 0,198$ кг.
4. Влажность 13,5%, длина нити экспериментальной лабораторной установки $l = 0,367$ см, угол отклонения груза $\alpha_1 = 20^\circ$, $\alpha_2 = 30^\circ$, $\alpha_3 = 45^\circ$, массы груза $m_1 = 0,088$ кг, $m_2 = 0,126$ кг, $m_3 = 0,198$ кг.
5. Влажность 14,1%, длина нити экспериментальной лабораторной

установки $l = 0,367$ см, угол отклонения груза $\alpha_1 = 20^\circ$, $\alpha_2 = 30^\circ$, $\alpha_3 = 45^\circ$,
 массы груза $m_1 = 0,088$ кг, $m_2 = 0,126$ кг, $m_3 = 0,198$ кг.

По полученным данным, по формуле 3.2, определяем среднюю силу разрушения зерна, а итоговые результаты сводим в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 - Результаты значения средней силы разрушения зерна пшеницы

Влажность, W (%)	Зерно, $F_{\text{ср}}$ (Н)
9,8	11,31
12,5	11,35
12,9	11,43
13,5	11,52
14,1	11,61

По таблице 4.1 видно, что при влажности зерна пшеницы 9,8% его средняя сила разрушения равна 11,31 Н, при влажности зерна пшеницы 12,5% его средняя сила разрушения равна 11,35 Н, при влажности зерна пшеницы 12,9% его средняя сила разрушения равна 11,43 Н, при влажности зерна пшеницы 13,5% его средняя сила разрушения равна 11,52 Н, при влажности зерна пшеницы 14,1% его средняя сила разрушения равна 11,61 Н.

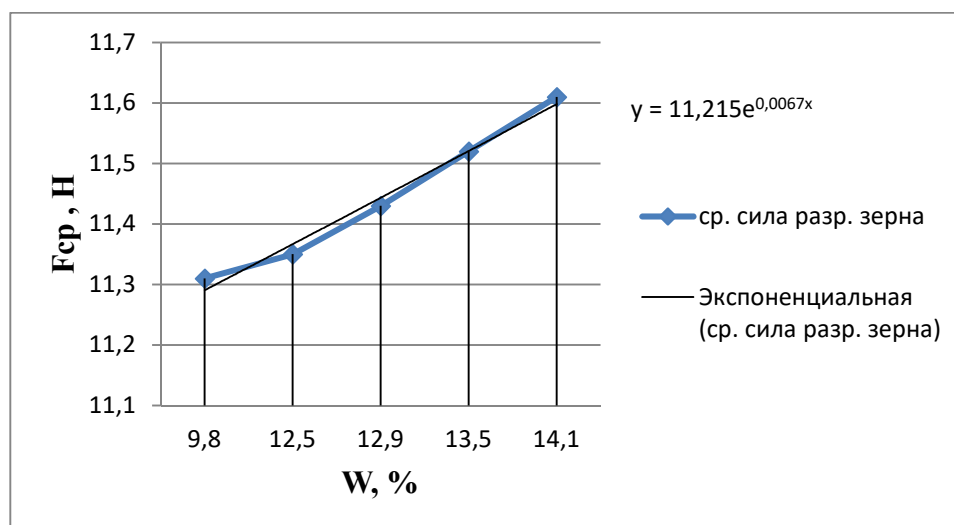


Рисунок 4.6 – График определения средней силы разрушения зерна в зависимости от влажности

$$Y = 11,215e^{0,0067x}$$

В представленном рисунке 4.6 видно, что график определения средней силы разрушения зерна возрастает, т.е. с повышением влажности зерна, увеличивается и средняя сила его разрушения.

Выше рассматриваемая нами экспериментальная лабораторная установка позволяет определять среднюю силу разрушения любой культуры. Знание этого технологического свойства позволит при разработке новых сельскохозяйственных машин и их рабочих органов, взаимодействующих с зерном, рационально выбирать технологические режимы и конструктивное исполнение для повышения эффективности работы. Также знание среднюю силу разрушения зерна позволит контролировать процесс обработки и переработки зерна техническими средствами и своевременно вносить в этот процесс поправки.

4.2 Результаты определения модуля помола зерна

Отличительной особенностью исследуемого устройства для дробления зерна является работа двух лопастных дисков в рабочей камере, диаметр которых равен 200 и 140 мм.

Исследования проводились с целью расширения технологических возможностей устройств для дробления зерна и определение степени измельчения.

Известно, что на степень измельчения оказывают влияние различные факторы. В дисковых дробилках к ним относятся: расстояние между дисками, профиль дробильной камеры, влажность исходного материала, скорость лопастных дисков, время пребывания материала в рабочей камере, месторасположение окна для выхода зерна и т.д.

Оценка эффективности работы дробилки проводилась по следующим показателям: степень измельчения λ , пропускная способность Q , модуль

помола M , удельная энергоемкость Ne .

Основными задачами исследования являлись изучение влияния различных конструктивных и технологических параметров устройства дробилки на качество измельчения, т.е. на модуль помола M , на удельную энергоемкость процесса дробления Ne , на пропускную способность Q .

Для определения модуля помола нами был использован ситовый классификатор, представленный на рисунке 4.7.



Рисунок 4.7 – Ситовый классификатор (вибропривод ВП-30Т)

Для определения модуля помола была взята навеска из полученного материала после дробления зерна в разработанном устройстве. Для определения массы навески использовались - весы электронные настольные МК-32.2-А20 (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Процесс взвешивания семян

Для определения модуля помола были использованы металлические сита четырёх размеров отверстий (4.9):

- Второе сито – 1,0 мм;
- Третье сито – 2,0 мм;
- Четвертое сито – 3,0 мм.



Рисунок 4.9 – Подбор необходимых сит



Рисунок 4.10 – Подготовка эксперимента

После того, как все необходимые элементы подготовлены, приступаем к определению модуля помола. Ставим устройство на ровную поверхность, подключаем к электропитанию, устанавливаем необходимое количество сит, засыпаем зерно и закрепляем с двух сторон горизонтальной планкой. После этого ставим таймер отчета времени на 2 мин. и запускаем устройство (рисунок 4.11).

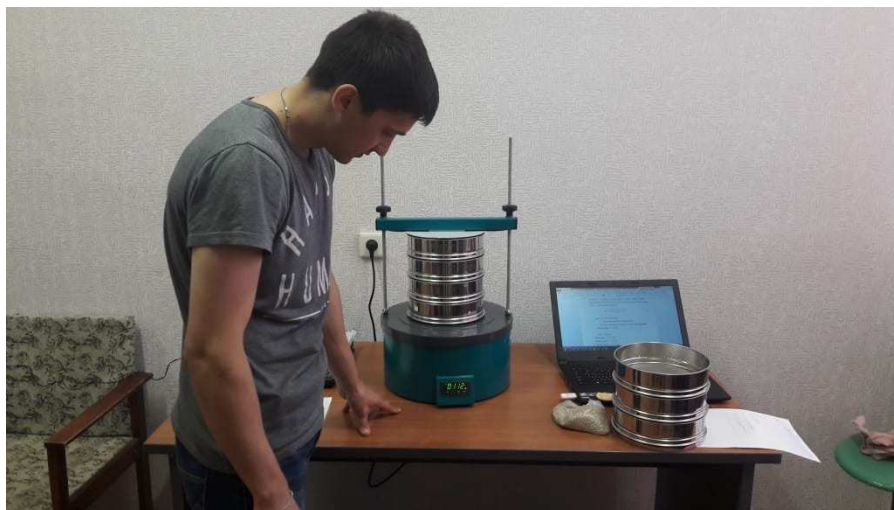


Рисунок 4.11 – Работа ситового классификатора

В результате проведенного эксперимента нами выявлено измельченное в разработанном устройстве зерно оказалось разделено на фракции по размерам, в г. (рисунок 4.12):

- а) первый помол – 20 г, диаметр частиц более 3 мм;
- б) второй помол – 30 г, диаметр частиц от 2 до 3 мм;
- в) третий помол – 100 г, диаметр частиц от 1 до 2 мм;
- г) четвертый помол – 20 г, диаметр частиц менее 1 мм.



Рисунок 4.12 – Результат эксперимента

Определяем модуль помола:

$$M = \frac{0,5 \cdot 20 + 1,5 \cdot 100 + 2,5 \cdot 30 + 3,5 \cdot 20}{100} = 3,5 \text{ мм}$$

Помол считается:

- тонким при $M = 0,2 \dots 1$ мм;
- средним при $M = 1 \dots 1,8$ мм;
- крупным при M более 1,8 мм.

Для определения степени измельчения λ воспользуемся формулой (3.7):

$$\lambda = \frac{3,8}{2,7} = 1,4 \text{ мм}$$

4.3 Результаты исследований определения удельного расхода электроэнергии на процесс дробления

Для определения затрат на процесс дробления рассчитаем расход полезной энергии на образование единицы новой поверхности по формуле:

$$A = \frac{60 - 45}{230 \cdot 10,7} = 0,006 \text{ Дж} / \text{м}^2$$

где A – удельный расход энергии, Дж/м²;

P_d – мощность на валу ротора дробилки при дроблении, Вт;

$P_{ХХ}$ – мощность холостого хода дробилки, Вт;

ΔS – приращение удельной площади поверхности, м²/кг.

Значение P_d принимаем согласно технической характеристики; $P_{ХХ}$ принять 15% установленной мощности двигателя. Производительность дробилки - 230 кг/ч.

Для энергетической характеристики процесса дробления следует определить величину удельного расхода полезной энергии на единицу массы по формуле:

$$A_M = \frac{15}{230} = 0,5 \text{ Дж/кг}$$

где A_M – удельный расход энергии на единицу массы, Дж/кг.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

При выполнении выпускной квалификационной работы (магистерской диссертации) нами был проанализированы теоретические исследования процесса дробления зернового материала и существующие, используемых в сельскохозяйственном производстве, конструкции устройств для дробления зерна. На основе анализа существующих конструкций машин для дробления зерна нами была разработана новая конструкция устройства дробилки, обеспечивающая повышение эффективности дробления. Разработанное устройство не уступает в эффективности дробления другим известным машинам, имеет высокую производительность (230 кг/ч), малогабаритная, энергоэффективная и может быть эффективна в работе, как отдельно, так и в комплексе с другими машинами.

