

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Казанский государственный аграрный университет»**

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра машин и оборудования в агробизнесе

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ
(Часть 2)
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
(для студентов очной и заочной форм обучения ИМиТС
по направлению 35.03.06 – Агроинженерия)**

КАЗАНЬ-2017

УДК 631.6

ББК 40.6

Составители: Булгариев Г.Г., Халиуллин Д.Т., Фёдоров Д.Г.

Рецензенты:

Зав. кафедрой «Эксплуатация машин и оборудования»,
д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «Казанского
государственного аграрного университета»

Р.К. Абдрахманов

Директор ООО «ДаМилк-Агро»

Г.Р. Рахмеева

Лабораторный практикум обсуждён, одобрен и рекомендован к печати на заседании кафедры «Машины и оборудование в агробизнесе» (протокол №10 от 01 марта 2017 года) и заседании методической комиссии института механизации и технического сервиса (протокол №8 от 27 апреля 2017 года).

Булгариев Г.Г. Технологические свойства сельскохозяйственных материалов. Часть 2: Лабораторный практикум / Г.Г. Булгариев, Д.Т. Халиуллин, Д.Г. Фёдоров. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2017. - 32 с.

В практикуме приведены общие сведения и методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по определению технологических свойств сельскохозяйственных материалов, а также вопросы для самостоятельной подготовки студентов к зачёту.

Изучение дисциплины «Технологические свойства сельскохозяйственных материалов» направлено на формирование профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО 35.03.06 – Агроинженерия.

УДК 631.6

ББК 40.6

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа № 6 «Определение удельной работы при резании лезвием различных материалов».....	5
Лабораторная работа № 7 «Определение изменчивости размерной характеристики семян и корнеклубнеплодов».....	10
Лабораторная работа № 8 «Обоснование скорости воздушного потока при очистке и определение характеристик аэродинамических свойств семян».....	16
Лабораторная работа № 9 «Определение углов естественного откоса и коэффициентов внутреннего трения сельскохозяйственных материалов и почвы».....	22
Лабораторная работа № 10 «Определение средней скорости движения зерна по решетку».....	27
Литература.....	31

Техника безопасности

При использовании лабораторных установок следует соблюдать безопасность труда в соответствии с требованиями правил техники безопасности. Кроме того, существуют дополнительные правила, которые необходимо соблюдать:

1. К выполнению лабораторных работ с использованием установок повышенной опасности, допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности на рабочем месте.

2. С острыми рабочими органами, вращающимися элементами (например, на лабораторных работах № 6, 7 и 9) следует обращаться осторожно.

3. При выполнении лабораторных работ № 8 и 10 необходимо использовать установки (стенды) на рабочем месте без повышенной опасности по степени поражения электрическим током.

4. Включение лабораторных установок и выполнение работ производить только после разрешения преподавателя (или учебного мастера).

ВВЕДЕНИЕ

Система машин для механизации растениеводства предусматривает создание и внедрение технических средств, обеспечивающих широкое внедрение промышленных технологий и завершение комплексной механизации возделывания, уборки и послеуборочной обработки зерновых и других культур, внесение в почву органических и минеральных удобрений. При выполнении вышеуказанных задач необходимо учитывать, в первую очередь, физические и технологические свойства обрабатываемого материала.

В связи с этим, целью настоящей работы является помощь студентам в закреплении знаний, полученные при изучении технологических свойств сельскохозяйственных материалов. Выполнение методических указаний по практикуму должно способствовать также развитию у студентов в проведении самостоятельных научных исследований.

В практикуме изложены общие сведения и порядок выполнения лабораторных работ по технологическим свойствам сельскохозяйственных материалов:

- определение удельной работы при резании лезвием;
- определение изменчивости размерной характеристики семян и корнеклубнеплодов;
- обоснование скорости воздушного потока при очистке и определение характеристик аэродинамических свойств семян;
- определение углов естественного откоса и коэффициентов внутреннего трения сельскохозяйственных материалов и почвы;
- определение средней скорости движения зерна по решетку.

Отчёт по вышеуказанным лабораторным работам после их изучения производится в письменной и устной форме с указанием соответствующих выводов.

Разработанный практикум позволит:

- более подробно ознакомить студентов с сущностью технологических процессов, выполняемых рабочими органами сельскохозяйственных машин;
- освоить методы и приёмы практической работы с рабочими и вспомогательными органами машин применительно к реальным и конкретным условиям;
- приобрести практические навыки анализа закономерностей технологических процессов, выполняемых сельскохозяйственными машинами.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРИ РЕЗАНИИ ЛЕЗВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

Цель работы.