Для проведения научных исследований по определению средней силы разрушения зерна нами была использована экспериментальная лабораторная установка, на которой были проведены эксперименты по определению средней силы разрушения зерна в зависимости от влажности. Результаты эксперимента показали, что при влажности зерна пшеницы 9,8 % его средняя сила разрушения равна 11,31 Н, при влажности зерна пшеницы 12,5 % его средняя сила разрушения равна 11,35 Н, при влажности зерна пшеницы 12,9 % его средняя сила разрушения равна 11,43 Н, при влажности зерна пшеницы 13,5 % его средняя сила разрушения равна 11,52 Н, при влажности зерна пшеницы 14,1 % его средняя сила разрушения равна 11,61 Н.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зиганшин, Б. Г. Повышения эффективности технических средств приготовления кормов в животноводстве на основе расширения технологических возможностей измельчителей : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Зиганшин Булат Гусманович. – Казань, 2004. – 303 с.

2. Зиганшин Б. Г. Энергосберегающие технические средства в молочном животноводстве / Б. Г. Зиганшин, Р. Р. Лукманов, Р. Р. Гайнутдинов // Global Problems Of the State, Reproduction And Use Of Natural Resources Of the Planet Earth: материалы XXIX междунар. научн.-практ. конференции. – Лондон: IASHE, 2012. – С. 74-75.

3. Зиганшин Б.Г., Лукманов Р.Р., Дмитриев А.В., Халиуллин Д.Т. Разработка способа определения механических микроповреждений зерна. / Фундаментальные исследования. 2015. № 12-2. С. 264-267.

4. Лотфуллин Р.Ш. К определению силы удара зерна о деку пневмомеханического шелушителя / Р.Ш. Лотфуллин, Р.И. Ибятгов, А.В. Дмитриев // Техника и оборудование для села. 2015. №10. С 38-40.

5. Лотфуллин Р.Ш., Ибятгов Р.И., Дмитриев А.В. Влияние коэффициента восстановления зерна на процесс шелушения при его ударе о деку пневмомеханического шелушителя. Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-29: сб. трудов XXIX Междунар. науч. конф.: в 12 т. Т.5 / под общей редакцией А.А. Большакова. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т; Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), СПбПУ, СПИИРАН; Самара: Самарск. гос. техн. ун-т, 2016. – С. 34-37.

6. Патент на изобретение 2534111 С1 RU, МПК В02С13/04, В02С9/00. Устройство для дробления зерна / В.И. Лобанов, С.Ю. Бузоверов, М.Ю. Жуков – Оpubл. 27.11.2014.

7. Патент на изобретение 2341330 C1 RU, МПК В02С9/00. Устройство для дробления зерна / Е.Ф. Ширин, В.И. Шевцов, Л.Н. Сидоров, В.И. Цыгикало, Б.Б. Буняев – Оpubл. 20.12.2008.

8. Патент на полезную модель 151368 U1 RU, МПК В02С13/00. Модернизированная дробилка для зерна / В.И. Широбоков, В.А. Жигалов, О.С. Фёдоров, Ю.А. Ясафов, А.Н. Бастригов - Оpubл. 10.04.2015.

9. Патент на изобретение 2568754 C2 RU, МПК В02С13. Дробилка зерна / Е.М. Бурлуцкий, В.Д. Павлидис, М.В. Чкалова - Оpubл. 20.11.2015.

10. Дробилка молотковая безрешетная : пат. 162595 Рос. Федерация : МПК В 02 С 13/02 / Зиганшин Б.Г., Дмитриев А.В., Хасанова Ф.Ф., Мусин Р.Р., Хайдаров Р.Р. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет». Заявл. 07.05.2015 ; опубл. 20.06.2016. Бюл. № 17.

11. Бремер Г.И. Теория и расчет дробильных машин. Учебное пособие. Изд. ВСХИЗО, 1970. - 50 с.

12. Зиганшин Б.Г. Технологии и технические средства приготовления кормов / Б.Г. Зиганшин. – Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2003. – 188с

13. Патент на изобретение 2287371 C1 RU, МПК В02С13/02. Молотковая дробилка / И.В. Коношин, А.В. Звекон – Оpubл. 20.11.2006. Бюл. № 32.

14. Алешкин В.Р., Роцин П.М. Механизация животноводства. - М.: Агропромиздат, 1985. - 336 с.

15. Зиганшин Б.Г. Технологии и технические средства приготовления кормов / Б.Г. Зиганшин. – Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2003. – 188с.

16. Сыроватка В.И. Исследование процесса измельчения зерна ударом // Тракторы и сельхозмашины. - 1962. - № 11. - С.27-29

17. Елисеев В.А. Исследование процесса измельчения зерна ударом // автореферат дис. кандидата технических наук / В.А. Елисеев. – М.: Московский технологический институт пищевой промышленности, 1962. – 22 с.

18. Способы измельчения зерна // Учебные материалы онлайн (info(at)studwood.ru) / 2017 – 2018. – [Электронный ресурс] / URL: http://studwood.ru/1827800/tovarivedenie/sposoby_izmelcheniya_zerna_muku/ (Дата обращения: 15.06.2018 г).

19. Семенов Е.В., Коробицин А.А., Карамзин В.А. Расчет производительности молотковой дробилки // Хранение и переработка сельхозсырья.- 1996. - № 1. - с.18.

20. Файловый архив студентов // Алтайский государственный технологический университет / [Электронный ресурс] / StudFiles. - URL: <https://studfiles.net/preview/1825487/page:12/> (Дата обращения: 12.06.2018 г.).

21. Семенов Е.В., Коробицин А.А., Карамзин В.А. Расчет производительности молотковой дробилки // Хранение и переработка сельхозсырья.- 1996. - № 1. - с.18.

22. Все о технологии продуктов // Теория измельчения зерна. – 2015 / [Электронный ресурс] / URL: <http://hlebp-produkt.ru/mukomolnoe-proizvodstvo/1545-teoriya-izmelcheniya-zerna.html/> (Дата обращения: 8.06.2018 г.).

23. Механизация измельчения зерновых кормов // Студопедия.- [Электронный ресурс] / URL: https://studopedia.ru/4_3484_mehanizatsiya-izmelcheniya-zernovih-kormov.html/ (Дата обращения: 8.06.2018 г.).

24. Федоров Д.Г., Дмитриев А.В., Денисов Е.С. Определение средней силы удара для разрушения структурных элементов зерна гречихи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017 г. / [Электронный ресурс] / URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-sredney-sily-udara-dlya-razrusheniya-strukturnyh-elementov-zerna-grechih/> (Дата обращения: 9.06. 2018 г).

25. Определение модуля помола и степени измельчения зерна // [Электронный ресурс] / URL: <http://kalxoz.ru/str/12drobilki2.htm/> (Дата обращения: 16.06.2018 г.)

26. Определение удельного расхода энергии на процесс дробления // [Электронный ресурс] / URL: <http://kalhoz.ru/str/12drobilki2.htm/> (Дата обращения: 16.06.2018 г.)

27. Тарасенко А.П. Перспективы совершенствования механизации производства семян / А.П. Тарасенко, М.Э. Мерчадова, В.И. Оробинский, Р.А. Тарасенко// хранение и переработка зерна. Днепропетровск. 2000.- №6 (12). С. 38-39.

28. Устинов А.Н. Сельскохозяйственные машины. Учебник для проф. Техн. образования – 2-е изд. стереот. – М.: ИРПО, изд. Центр «Академи». 2000. – 264 с.

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

30. Машины и оборудование для послеуборочной обработки зерна: каталог. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 204 с.

31. Сельскохозяйственная техника и технология / И.А. Спицын, А.Н. Орлов, В.В. Ляшенко и др.; Под ред. И.А. Спицына. – М.: Колос, 2006. – 647с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Результаты экспериментов на примере влажности

Влажность (W) = (12,5%), длина нити (l) = (0,367см)

№	αl.1=45						αl.2=30						αl.3=20					
	m ₁		m ₂		m ₃		m ₁		m ₂		m ₃		m ₁		m ₂		m ₃	
	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з
1	5,3	-	8,1	-	10,5	+	5	-	7	-	7,8	+	4,5	-	6,8	-	7,1	-
2	5,2	-	8	-	10	+	5	-	6,9	-	7,2	+	4,4	-	6,5	-	6,9	-
3	5	-	8,4	-	10,1	+	5,2	-	7	-	7,7	+	4,7	-	6,9	-	7	+
4	5,5	-	8,5	-	9,9	+	5,1	-	7,1	-	7,5	+	4,9	-	6	-	7	-
5	5,6	-	8,9	-	10,3	+	4,9	-	6,8	+	7	+	4,9	-	6,5	-	6,8	-
6	6	-	9	-	10,5	+	4,9	-	7,1	-	7	+	5	-	6,2	-	6,6	-
7	6,1	-	8,9	-	10,8	+	4,9	-	7,3	-	7,8	+	5	-	5,9	+	6,5	-
8	6,1	-	8,6	-	10,9	+	5	-	6,7	-	7,1	+	4,5	-	6	-	6,8	+
9	6	-	8,7	+	10	+	5,3	-	6,6	-	7,3	+	4,7	-	6	-	6,6	-
10	5,5	-	8	-	10	+	5,1	-	7	-	7,2	+	4,6	-	6,3	-	6,5	-
11	5,4	-	8	-	9,9	+	4,8	-	7	+	7,3	+	4,5	-	6,1	-	7	-
12	5	-	8,1	-	10,5	+	5	-	6,4	-	8	+	4,5	-	6	-	7,1	-
13	5,2	-	8,2	-	10,8	+	5	-	6,3	-	8,2	+	5	-	5,9	-	6,7	+
14	5,3	-	8,4	-	10,1	+	4,7	-	6,9	-	7,9	+	4,9	-	6,4	-	7	-
15	6,2	-	8,6	-	10,6	+	5,2	-	7	-	7,7	+	4,5	-	6,5	-	7,1	-
16	6	-	8,5	+	9,7	+	5	-	7	-	7,7	+	4,6	-	6,8	-	7	-
17	5,9	-	8,8	-	9,7	+	5,6	-	7	-	7,2	+	4,9	-	6,3	-	6,9	-

18	5,7	-	8,8	-	10	+	5,3	-	6,8	-	7,4	+	5	-	6,1	-	7	-
19	5	-	8,1	-	9,9	+	5	-	6,9	-	7,3	+	5	-	6	-	6,9	-
20	5	-	8,3	-	9,8	+	5,1	-	6,7	-	7,1	+	5	-	6	-	7	+
21	5,1	-	8,3	-	10,4	+	5	-	7,1	-	8,3	+	4,9	-	5,8	-	6,6	-
22	6	-	8,2	-	10,3	+	5,3	-	7	-	8	+	4,4	-	5,7	-	6,9	-
23	6,2	-	8	-	10	+	5,1	-	7	-	8	+	4,2	-	6	-	6,9	-
24	6,2	-	8,6	-	10	+	5,1	-	7,1	-	8	+	4,6	-	6,6	-	6,8	-
25	6,1	-	8,4	-	10	+	5,6	-	7	-	8,1	+	4,7	-	6,3	-	6,7	-
26	5,5	-	8,4	-	10,5	+	5,2	-	6,7	-	8,2	+	4,6	-	6,5	-	7	-
27	5,7	-	8,5	-	10,1	+	4,9	-	6,8	-	7,8	+	4,5	-	6,4	-	7	-
28	5	-	8	-	9,9	+	5	-	6,5	-	7,6	+	4,6	-	6	-	7,3	-
29	5	-	8,8	-	10,6	+	5,2	-	6,9	-	7,6	+	4,8	-	6,5	-	6,5	+
30	5,2	-	8	-	10,3	+	5	-	7,1	-	8	+	4,9	-	6,3	-	6,4	-
31	6	-	8,5	-	10,3	+	5	-	7,2	-	7,9	+	5	-	6,5	-	6,6	-
32	5,9	-	8,3	-	10	+	5,2	-	7	-	7,7	+	5,1	-	6,1	-	6,3	-
33	5,3	-	8	-	9,9	+	5,6	-	7	+	7,6	+	4,9	-	6	-	6,4	+
34	5,2	-	8,1	-	10,3	+	4,9	-	6,8	-	8,1	+	5	-	6,5	-	6,3	-
35	6	-	8,1	-	10,5	+	5	-	6,9	-	7,3	+	4,8	-	6,4	-	6,6	-
36	5,9	-	7,9	-	10,6	+	5,2	-	6,8	-	7,4	+	4,8	-	5,9	-	6	+
37	5,8	-	8	-	10	+	5,2	-	6,8	-	7,6	+	5	-	6,4	-	6,9	-
38	5,4	-	8,5	-	9,7	+	5,3	-	7	-	7,5	+	4,6	-	6,2	-	7	+
39	5,2	-	8,9	-	10,3	+	5,1	-	6,9	+	7,3	+	4,9	-	6,2	-	7,3	-
40	5,5	-	8,7	-	10,5	-	5,3	-	7,1	-	7,3	+	4,8	-	6,4	-	6,4	-
41	5,6	-	9	-	10,3	+	5,1	-	7,3	-	8	+	4,5	-	5,8	-	6,2	-
42	5,1	-	9	-	10,1	+	5,3	-	7	-	8,2	+	5	-	6,4	-	6,7	-
43	5	-	8,7	-	10	+	5,4	-	6,8	-	7,7	+	4,8	-	6,1	-	7,1	-
44	5,3	-	8,3	-	10,5	+	5	-	6,6	-	7,5	+	5	-	6,5	-	6,4	+
45	5,5	-	8,5	-	9	+	4,9	-	6,9	+	7,8	+	5	-	6,3	-	6,2	-
46	5,7	-	8,3	-	10,1	+	5,2	-	6,5	-	8	+	4,3	-	6,6	-	7	-
47	5	-	8,1	-	10,3	-	5,6	-	7	-	8,1	+	4,7	-	6	-	6,4	-

48	5,3	-	8	-	9,8	-	4,5	-	6,9	-	7,6	+	4,6	-	6	-	6,3	+
49	5,1	-	8	-	9,7	-	4,8	-	7,5	-	8	+	5	-	6,3	-	7,1	-
50	5	-	8,7	-	10	+	4,8	-	7,2	-	7,9	+	5,4	-	6,2	-	6,7	-

$m_1=0,088$ кг; $m_2=0,126$ кг; $m_3=0,198$ кг;

з – факт разрушения зерна

Таблица №2

Результаты экспериментов на примере влажности

Влажность (W) = (12,9%), длина нити (l) = (0,367см)

№	$\alpha l.1=45$						$\alpha l.2=30$						$\alpha l.3=20$					
	m_1		m_2		m_3		m_1		m_2		m_3		m_1		m_2		m_3	
	$\alpha 2$	з	$\alpha 2$	з	$\alpha 2$	з	$\alpha 2$	з	$\alpha 2$	з	$\alpha 2$	з	$\alpha 2$	з	$\alpha 2$	з	$\alpha 2$	з
1	5,3	-	8,1	+	10,5	+	5	-	7	-	7,8	+	4,5	-	6,8	-	7,1	-
2	5,2	-	8	+	10	+	5	-	6,9	+	7,2	+	4,4	-	6,5	-	6,9	-
3	5	-	8,4	-	10,1	+	5,2	-	7	-	7,7	+	4,7	-	6,9	-	7	-
4	5,5	-	8,5	-	9,9	+	5,1	-	7,1	-	7,5	+	4,9	-	6	-	7	-
5	5,6	-	8,9	-	10,3	+	4,9	+	6,8	-	7	+	4,9	-	6,5	-	6,8	-
6	6	-	9	+	10,5	+	4,9	-	7,1	+	7	+	5	-	6,2	-	6,6	-
7	6,1	-	8,9	+	10,8	+	4,9	-	7,3	-	7,8	+	5	-	5,9	-	6,5	-
8	6,1	-	8,6	-	10,9	+	5	-	6,7	-	7,1	+	4,5	-	6	-	6,8	-
9	6	+	8,7	-	10	+	5,3	-	6,6	+	7,3	+	4,7	-	6	-	6,6	+
10	5,5	-	8	-	10	+	5,1	-	7	-	7,2	+	4,6	-	6,3	-	6,5	-

11	5,4	-	8	-	9,9	+	4,8	-	7	-	7,3	+	4,5	-	6,1	-	7	-
12	5	-	8,1	-	10,5	+	5	-	6,4	-	8	+	4,5	-	6	-	7,1	-
13	5,2	-	8,2	-	10,8	+	5	-	6,3	+	8,2	+	5	-	5,9	-	6,7	-
14	5,3	-	8,4	-	10,1	+	4,7	-	6,9	-	7,9	+	4,9	-	6,4	-	7	-
15	6,2	-	8,6	+	10,6	+	5,2	-	7	-	7,7	+	4,5	-	6,5	-	7,1	-
16	6	-	8,5	-	9,7	+	5	-	7	-	7,7	+	4,6	-	6,8	-	7	-
17	5,9	-	8,8	-	9,7	+	5,6	-	7	-	7,2	+	4,9	-	6,3	-	6,9	-
18	5,7	-	8,8	-	10	+	5,3	-	6,8	+	7,4	+	5	-	6,1	-	7	+
19	5	+	8,1	-	9,9	+	5	-	6,9	-	7,3	+	5	-	6	+	6,9	-
20	5	-	8,3	+	9,8	+	5,1	-	6,7	-	7,1	+	5	-	6	-	7	-
21	5,1	-	8,3	-	10,4	+	5	-	7,1	-	8,3	+	4,9	-	5,8	-	6,6	-
22	6	-	8,2	-	10,3	+	5,3	-	7	+	8	+	4,4	-	5,7	+	6,9	-
23	6,2	-	8	+	10	+	5,1	-	7	-	8	+	4,2	-	6	-	6,9	+
24	6,2	-	8,6	+	10	+	5,1	-	7,1	-	8	+	4,6	-	6,6	-	6,8	-
25	6,1	-	8,4	-	10	+	5,6	-	7	-	8,1	+	4,7	-	6,3	-	6,7	-
26	5,5	-	8,4	-	10,5	+	5,2	-	6,7	+	8,2	+	4,6	-	6,5	-	7	-
27	5,7	-	8,5	-	10,1	+	4,9	-	6,8	-	7,8	+	4,5	-	6,4	-	7	+
28	5	-	8	-	9,9	+	5	-	6,5	-	7,6	+	4,6	-	6	-	7,3	-
29	5	-	8,8	+	10,6	+	5,2	-	6,9	-	7,6	+	4,8	-	6,5	-	6,5	-
30	5,2	-	8	-	10,3	+	5	-	7,1	-	8	+	4,9	-	6,3	-	6,4	-
31	6	-	8,5	-	10,3	+	5	-	7,2	+	7,9	+	5	-	6,5	-	6,6	+
32	5,9	-	8,3	-	10	+	5,2	-	7	+	7,7	+	5,1	-	6,1	-	6,3	-
33	5,3	-	8	+	9,9	+	5,6	-	7	-	7,6	+	4,9	-	6	-	6,4	-
34	5,2	-	8,1	-	10,3	+	4,9	-	6,8	-	8,1	+	5	-	6,5	-	6,3	-
35	6	-	8,1	+	10,5	+	5	-	6,9	-	7,3	+	4,8	-	6,4	-	6,6	-
36	5,9	-	7,9	-	10,6	+	5,2	-	6,8	-	7,4	+	4,8	-	5,9	-	6	-
37	5,8	-	8	-	10	+	5,2	-	6,8	+	7,6	+	5	-	6,4	-	6,9	+
38	5,4	-	8,5	-	9,7	+	5,3	-	7	-	7,5	+	4,6	-	6,2	-	7	-
39	5,2	+	8,9	-	10,3	+	5,1	-	6,9	+	7,3	+	4,9	-	6,2	-	7,3	-
40	5,5	-	8,7	+	10,5	+	5,3	-	7,1	-	7,3	+	4,8	-	6,4	-	6,4	-

41	5,6	-	9	-	10,3	+	5,1	-	7,3	-	8	+	4,5	-	5,8	-	6,2	-
42	5,1	-	9	+	10,1	+	5,3	-	7	-	8,2	+	5	-	6,4	-	6,7	-
43	5	-	8,7	+	10	+	5,4	-	6,8	-	7,7	+	4,8	-	6,1	-	7,1	-
44	5,3	-	8,3	+	10,5	+	5	-	6,6	-	7,5	+	5	-	6,5	-	6,4	-
45	5,5	-	8,5	-	9	+	4,9	-	6,9	-	7,8	+	5	-	6,3	-	6,2	-
46	5,7	-	8,3	-	10,1	+	5,2	-	6,5	+	8	+	4,3	-	6,6	-	7	-
47	5	-	8,1	-	10,3	+	5,6	-	7	-	8,1	+	4,7	-	6	-	6,4	-
48	5,3	-	8	-	9,8	+	4,5	-	6,9	+	7,6	+	4,6	-	6	-	6,3	+
49	5,1	-	8	-	9,7	+	4,8	-	7,5	+	8	+	5	-	6,3	-	7,1	-
50	5	-	8,7	+	10	+	4,8	-	7,2	-	7,9	+	5,4	-	6,2	-	6,7	-

m1=0,088 кг; m2=0,126 кг; m3=0,198 кг;