Изучить основы теории резания, уяснить принципиальную разницу в резании почвы и корней (стеблей) сорняков лезвием лемеха плуга и лезвием культиваторной лапы.

Содержание работы.

Изучить устройство для резания сельскохозяйственных материалов и стеблей сорняков (почв). Измерить величины углов, характеризующих режущую кромку. Выполнить эксперименты по определению удельной работы при резании лезвием. Составить отчёт о работе.

Общие сведения.

На долю лемеха приходится примерно 40% общих затрат энергии на вспашку. Значительная часть этой энергии расходуется на уплотнение дна борозды. При этом происходит образование так называемой «плужной подошвы», которая вредно сказывается на водном и воздушном режиме почвы.

Работа лезвия отличается от работы остальной части лемеха и отвала главным образом тем, что лезвие лемеха уплотняет (сгруживает), лежащую впереди его почву, тогда как для остальной части поверхности корпуса сгруживание недопустимо. В результате сгруживания почвы впереди лемеха образуется уплотнённое ядро. Оно не имеет ярко выраженных границ перехода к массиву почвы, и его размер быстро изменяется.

Вначале диаметр ядра по значению близок к ширине фаски лезвия. Затем ядро увеличивается до тех пор, пока окружающая почва не нарушит его силами трения и нормального давления.

После этого образуется новое ядро, т.е. процесс циклически повторяется на отрезке пути примерно 5...15 мм.

Одновременно с разрушением ядра в окружающей его почве образуются мелкие трещины, которые затем увеличиваются при подъёме пласта на поверхности корпуса плуга. Необходимо, что ядро располагалось выше дна борозды, иначе начальные трещины окажутся на дне борозды, где они не нужны.

Следовательно, на лезвие, идущее впереди него, действует ядро из уплотнённой почвы, которое разрушает связи с дном борозды. Лезвие лемеха участвует в образовании ядра, создаёт для этого предпосылки и защищает дно

борозды. Поэтому лезвие изнашивается с нижней стороны быстрее, чем с верхней. Лемеха оттягивают не для того, чтобы он лучше резал, а напротив, делают угол ε (рисунок 6.1) между лезвием и дном борозды таким, чтобы лежащая впереди лезвия почва сгруживалась. Для этого касательная сила $T = N \cdot \operatorname{ctg} \varepsilon$ должна быть меньше силы трения $F = N \cdot \operatorname{tg} \varphi$ или $T < F$. Известно, что $\varphi = 14 + 42^\circ$, $\varepsilon_0 = 30^\circ$ у обычных и $\varepsilon = 20 \dots 25^\circ$ у скоростных плугов. Угол ε лезвия должен быть в пределах $50 \dots 75^\circ$. Отсюда угол заточки лемеха для разных почв $i = 20 \dots 45^\circ$. По мере затупления лезвия возрастает сопротивление плуга (до 30% и более), ухудшаются условия его заглубления в почву и уход его становится неустойчивым.

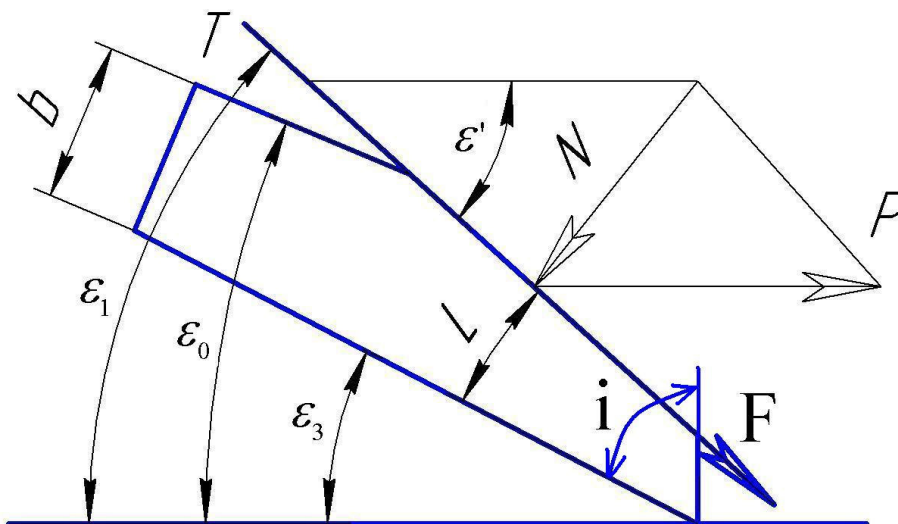


Рисунок 6.1 – Схема сил, действующих на лезвие лемеха

Процесс резания может происходить при движении ножа в направлении нормали к лезвию или под углом к нормали (скользящее). При скользящем резании происходят как бы уменьшение силы резания. Причина этого в том, что, во-первых, при скольжении лезвия по материалу вместо напряжения смятия возникают напряжения растяжения или касательные напряжения сдвигу, а временное сопротивление на растяжение и сдвиг меньше, чем на сжатие (смятие); во-вторых, если длина режущего лезвия равна L , а резание происходит под углом $(90^\circ - \gamma)$ между нормалью и направлением скорости лезвия, то ширина полосы перерезывания материала становится равной уже не l , а:

$$L \cdot \cos(90^\circ - \gamma) = L \cdot \sin \gamma < L. \quad (6.1)$$

Если лезвие перемещается под некоторым углом к нормали так, что углубляясь в материал, одновременно проходит некоторый путь по касательной, то это ещё не значит, что резание будет сопровождаться скольжением перерезываемого материала по лезвию.

Для резания со скольжением необходимы условия:

1. Направление скорости лезвия должно составлять с нормалью к нему, угол, превосходящий по размерам угол трения лезвия о разрезаемый материал.
2. Разрезаемый материал должен быть податлив (упруг, пластичен).

Если в почве перемещается лезвие (лапа культиватора), то сила его давления N (рисунок 6.2) на почву и на корень сорняка m направлена по нормали к лезвию.

Разложим силу N на составляющие: N_v и N_t

где N_v - сила по направлению скорости движения лезвия;

N_t - сила вдоль лезвия.

Угол между направлением скорости и нормали к лезвию равен $(90^\circ - \gamma)$.

где γ - половина угла раствора лапы.

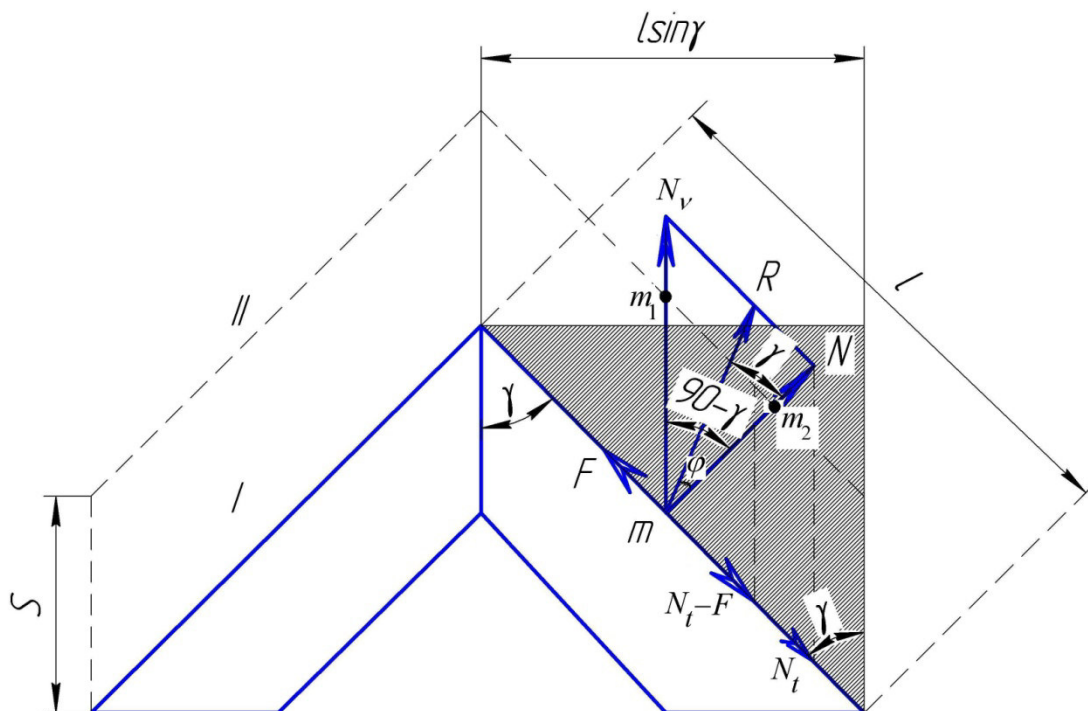


Рисунок 6.2 – Силы, действующие на лезвие культиваторной лапы

Трение корня сорняка о лезвие отклоняет силу N на угол трения φ . Если $(90^\circ - \gamma) > \varphi$, то сила трения получает наибольшее значение, так как $F_{\max} \cdot N \operatorname{tg} \varphi < N \operatorname{tg} (90^\circ - \gamma)$, или $N_t > F$.