з – факт разрушения зерна

Таблица №3

Результаты экспериментов на примере влажности

Влажность (W) = (13,5%), длина нити (l) = (0,367см)

№	αl.1=45						αl.2=30						αl.3=20					
	m1		m2		m3		m1		m2		m3		m1		m2		m3	
	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з
1	5,3	-	8,1	+	10,5	+	5	-	7	-	7,8	+	4,5	-	6,8	-	7,1	-
2	5,2	-	8	-	10	+	5	-	6,9	+	7,2	+	4,4	-	6,5	-	6,9	-
3	5	-	8,4	+	10,1	+	5,2	-	7	-	7,7	+	4,7	-	6,9	-	7	-

4	5,5	-	8,5	+	9,9	+	5,1	-	7,1	-	7,5	+	4,9	-	6	-	7	-
5	5,6	-	8,9	+	10,3	+	4,9	-	6,8	+	7	+	4,9	-	6,5	-	6,8	-
6	6	-	9	+	10,5	+	4,9	-	7,1	-	7	+	5	-	6,2	-	6,6	-
7	6,1	-	8,9	+	10,8	+	4,9	-	7,3	-	7,8	+	5	-	5,9	-	6,5	+
8	6,1	-	8,6	+	10,9	+	5	-	6,7	-	7,1	+	4,5	-	6	-	6,8	-
9	6	-	8,7	-	10	+	5,3	-	6,6	-	7,3	+	4,7	-	6	-	6,6	-
10	5,5	-	8	+	10	+	5,1	-	7	-	7,2	+	4,6	-	6,3	-	6,5	-
11	5,4	-	8	+	9,9	+	4,8	-	7	-	7,3	+	4,5	-	6,1	-	7	-
12	5	-	8,1	+	10,5	+	5	-	6,4	+	8	+	4,5	-	6	+	7,1	-
13	5,2	+	8,2	+	10,8	+	5	-	6,3	-	8,2	+	5	-	5,9	-	6,7	-
14	5,3	-	8,4	+	10,1	+	4,7	-	6,9	-	7,9	+	4,9	-	6,4	-	7	-
15	6,2	-	8,6	+	10,6	+	5,2	-	7	-	7,7	+	4,5	-	6,5	-	7,1	-
16	6	-	8,5	-	9,7	+	5	-	7	+	7,7	+	4,6	-	6,8	-	7	-
17	5,9	-	8,8	+	9,7	+	5,6	+	7	+	7,2	+	4,9	-	6,3	-	6,9	-
18	5,7	-	8,8	+	10	+	5,3	-	6,8	-	7,4	+	5	-	6,1	-	7	+
19	5	+	8,1	+	9,9	+	5	-	6,9	-	7,3	+	5	-	6	+	6,9	-
20	5	-	8,3	+	9,8	+	5,1	-	6,7	-	7,1	+	5	-	6	-	7	-
21	5,1	-	8,3	+	10,4	+	5	-	7,1	-	8,3	+	4,9	-	5,8	-	6,6	-
22	6	-	8,2	+	10,3	+	5,3	-	7	-	8	+	4,4	-	5,7	-	6,9	-
23	6,2	-	8	+	10	+	5,1	-	7	-	8	+	4,2	-	6	-	6,9	-
24	6,2	-	8,6	+	10	+	5,1	-	7,1	-	8	+	4,6	-	6,6	-	6,8	-
25	6,1	-	8,4	+	10	+	5,6	-	7	+	8,1	+	4,7	-	6,3	-	6,7	-
26	5,5	-	8,4		10,5	+	5,2	-	6,7	-	8,2	+	4,6	-	6,5	-	7	-
27	5,7	-	8,5	+	10,1	+	4,9	-	6,8	-	7,8	+	4,5	-	6,4	-	7	-
28	5	-	8	+	9,9	+	5	-	6,5	-	7,6	+	4,6	-	6	-	7,3	+
29	5	-	8,8	+	10,6	+	5,2	-	6,9	-	7,6	+	4,8	-	6,5	-	6,5	-
30	5,2	-	8	+	10,3	+	5	-	7,1	-	8	+	4,9	-	6,3	-	6,4	-
31	6	-	8,5	+	10,3	+	5	-	7,2	-	7,9	+	5	-	6,5	-	6,6	-
32	5,9	+	8,3	+	10	+	5,2	-	7	-	7,7	+	5,1	-	6,1	-	6,3	-
33	5,3	-	8	+	9,9	+	5,6	-	7	-	7,6	+	4,9	-	6	-	6,4	-

34	5,2	-	8,1	+	10,3	+	4,9	-	6,8	+	8,1	+	5	-	6,5	-	6,3	+
35	6	-	8,1	+	10,5	+	5	-	6,9	-	7,3	+	4,8	-	6,4	-	6,6	-
36	5,9	-	7,9	+	10,6	+	5,2	-	6,8	-	7,4	+	4,8	-	5,9	-	6	-
37	5,8	-	8	+	10	+	5,2	-	6,8	+	7,6	+	5	-	6,4	-	6,9	-
38	5,4	-	8,5	+	9,7	+	5,3	-	7	-	7,5	+	4,6	-	6,2	-	7	-
39	5,2	-	8,9	+	10,3	+	5,1	-	6,9	-	7,3	+	4,9	-	6,2	-	7,3	-
40	5,5	-	8,7	+	10,5	+	5,3	-	7,1	-	7,3	+	4,8	-	6,4	-	6,4	-
41	5,6	-	9	+	10,3	+	5,1	-	7,3	-	8	+	4,5	-	5,8	-	6,2	-
42	5,1	+	9	+	10,1	+	5,3	-	7	+	8,2	+	5	-	6,4	-	6,7	-
43	5	-	8,7	+	10	+	5,4	-	6,8	-	7,7	+	4,8	-	6,1	-	7,1	-
44	5,3	-	8,3	+	10,5	+	5	-	6,6	-	7,5	+	5	-	6,5	+	6,4	-
45	5,5	-	8,5	+	9	+	4,9	-	6,9	-	7,8	+	5	-	6,3	-	6,2	+
46	5,7	-	8,3	+	10,1	+	5,2	-	6,5	-	8	+	4,3	-	6,6	-	7	-
47	5	-	8,1	+	10,3	+	5,6	-	7	-	8,1	+	4,7	-	6	-	6,4	-
48	5,3	-	8	+	9,8	+	4,5	-	6,9	+	7,6	+	4,6	-	6	-	6,3	-
49	5,1	-	8	+	9,7	+	4,8	-	7,5	-	8	+	5	-	6,3	-	7,1	-
50	5	-	8,7	+	10	+	4,8	-	7,2	-	7,9	+	5,4	-	6,2	-	6,7	+

$m_1=0,088$ кг; $m_2=0,126$ кг; $m_3=0,198$ кг;

з – факт разрушения зерна

Таблица №4

Результаты экспериментов на примере влажности

Влажность (W) = (9,8%), длина нити (l) = (0,367см)

№	αl.1=45						αl.2=30						αl.3=20					
	m1		m2		m3		m1		m2		m3		m1		m2		m3	
	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з	α2	з
1	5,3	+	8,1	+	10,5	+	5	-	7	+	7,8	+	4,5	-	6,8	-	7,1	-
2	5,2	+	8	+	10	+	5	-	6,9	+	7,2	+	4,4	-	6,5	-	6,9	-
3	5	+	8,4	+	10,1	+	5,2	-	7	-	7,7	+	4,7	-	6,9	-	7	-
4	5,5	+	8,5	+	9,9	+	5,1	-	7,1	+	7,5	+	4,9	-	6	-	7	-
5	5,6	-	8,9	-	10,3	+	4,9	-	6,8	-	7	+	4,9	-	6,5	-	6,8	-
6	6	-	9	+	10,5	+	4,9	-	7,1	-	7	+	5	-	6,2	-	6,6	-
7	6,1	-	8,9	-	10,8	+	4,9	-	7,3	-	7,8	+	5	-	5,9	-	6,5	-
8	6,1	-	8,6	+	10,9	+	5	-	6,7	+	7,1	+	4,5	-	6	-	6,8	-
9	6	+	8,7	+	10	+	5,3	-	6,6	+	7,3	+	4,7	-	6	-	6,6	-
10	5,5	+	8	+	10	+	5,1	-	7	-	7,2	+	4,6	-	6,3	-	6,5	+
11	5,4	-	8	+	9,9	+	4,8	+	7	+	7,3	+	4,5	-	6,1	-	7	-
12	5	-	8,1	+	10,5	+	5	-	6,4	-	8	+	4,5	-	6	-	7,1	-
13	5,2	-	8,2	+	10,8	+	5	-	6,3	+	8,2	+	5	-	5,9	-	6,7	-
14	5,3	-	8,4	+	10,1	+	4,7	+	6,9	-	7,9	+	4,9	-	6,4	-	7	-
15	6,2	-	8,6	+	10,6	+	5,2	-	7	+	7,7	+	4,5	-	6,5	-	7,1	+
16	6	+	8,5	+	9,7	+	5	+	7	-	7,7	+	4,6	-	6,8	-	7	-
17	5,9	-	8,8	+	9,7	+	5,6	-	7	-	7,2	+	4,9	-	6,3	-	6,9	-
18	5,7	-	8,8	+	10	+	5,3	-	6,8	-	7,4	+	5	-	6,1	-	7	-
19	5	-	8,1	+	9,9	+	5	-	6,9	+	7,3	+	5	-	6	-	6,9	-

20	5	-	8,3	+	9,8	+	5,1	-	6,7	-	7,1	+	5	-	6	+	7	-
21	5,1	+	8,3	+	10,4	+	5	-	7,1	+	8,3	+	4,9	-	5,8	-	6,6	-
22	6	-	8,2	-	10,3	+	5,3	-	7	-	8	+	4,4	-	5,7	-	6,9	-
23	6,2	-	8	+	10	+	5,1	+	7	-	8	+	4,2	+	6	-	6,9	-
24	6,2	-	8,6	+	10	+	5,1	+	7,1	-	8	+	4,6	-	6,6	-	6,8	-
25	6,1	+	8,4	+	10	+	5,6	-	7	-	8,1	+	4,7	-	6,3	-	6,7	-
26	5,5	-	8,4	-	10,5	+	5,2	-	6,7	+	8,2	+	4,6	-	6,5	-	7	+
27	5,7	-	8,5	+	10,1	+	4,9	-	6,8	-	7,8	+	4,5	-	6,4	-	7	+
28	5	-	8	+	9,9	+	5	-	6,5	-	7,6	+	4,6	-	6	-	7,3	-
29	5	-	8,8	+	10,6	+	5,2	-	6,9	-	7,6	+	4,8	-	6,5	-	6,5	-
30	5,2	+	8	+	10,3	+	5	-	7,1	-	8	+	4,9	-	6,3	-	6,4	-
31	6	-	8,5	-	10,3	+	5	-	7,2	+	7,9	+	5	-	6,5	-	6,6	-
32	5,9	-	8,3	+	10	+	5,2	+	7	-	7,7	+	5,1	-	6,1	-	6,3	-
33	5,3	+	8	+	9,9	+	5,6	+	7	-	7,6	+	4,9	-	6	-	6,4	-
34	5,2	-	8,1	+	10,3	+	4,9	-	6,8	-	8,1	+	5	-	6,5	-	6,3	+
35	6	-	8,1	+	10,5	+	5	+	6,9	-	7,3	+	4,8	-	6,4	-	6,6	-
36	5,9	-	7,9	+	10,6	+	5,2	-	6,8	-	7,4	+	4,8	-	5,9	-	6	-
37	5,8	+	8	+	10	+	5,2	-	6,8	-	7,6	+	5	-	6,4	-	6,9	+
38	5,4	-	8,5	+	9,7	+	5,3	-	7	-	7,5	+	4,6	-	6,2	-	7	-
39	5,2	-	8,9	+	10,3	+	5,1	+	6,9	-	7,3	+	4,9	-	6,2	-	7,3	-
40	5,5	-	8,7	+	10,5	+	5,3	+	7,1	-	7,3	+	4,8	-	6,4	-	6,4	-
41	5,6	-	9	+	10,3	+	5,1	+	7,3	+	8	+	4,5	+	5,8	+	6,2	-
42	5,1	+	9	+	10,1	+	5,3	-	7	-	8,2	+	5	-	6,4	-	6,7	-
43	5	+	8,7	+	10	+	5,4	-	6,8	-	7,7	+	4,8	-	6,1	-	7,1	+
44	5,3	-	8,3	+	10,5	+	5	-	6,6	-	7,5	+	5	-	6,5	-	6,4	-
45	5,5	-	8,5	+	9	+	4,9	-	6,9	-	7,8	+	5	-	6,3	-	6,2	-
46	5,7	+	8,3	+	10,1	+	5,2	+	6,5	-	8	+	4,3	-	6,6	-	7	+
47	5	-	8,1	+	10,3	+	5,6	-	7	-	8,1	+	4,7	-	6	-	6,4	-
48	5,3	-	8	+	9,8	+	4,5	-	6,9	+	7,6	+	4,6	-	6	-	6,3	-
49	5,1	-	8	+	9,7	+	4,8	-	7,5	+	8	+	5	-	6,3	-	7,1	-

50	5	-	8,7	+	10	+	4,8	+	7,2	-	7,9	+	5,4	-	6,2	-	6,7	-
----	---	---	-----	---	----	---	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---

$m_1=0,088$ кг; $m_2=0,126$ кг; $m_3=0,198$ кг;

з – факт разрушения зерна

Таблица №5

Результаты экспериментов на примере влажности

Влажность (W) = (14,1%), длина нити (l) = (0,367см)

№	$\alpha_{l.1}=45$						$\alpha_{l.2}=30$						$\alpha_{l.3}=20$					
	m1		m2		m3		m1		m2		m3		m1		m2		m3	
	α_2	з	α_2	з	α_2	з	α_2	з	α_2	з	α_2	з	α_2	з	α_2	з	α_2	з
1	5,3	-	8,1	+	10,5	+	5	-	7	-	7,8	+	4,5	-	6,8	-	7,1	+
2	5,2	+	8	+	10	+	5	+	6,9	-	7,2	+	4,4	-	6,5	-	6,9	-
3	5	-	8,4	+	10,1	+	5,2	-	7	+	7,7	+	4,7	-	6,9	-	7	+
4	5,5	-	8,5	+	9,9	+	5,1	-	7,1	-	7,5	+	4,9	-	6	-	7	-
5	5,6	+	8,9	+	10,3	+	4,9	-	6,8	-	7	+	4,9	-	6,5	-	6,8	-
6	6	-	9	+	10,5	+	4,9	-	7,1	-	7	+	5	-	6,2	-	6,6	
7	6,1	-	8,9	+	10,8	+	4,9	-	7,3	-	7,8	+	5	-	5,9	+	6,5	-
8	6,1	-	8,6	-	10,9	+	5	-	6,7	-	7,1	+	4,5	-	6	-	6,8	-
9	6	-	8,7	+	10	+	5,3	-	6,6	-	7,3	+	4,7	-	6	-	6,6	-

10	5,5	-	8	-	10	+	5,1	-	7	-	7,2	+	4,6	-	6,3	-	6,5	+
11	5,4	-	8	+	9,9	+	4,8	-	7	-	7,3	+	4,5	-	6,1	-	7	-
12	5	+	8,1	+	10,5	+	5	-	6,4	-	8	+	4,5	-	6	-	7,1	-
13	5,2	+	8,2	+	10,8	+	5	-	6,3	+	8,2	+	5	-	5,9	-	6,7	-
14	5,3	-	8,4	+	10,1	+	4,7	-	6,9	-	7,9	+	4,9	-	6,4	-	7	-
15	6,2	-	8,6	+	10,6	+	5,2	-	7	-	7,7	+	4,5	-	6,5	-	7,1	-
16	6	+	8,5	+	9,7	+	5	+	7	-	7,7	+	4,6	-	6,8	-	7	+
17	5,9	-	8,8	+	9,7	+	5,6	-	7	-	7,2	+	4,9	-	6,3	-	6,9	+
18	5,7	-	8,8	+	10	+	5,3	-	6,8	-	7,4	+	5	-	6,1	-	7	
19	5	-	8,1	+	9,9	+	5	-	6,9	+	7,3	+	5	-	6	-	6,9	-
20	5	-	8,3	+	9,8	+	5,1	-	6,7	-	7,1	+	5	-	6	-	7	-
21	5,1	+	8,3	+	10,4	+	5	-	7,1	-	8,3	+	4,9	-	5,8	-	6,6	-
22	6	-	8,2	-	10,3	+	5,3	-	7	-	8	+	4,4	-	5,7	-	6,9	-
23	6,2	-	8	+	10	+	5,1	-	7	-	8	+	4,2	-	6	-	6,9	-
24	6,2	+	8,6	+	10	+	5,1	-	7,1	+	8	+	4,6	-	6,6	-	6,8	
25	6,1	-	8,4	+	10	+	5,6	-	7	-	8,1	+	4,7	-	6,3	-	6,7	-
26	5,5	-	8,4	+	10,5	+	5,2	-	6,7	-	8,2	+	4,6	-	6,5	+	7	-
27	5,7	-	8,5	+	10,1	+	4,9	-	6,8	-	7,8	+	4,5	-	6,4	-	7	-
28	5	-	8	+	9,9	+	5	-	6,5	-	7,6	+	4,6	-	6	-	7,3	+
29	5	-	8,8	+	10,6	+	5,2	-	6,9	+	7,6	+	4,8	-	6,5	-	6,5	-
30	5,2	+	8	+	10,3	+	5	-	7,1	-	8	+	4,9	-	6,3	-	6,4	-
31	6	-	8,5	+	10,3	+	5	-	7,2	-	7,9	+	5	-	6,5	-	6,6	-
32	5,9	+	8,3	+	10	+	5,2	-	7	-	7,7	+	5,1	-	6,1	-	6,3	+
33	5,3	-	8	+	9,9	+	5,6	-	7	-	7,6	+	4,9	+	6	-	6,4	-
34	5,2	-	8,1	-	10,3	+	4,9	-	6,8	-	8,1	+	5	-	6,5	-	6,3	+
35	6	-	8,1	+	10,5	+	5	-	6,9	-	7,3	+	4,8	-	6,4	-	6,6	-
36	5,9	-	7,9	+	10,6	+	5,2	-	6,8	-	7,4	+	4,8	-	5,9	-	6	+
37	5,8	-	8	+	10	+	5,2	-	6,8	-	7,6	+	5	-	6,4	-	6,9	-
38	5,4	+	8,5	+	9,7	+	5,3	-	7	-	7,5	+	4,6	-	6,2	-	7	-
39	5,2	-	8,9	+	10,3	+	5,1	-	6,9	+	7,3	+	4,9	-	6,2	-	7,3	-

40	5,5	-	8,7	+	10,5	+	5,3	+	7,1	-	7,3	+	4,8	-	6,4	-	6,4	+
41	5,6	-	9	+	10,3	+	5,1	-	7,3	-	8	+	4,5	-	5,8	+	6,2	-
42	5,1	+	9	+	10,1	+	5,3	-	7	-	8,2	+	5	-	6,4	-	6,7	-
43	5	-	8,7	+	10	+	5,4	-	6,8	-	7,7	+	4,8	-	6,1	-	7,1	+
44	5,3	-	8,3	+	10,5	+	5	-	6,6	+	7,5	+	5	-	6,5	-	6,4	-
45	5,5	+	8,5	+	9	+	4,9	-	6,9	-	7,8	+	5	-	6,3	-	6,2	-
46	5,7	-	8,3	+	10,1	+	5,2	-	6,5	-	8	+	4,3	-	6,6	-	7	-
47	5	-	8,1	+	10,3	+	5,6	-	7	-	8,1	+	4,7	-	6	-	6,4	-
48	5,3	-	8	+	9,8	+	4,5	-	6,9	-	7,6	+	4,6	-	6	-	6,3	+
49	5,1	-	8	+	9,7	+	4,8	-	7,5	-	8	+	5	-	6,3	-	7,1	-
50	5	+	8,7	+	10	+	4,8	-	7,2	-	7,9	+	5,4	-	6,2	-	6,7	-

$m_1=0,088$ кг; $m_2=0,126$ кг; $m_3=0,198$ кг;

з – факт разрушения зерна

Таблица № 6

Определение средней силы разрушения зерна в зависимости от влажности

№	ℓ , см	W, %	α , град	m_r , кг	t, сек	F_{cp} , Н	$F_{cp}^{am_1}$, Н	$F_{cp}^{am_1 m_2 m_3}$, Н	F_{cp} , Н
1	2	3	4	5	6				
1	0,367	9,8	20	0,088	0,01666	10,1	9,81	10,87	
2	0,367	9,8	20	0,088	0,01656	10,22			
3	0,367	9,8	20	0,088	0,01655	10,07			
4	0,367	9,8	20	0,088	0,01655	9,89			
5	0,367	9,8	20	0,088	0,01644	10,15			
6	0,367	9,8	20	0,088	0,01666	9,83			
7	0,367	9,8	20	0,088	0,01636	9,53			
8	0,367	9,8	20	0,088	0,01644	10,00			
9	0,367	9,8	20	0,088	0,01666	9,11			
10	0,367	9,8	20	0,088	0,01655	9,24			
11	0,367	9,8	20	0,126	0,01674	10,36	11,06		
12	0,367	9,8	20	0,126	0,01676	11,01			
13	0,367	9,8	20	0,126	0,01673	11,12			
14	0,367	9,8	20	0,126	0,01670	10,5			
15	0,367	9,8	20	0,126	0,01677	11,41			

16	0,367	9,8	20	0,126	0,01677	10,26	11,73					
17	0,367	9,8	20	0,126	0,01676	11,1						
18	0,367	9,8	20	0,126	0,01674	10,74						
19	0,367	9,8	20	0,126	0,01673	11,44						
20	0,367	9,8	20	0,126	0,01672	11,32						
21	0,367	9,8	20	0,198	0,01681	11,42						
22	0,367	9,8	20	0,198	0,01678	11,46						
23	0,367	9,8	20	0,198	0,01676	11,59						
24	0,367	9,8	20	0,198	0,01675	11,16						
25	0,367	9,8	20	0,198	0,01674	10,89						
26	0,367	9,8	20	0,198	0,01678	11,73						
27	0,367	9,8	20	0,198	0,01675	11,94						
28	0,367	9,8	20	0,198	0,01675	11,25						
29	0,367	9,8	20	0,198	0,01678	11,14						
30	0,367	9,8	20	0,198	0,01679	11,66						
31	0,367	9,8	30	0,088	0,01685	10,14	10,18					
32	0,367	9,8	30	0,088	0,01686	10,30						
33	0,367	9,8	30	0,088	0,01685	10,07						
34	0,367	9,8	30	0,088	0,01679	10,00						
35	0,367	9,8	30	0,088	0,01684	10,46						
36	0,367	9,8	30	0,088	0,01683	10,33						
37	0,367	9,8	30	0,088	0,01684	10,08						
38	0,367	9,8	30	0,088	0,01684	9,97						
39	0,367	9,8	30	0,088	0,01683	10,29						
40	0,367	9,8	30	0,088	0,01687	10,15						
41	0,367	9,8	30	0,126	0,01691	10,39						
42	0,367	9,8	30	0,126	0,01685	11,00						
43	0,367	9,8	30	0,126	0,01684	10,34						

продолжение таблицы 6

44	0,367	9,8	30	0,126	0,01685	11,51	10,81	10,86	11,31
45	0,367	9,8	30	0,126	0,01686	10,15			
46	0,367	9,8	30	0,126	0,01684	10,95			
47	0,367	9,8	30	0,126	0,01686	11,21			
48	0,367	9,8	30	0,126	0,01687	10,86			
49	0,367	9,8	30	0,126	0,01685	10,69			
50	0,367	9,8	30	0,126	0,01689	11,02			
51	0,367	9,8	30	0,198	0,01691	11,36	11,59		
52	0,367	9,8	30	0,198	0,01693	11,40			
53	0,367	9,8	30	0,198	0,01695	11,08			
54	0,367	9,8	30	0,198	0,01692	11,67			
55	0,367	9,8	30	0,198	0,01691	11,61			
56	0,367	9,8	30	0,198	0,01692	11,73			
57	0,367	9,8	30	0,198	0,01691	11,54			
58	0,367	9,8	30	0,198	0,01689	11,84			
59	0,367	9,8	30	0,198	0,01690	11,93			
60	0,367	9,8	30	0,198	0,01692	11,70			
61	0,367	9,8	45	0,088	0,01666	11,75		11,41	
62	0,367	9,8	45	0,088	0,01665	11,62			
63	0,367	9,8	45	0,088	0,01666	11,42			
64	0,367	9,8	45	0,088	0,01665	11,84			
65	0,367	9,8	45	0,088	0,01664	11,34			
66	0,367	9,8	45	0,088	0,01669	11,08			
67	0,367	9,8	45	0,088	0,01668	11,07			
68	0,367	9,8	45	0,088	0,01668	11,34			
69	0,367	9,8	45	0,088	0,01667	11,44			
70	0,367	9,8	45	0,088	0,01667	11,17			

71	0,367	9,8	45	0,126	0,01687	11,97	12,26	12,22	
72	0,367	9,8	45	0,126	0,01686	12,06			
73	0,367	9,8	45	0,126	0,01688	12,14			
74	0,367	9,8	45	0,126	0,01688	12,50			
75	0,367	9,8	45	0,126	0,01687	12,32			
76	0,367	9,8	45	0,126	0,01689	12,17			
77	0,367	9,8	45	0,126	0,01688	12,39			
78	0,367	9,8	45	0,126	0,01687	12,45			
79	0,367	9,8	45	0,126	0,01688	12,23			
80	0,367	9,8	45	0,126	0,01689	12,41			
81	0,367	9,8	45	0,198	0,01697	12,75	12,99		
82	0,367	9,8	45	0,198	0,01699	12,93			
83	0,367	9,8	45	0,198	0,01698	13,08			
84	0,367	9,8	45	0,198	0,01698	13,14			
85	0,367	9,8	45	0,198	0,01700	13,07			
86	0,367	9,8	45	0,198	0,01697	12,99			
87	0,367	9,8	45	0,198	0,01698	12,86			
88	0,367	9,8	45	0,198	0,01699	13,20			
89	0,367	9,8	45	0,198	0,01699	12,45			
90	0,367	9,8	45	0,198	0,01700	13,39			

Таблица №7

Определение средней силы разрушения зерна в зависимости от влажности

№	ℓ , см	W , %	α , град	m_r , кг	t , сек	F_{cp} , Н	$F_{cp}^{am_1}$, Н	$F_{cp}^{am_1 m_2 m_3}$, Н	F_{cp} , Н
1	0,367	12,5	20	0,088	0,01666	10,21	9,92		
2	0,367	12,5	20	0,088	0,01656	10,31			
3	0,367	12,5	20	0,088	0,01655	10,27			
4	0,367	12,5	20	0,088	0,01655	9,97			
5	0,367	12,5	20	0,088	0,01644	10,64			
6	0,367	12,5	20	0,088	0,01666	9,89			
7	0,367	12,5	20	0,088	0,01636	9,54			
8	0,367	12,5	20	0,088	0,01644	10,02			
9	0,367	12,5	20	0,088	0,01666	9,13			
10	0,367	12,5	20	0,088	0,01655	9,25			
11	0,367	12,5	20	0,126	0,01674	10,48	11,10		
12	0,367	12,5	20	0,126	0,01676	11,20			
13	0,367	12,5	20	0,126	0,01673	11,14			
14	0,367	12,5	20	0,126	0,01670	10,17			
15	0,367	12,5	20	0,126	0,01677	11,37			
16	0,367	12,5	20	0,126	0,01677	11,64			
17	0,367	12,5	20	0,126	0,01676	11,32			
18	0,367	12,5	20	0,126	0,01674	10,48			
19	0,367	12,5	20	0,126	0,01673	11,87			
20	0,367	12,5	20	0,126	0,01672	11,37			

21	0,367	12,5	20	0,198	0,01681	11,52	11,52		
22	0,367	12,5	20	0,198	0,01678	11,48			
23	0,367	12,5	20	0,198	0,01676	11,64			
24	0,367	12,5	20	0,198	0,01675	11,19			
25	0,367	12,5	20	0,198	0,01674	10,96			
26	0,367	12,5	20	0,198	0,01678	11,76			
27	0,367	12,5	20	0,198	0,01675	11,99			
28	0,367	12,5	20	0,198	0,01675	11,67			
29	0,367	12,5	20	0,198	0,01678	11,37			
30	0,367	12,5	20	0,198	0,01679	11,64			
31	0,367	12,5	30	0,088	0,01685	10,19	10,35		
32	0,367	12,5	30	0,088	0,01686	10,42			
33	0,367	12,5	30	0,088	0,01685	10,09			
34	0,367	12,5	30	0,088	0,01679	10,24			
35	0,367	12,5	30	0,088	0,01684	10,35			
36	0,367	12,5	30	0,088	0,01683	10,54			
37	0,367	12,5	30	0,088	0,01684	10,78			
38	0,367	12,5	30	0,088	0,01684	9,94			
39	0,367	12,5	30	0,088	0,01683	10,77			
40	0,367	12,5	30	0,088	0,01687	10,25			
41	0,367	12,5	30	0,126	0,01691	10,50	10,84	10,93	11,35
42	0,367	12,5	30	0,126	0,01685	11,24			
43	0,367	12,5	30	0,126	0,01684	10,36			
44	0,367	12,5	30	0,126	0,01685	11,63			
45	0,367	12,5	30	0,126	0,01686	10,17			
46	0,367	12,5	30	0,126	0,01684	10,82			
47	0,367	12,5	30	0,126	0,01686	11,11			
48	0,367	12,5	30	0,126	0,01687	10,81			

49	0,367	12,5	30	0,126	0,01685	10,70			
50	0,367	12,5	30	0,126	0,01689	11,10			
51	0,367	12,5	30	0,198	0,01691	11,67	11,60		
52	0,367	12,5	30	0,198	0,01693	11,53			
53	0,367	12,5	30	0,198	0,01695	11,70			
54	0,367	12,5	30	0,198	0,01692	11,74			
55	0,367	12,5	30	0,198	0,01691	11,31			
56	0,367	12,5	30	0,198	0,01692	11,71			
57	0,367	12,5	30	0,198	0,01691	11,59			
58	0,367	12,5	30	0,198	0,01689	11,74			
59	0,367	12,5	30	0,198	0,01690	11,37			
60	0,367	12,5	30	0,198	0,01692	11,70			
61	0,367	12,5	45	0,088	0,01666	11,74		11,43	
62	0,367	12,5	45	0,088	0,01665	11,59			
63	0,367	12,5	45	0,088	0,01666	11,41			
64	0,367	12,5	45	0,088	0,01665	11,85			
65	0,367	12,5	45	0,088	0,01664	11,36			
66	0,367	12,5	45	0,088	0,01669	11,10			
67	0,367	12,5	45	0,088	0,01668	11,17			
68	0,367	12,5	45	0,088	0,01668	11,36			
69	0,367	12,5	45	0,088	0,01667	11,46			
70	0,367	12,5	45	0,088	0,01667	11,22			
71	0,367	12,5	45	0,126	0,01687	11,95	12,31		
72	0,367	12,5	45	0,126	0,01686	12,21			
73	0,367	12,5	45	0,126	0,01688	12,10			
74	0,367	12,5	45	0,126	0,01688	12,67			
75	0,367	12,5	45	0,126	0,01687	12,31			12,26

продолжение таблицы 7

76	0,367	12,5	45	0,126	0,01689	12,15			
77	0,367	12,5	45	0,126	0,01688	12,37			
78	0,367	12,5	45	0,126	0,01687	12,48			
79	0,367	12,5	45	0,126	0,01688	12,39			
80	0,367	12,5	45	0,126	0,01689	12,44			
81	0,367	12,5	45	0,198	0,01697	12,78			
82	0,367	12,5	45	0,198	0,01699	12,98	13,03		
83	0,367	12,5	45	0,198	0,01698	13,18			
84	0,367	12,5	45	0,198	0,01698	13,14			
85	0,367	12,5	45	0,198	0,01700	13,27			
86	0,367	12,5	45	0,198	0,01697	13,00			
87	0,367	12,5	45	0,198	0,01698	12,87			
88	0,367	12,5	45	0,198	0,01699	13,41			
89	0,367	12,5	45	0,198	0,01699	12,32			
90	0,367	12,5	45	0,198	0,01700	13,37			

Таблица № 8

Определение средней силы разрушения зерна в зависимости от влажности

№	ℓ, см	W, %	α, град	m _г , кг	t, сек	F _{ср} , Н	F _{ср} ^{ам} ₁ , Н	F _{ср} ^{ам} ₁ ^м ₂ ^м ₃ , Н	F _{ср} , Н
1	0,367	12,9	20	0,088	0,01666	10,34	9,99	10,89	
2	0,367	12,9	20	0,088	0,01656	10,42			
3	0,367	12,9	20	0,088	0,01655	10,17			
4	0,367	12,9	20	0,088	0,01655	9,84			
5	0,367	12,9	20	0,088	0,01644	10,45			
6	0,367	12,9	20	0,088	0,01666	9,93			
7	0,367	12,9	20	0,088	0,01636	9,53			
8	0,367	12,9	20	0,088	0,01644	10,64			
9	0,367	12,9	20	0,088	0,01666	9,41			
10	0,367	12,9	20	0,088	0,01655	9,26			
11	0,367	12,9	20	0,126	0,01674	10,66	11,13		
12	0,367	12,9	20	0,126	0,01676	11,09			
13	0,367	12,9	20	0,126	0,01673	11,82			
14	0,367	12,9	20	0,126	0,01670	10,5			
15	0,367	12,9	20	0,126	0,01677	11,41			
16	0,367	12,9	20	0,126	0,01677	10,26			
17	0,367	12,9	20	0,126	0,01676	11,57			
18	0,367	12,9	20	0,126	0,01674	10,86			
19	0,367	12,9	20	0,126	0,01673	11,42			

20	0,367	12,9	20	0,126	0,01672	11,72			
21	0,367	12,9	20	0,198	0,01681	11,62	11,54		
22	0,367	12,9	20	0,198	0,01678	11,87			
23	0,367	12,9	20	0,198	0,01676	11,59			
24	0,367	12,9	20	0,198	0,01675	11,46			
25	0,367	12,9	20	0,198	0,01674	11,00			
26	0,367	12,9	20	0,198	0,01678	11,73			
27	0,367	12,9	20	0,198	0,01675	11,91			
28	0,367	12,9	20	0,198	0,01675	11,28			
29	0,367	12,9	20	0,198	0,01678	11,34			
30	0,367	12,9	20	0,198	0,01679	11,66			
31	0,367	12,9	30	0,088	0,01685	10,21		10,37	
32	0,367	12,9	30	0,088	0,01686	10,30			
33	0,367	12,9	30	0,088	0,01685	10,34			
34	0,367	12,9	30	0,088	0,01679	10,00			
35	0,367	12,9	30	0,088	0,01684	10,46			
36	0,367	12,9	30	0,088	0,01683	10,99			
37	0,367	12,9	30	0,088	0,01684	10,08			
38	0,367	12,9	30	0,088	0,01684	9,89			
39	0,367	12,9	30	0,088	0,01683	10,57			
40	0,367	12,9	30	0,088	0,01687	10,85			
41	0,367	12,9	30	0,126	0,01691	10,39	11,02		
42	0,367	12,9	30	0,126	0,01685	11,08			
43	0,367	12,9	30	0,126	0,01684	10,74			
44	0,367	12,9	30	0,126	0,01685	11,98			
45	0,367	12,9	30	0,126	0,01686	10,75			
46	0,367	12,9	30	0,126	0,01684	11,01			11,03

продолжение таблицы 8

47	0,367	12,9	30	0,126	0,01686	11,21	11,70	11,43
48	0,367	12,9	30	0,126	0,01687	10,86		
49	0,367	12,9	30	0,126	0,01685	10,69		
50	0,367	12,9	30	0,126	0,01689	11,52		
51	0,367	12,9	30	0,198	0,01691	11,57		
52	0,367	12,9	30	0,198	0,01693	11,90		
53	0,367	12,9	30	0,198	0,01695	11,18		
54	0,367	12,9	30	0,198	0,01692	11,63		
55	0,367	12,9	30	0,198	0,01691	11,55		
56	0,367	12,9	30	0,198	0,01692	11,49		
57	0,367	12,9	30	0,198	0,01691	11,94		
58	0,367	12,9	30	0,198	0,01689	11,84		
59	0,367	12,9	30	0,198	0,01690	12,10		
60	0,367	12,9	30	0,198	0,01692	11,83		
61	0,367	12,9	45	0,088	0,01666	12,03	11,49	
62	0,367	12,9	45	0,088	0,01665	11,62		
63	0,367	12,9	45	0,088	0,01666	11,42		
64	0,367	12,9	45	0,088	0,01665	11,84		
65	0,367	12,9	45	0,088	0,01664	11,44		
66	0,367	12,9	45	0,088	0,01669	11,08		
67	0,367	12,9	45	0,088	0,01668	11,12		
68	0,367	12,9	45	0,088	0,01668	11,49		
69	0,367	12,9	45	0,088	0,01667	11,44		
70	0,367	12,9	45	0,088	0,01667	11,37		
71	0,367	12,9	45	0,126	0,01687	11,97	12,43	12,37
72	0,367	12,9	45	0,126	0,01686	12,06		
73	0,367	12,9	45	0,126	0,01688	12,35		

продолжение таблицы 8

74	0,367	12,9	45	0,126	0,01688	12,57						
75	0,367	12,9	45	0,126	0,01687	12,69						
76	0,367	12,9	45	0,126	0,01689	12,24						
77	0,367	12,9	45	0,126	0,01688	12,89						
78	0,367	12,9	45	0,126	0,01687	12,45						
79	0,367	12,9	45	0,126	0,01688	12,38						
80	0,367	12,9	45	0,126	0,01689	12,66						
81	0,367	12,9	45	0,198	0,01697	12,77				13,19		
82	0,367	12,9	45	0,198	0,01699	13,00						
83	0,367	12,9	45	0,198	0,01698	13,65						
84	0,367	12,9	45	0,198	0,01698	13,18						
85	0,367	12,9	45	0,198	0,01700	13,83						
86	0,367	12,9	45	0,198	0,01697	13,22						
87	0,367	12,9	45	0,198	0,01698	12,86						
88	0,367	12,9	45	0,198	0,01699	13,32						
89	0,367	12,9	45	0,198	0,01699	12,61						
90	0,367	12,9	45	0,198	0,01700	13,47						

Таблица № 9

Определение средней силы разрушения зерна в зависимости от влажности

№	ℓ, см	W, %	α, град	m _г , кг	t, сек	F _{ср} , Н	F _{ср} ^{ам} ₁ , Н	F _{ср} ^{ам} _{1 2 3} , Н	F _{ср} , Н
1	0,367	13,5	20	0,088	0,01666	10,65	10,15		
2	0,367	13,5	20	0,088	0,01656	10,21			
3	0,367	13,5	20	0,088	0,01655	10,11			
4	0,367	13,5	20	0,088	0,01655	10,00			
5	0,367	13,5	20	0,088	0,01644	10,23			
6	0,367	13,5	20	0,088	0,01666	9,79			
7	0,367	13,5	20	0,088	0,01636	10,08			
8	0,367	13,5	20	0,088	0,01644	10,00			
9	0,367	13,5	20	0,088	0,01666	9,75			
10	0,367	13,5	20	0,088	0,01655	10,64			
11	0,367	13,5	20	0,126	0,01674	10,74	11,35		
12	0,367	13,5	20	0,126	0,01676	11,67			
13	0,367	13,5	20	0,126	0,01673	11,40			
14	0,367	13,5	20	0,126	0,01670	10,56			
15	0,367	13,5	20	0,126	0,01677	11,51			
16	0,367	13,5	20	0,126	0,01677	11,31			
17	0,367	13,5	20	0,126	0,01676	11,94			
18	0,367	13,5	20	0,126	0,01674	10,69			
19	0,367	13,5	20	0,126	0,01673	11,99			
20	0,367	13,5	20	0,126	0,01674	11,71			

продолжение таблицы 9

21	0,367	13,5	20	0,198	0,01681	11,42	11,55		
22	0,367	13,5	20	0,198	0,01678	11,98			
23	0,367	13,5	20	0,198	0,01676	12,02			
24	0,367	13,5	20	0,198	0,01675	11,27			
25	0,367	13,5	20	0,198	0,01674	10,74			
26	0,367	13,5	20	0,198	0,01678	11,89			
27	0,367	13,5	20	0,198	0,01675	12,14			
28	0,367	13,5	20	0,198	0,01675	11,28			
29	0,367	13,5	20	0,198	0,01678	11,03			
30	0,367	13,5	20	0,198	0,01679	11,73			
31	0,367	13,5	30	0,088	0,01685	10,19	10,32		
32	0,367	13,5	30	0,088	0,01686	10,38			
33	0,367	13,5	30	0,088	0,01685	10,16			
34	0,367	13,5	30	0,088	0,01679	10,07			
35	0,367	13,5	30	0,088	0,01684	10,46			
36	0,367	13,5	30	0,088	0,01683	10,37			
37	0,367	13,5	30	0,088	0,01684	10,08			
38	0,367	13,5	30	0,088	0,01684	9,96			
39	0,367	13,5	30	0,088	0,01683	10,89			
40	0,367	13,5	30	0,088	0,01687	10,62			
41	0,367	13,5	30	0,126	0,01691	11,24	11,03	11,06	
42	0,367	13,5	30	0,126	0,01685	11,02			
43	0,367	13,5	30	0,126	0,01684	10,46			
44	0,367	13,5	30	0,126	0,01685	11,61			
45	0,367	13,5	30	0,126	0,01686	10,45			
46	0,367	13,5	30	0,126	0,01684	11,45			
47	0,367	13,5	30	0,126	0,01685	11,21			
48	0,367	13,5	30	0,126	0,01686	10,93			

продолжение таблицы 9

49	0,367	13,5	30	0,126	0,01685	10,72			11,52									
50	0,367	13,5	30	0,126	0,01689	11,18				11,52								
51	0,367	13,5	30	0,198	0,01691	11,55	11,82				11,52							
52	0,367	13,5	30	0,198	0,01693	11,42						11,52						
53	0,367	13,5	30	0,198	0,01695	12,19							11,52					
54	0,367	13,5	30	0,198	0,01692	12,07								11,52				
55	0,367	13,5	30	0,198	0,01691	11,52									11,52			
56	0,367	13,5	30	0,198	0,01692	12,34										11,52		
57	0,367	13,5	30	0,198	0,01691	11,37											11,52	
58	0,367	13,5	30	0,198	0,01689	12,04												11,52
59	0,367	13,5	30	0,198	0,01690	11,91												
60	0,367	13,5	30	0,198	0,01692	11,78			11,52									
61	0,367	13,5	45	0,088	0,01666	12,15		11,65										
62	0,367	13,5	45	0,088	0,01665	11,63				11,52								
63	0,367	13,5	45	0,088	0,01666	11,63					11,52							
64	0,367	13,5	45	0,088	0,01665	11,78						11,52						
65	0,367	13,5	45	0,088	0,01664	11,34							11,52					
66	0,367	13,5	45	0,088	0,01669	11,55								11,52				
67	0,367	13,5	45	0,088	0,01668	11,17									11,52			
68	0,367	13,5	45	0,088	0,01668	11,99										11,52		
69	0,367	13,5	45	0,088	0,01667	11,41											11,52	
70	0,367	13,5	45	0,088	0,01667	11,87												11,52
71	0,367	13,5	45	0,126	0,01687	12,14	12,47											
72	0,367	13,5	45	0,126	0,01686	11,98			12,48									
73	0,367	13,5	45	0,126	0,01685	12,27				12,48								
74	0,367	13,5	45	0,126	0,01686	12,46					12,48							
75	0,367	13,5	45	0,126	0,01686	12,32						12,48						

продолжение таблицы 9

76	0,367	13,5	45	0,126	0,01689	12,17			
77	0,367	13,5	45	0,126	0,01688	12,66			
78	0,367	13,5	45	0,126	0,01687	13,28			
79	0,367	13,5	45	0,126	0,01688	12,46			
80	0,367	13,5	45	0,126	0,01689	12,95			
81	0,367	13,5	45	0,198	0,01697	13,16			
82	0,367	13,5	45	0,198	0,01699	12,89			
83	0,367	13,5	45	0,198	0,01698	13,08			
84	0,367	13,5	45	0,198	0,01698	13,76			
85	0,367	13,5	45	0,198	0,01700	13,63			
86	0,367	13,5	45	0,198	0,01697	13,76			
87	0,367	13,5	45	0,198	0,01698	12,86			
88	0,367	13,5	45	0,198	0,01699	13,22			
89	0,367	13,5	45	0,198	0,01699	13,63			
90	0,367	13,5	45	0,198	0,01700	13,24			

Таблица № 10

Определение средней силы разрушения зерна в зависимости от влажности

№	ℓ, см	W, %	α, град	m _г , кг	t, сек	F _{ср} , Н	F _{ср} ^{ам} ₁ , Н	F _{ср} ^{ам} ₁ ^м ₂ ^м ₃ , Н	F _{ср} , Н
1	0,367	14,1	20	0,088	0,01666	10,76	10,22	11,11	
2	0,367	14,1	20	0,088	0,01656	10,67			
3	0,367	14,1	20	0,088	0,01655	10,14			
4	0,367	14,1	20	0,088	0,01655	10,52			
5	0,367	14,1	20	0,088	0,01644	10,26			
6	0,367	14,1	20	0,088	0,01666	10,25			
7	0,367	14,1	20	0,088	0,01636	10,01			
8	0,367	14,1	20	0,088	0,01644	9,89			
9	0,367	14,1	20	0,088	0,01666	10,35			
10	0,367	14,1	20	0,088	0,01655	9,40			
11	0,367	14,1	20	0,126	0,01674	11,31	11,39		
12	0,367	14,1	20	0,126	0,01676	11,08			
13	0,367	14,1	20	0,126	0,01673	11,12			
14	0,367	14,1	20	0,126	0,01670	10,67			
15	0,367	14,1	20	0,126	0,01677	11,83			
16	0,367	14,1	20	0,126	0,01678	11,21			
17	0,367	14,1	20	0,126	0,01680	11,27			
18	0,367	14,1	20	0,126	0,01681	11,74			
19	0,367	14,1	20	0,126	0,01682	11,99			
20	0,367	14,1	20	0,126	0,01679	11,66			

21	0,367	14,1	20	0,198	0,01679	11,97	11,71		
22	0,367	14,1	20	0,198	0,01678	11,96			
23	0,367	14,1	20	0,198	0,01676	11,59			
24	0,367	14,1	20	0,198	0,01675	11,61			
25	0,367	14,1	20	0,198	0,01674	10,94			
26	0,367	14,1	20	0,198	0,01678	12,00			
27	0,367	14,1	20	0,198	0,01675	11,96			
28	0,367	14,1	20	0,198	0,01675	12,02			
29	0,367	14,1	20	0,198	0,01678	11,19			
30	0,367	14,1	20	0,198	0,01679	11,87			
31	0,367	14,1	30	0,088	0,01685	10,85			
32	0,367	14,1	30	0,088	0,01686	10,21			
33	0,367	14,1	30	0,088	0,01685	10,10			
34	0,367	14,1	30	0,088	0,01679	10,04			
35	0,367	14,1	30	0,088	0,01684	10,46			
36	0,367	14,1	30	0,088	0,01683	10,62			
37	0,367	14,1	30	0,088	0,01684	10,31			
38	0,367	14,1	30	0,088	0,01684	10,54			
39	0,367	14,1	30	0,088	0,01683	10,77			
40	0,367	14,1	30	0,088	0,01687	9,87			
41	0,367	14,1	30	0,126	0,01691	10,49	11,10	11,13	
42	0,367	14,1	30	0,126	0,01685	11,24			
43	0,367	14,1	30	0,126	0,01684	11,43			
44	0,367	14,1	30	0,126	0,01685	11,15			
45	0,367	14,1	30	0,126	0,01686	10,51			
46	0,367	14,1	30	0,126	0,01684	11,29			
47	0,367	14,1	30	0,126	0,01685	11,64			
48	0,367	14,1	30	0,126	0,01686	10,86			

продолжение таблицы 10

49	0,367	14,1	30	0,126	0,01685	11,35			
50	0,367	14,1	30	0,126	0,01689	11,02			
51	0,367	14,1	30	0,198	0,01691	12,09	11,91		11,61
52	0,367	14,1	30	0,198	0,01693	11,59			
53	0,367	14,1	30	0,198	0,01695	11,28			
54	0,367	14,1	30	0,198	0,01692	11,66			
55	0,367	14,1	30	0,198	0,01691	12,34			
56	0,367	14,1	30	0,198	0,01692	11,84			
57	0,367	14,1	30	0,198	0,01691	11,92			
58	0,367	14,1	30	0,198	0,01689	12,15			
59	0,367	14,1	30	0,198	0,01690	12,24			
60	0,367	14,1	30	0,198	0,01692	11,96			
61	0,367	14,1	45	0,088	0,01666	11,76			
62	0,367	14,1	45	0,088	0,01665	11,59			
63	0,367	14,1	45	0,088	0,01666	12,04			
64	0,367	14,1	45	0,088	0,01665	11,84			
65	0,367	14,1	45	0,088	0,01664	11,69			
66	0,367	14,1	45	0,088	0,01669	12,13			
67	0,367	14,1	45	0,088	0,01668	11,37			
68	0,367	14,1	45	0,088	0,01668	11,83			
69	0,367	14,1	45	0,088	0,01667	11,76			
70	0,367	14,1	45	0,088	0,01667	11,99			
71	0,367	14,1	45	0,126	0,01687	12,25	12,51	12,58	
72	0,367	14,1	45	0,126	0,01686	12,04			
73	0,367	14,1	45	0,126	0,01688	12,30			
74	0,367	14,1	45	0,126	0,01687	12,52			
75	0,367	14,1	45	0,126	0,01691	12,32			

продолжение таблицы 10

76	0,367	14,1	45	0,126	0,01688	12,97			
77	0,367	14,1	45	0,126	0,01688	12,84			
78	0,367	14,1	45	0,126	0,01687	12,45			
79	0,367	14,1	45	0,126	0,01688	12,28			
80	0,367	14,1	45	0,126	0,01689	13,12			
81	0,367	14,1	45	0,198	0,01697	12,96			
82	0,367	14,1	45	0,198	0,01699	13,34			
83	0,367	14,1	45	0,198	0,01698	13,79			
84	0,367	14,1	45	0,198	0,01698	13,83			
85	0,367	14,1	45	0,198	0,01700	13,90			
86	0,367	14,1	45	0,198	0,01697	12,76			
87	0,367	14,1	45	0,198	0,01698	13,35			
88	0,367	14,1	45	0,198	0,01699	13,77			
89	0,367	14,1	45	0,198	0,01699	12,96			
90	0,367	14,1	45	0,198	0,01700	13,54			