В этих условиях на корень сорняка (или частицу почвы) действуют силы: N_v и $(N_t - F)$ результирующая сила которых - R , направленная под углом φ к нормали N . Корень сорняка при резании должен перемещаться по направлению этой единственной силы R до тех пор, пока не произойдет срез. Из этого следует, что при передвижении лапы из положения I в положение II на

длину пути L сорняк переместится из точки m_1 и m_2 , т.е. пройдёт по лезвию пути m_1 и m_2 , если только он не будет срезан раньше, так как сорняк проходит вдоль лезвия определённый путь, то резание происходит со скольжением.

Если бы имело место неравенство $(90^\circ - \gamma) < \varphi$, то сила трения, как бы реактивная, была бы равна слагающей N_t , и корень сорняка двигался бы по направлению силы N_v , т.е. резание со скольжением не происходило бы.

Следовательно, резание со скольжением возможно, если $\gamma < (90^\circ - \gamma)$, т.е. когда половина угла раствора лапы меньше разности между $\pi/2$ и φ угла трения перерезаемого материала по материалу лапы.

Коэффициент скольжения или мера скольжения материала по лезвию, есть отношение пути m_1 и m_2 , проходимого частицей материала по лезвию, к пути m_1 и m_2 - перемещения этой частицы в почве. По теореме синусов получаем значение коэффициента скольжения:

$$\eta = \frac{m_1 m_2}{m_2 m_2} = \frac{\sin[(90^\circ - \gamma) - \varphi]}{\sin \gamma} = \frac{\cos(\gamma + \varphi)}{\sin \gamma}, \quad (6.2)$$

Коэффициент скольжения тем больше, чем меньше угол γ , если $(90^\circ - \gamma) = \varphi$ или $\gamma + \varphi = 90^\circ$, то $\eta = 0$ и скольжение не происходит.

Удельная работа резания – это количество работы, затрачиваемое на перерезание на 1 см^2 материала:

$$\dot{A}_{\text{да}} = \frac{A}{S} = \frac{PL}{S}, \quad (6.3)$$

где A – общая величина произведённой при резании работы, Дж;
 S – ось сечения перерезанного материала, м^2 ;
 P – рабочее сопротивление при резании, Н;
 L – проекция пути ножа на направление силы P , м.

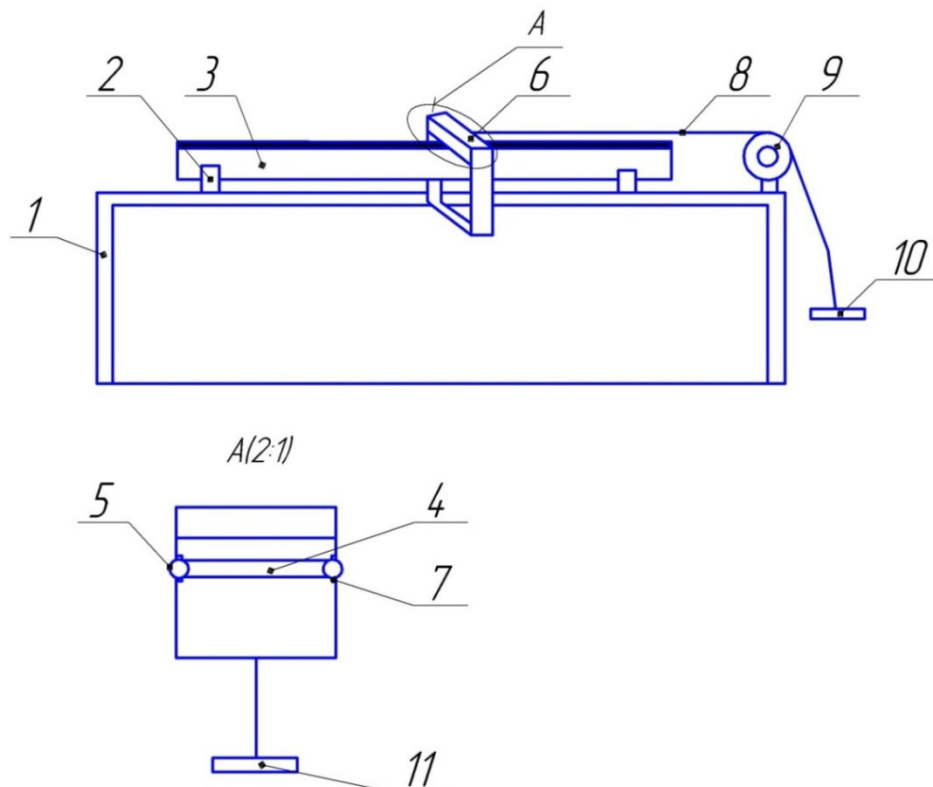
Оборудование, приборы, материалы.

Установка для проведения опытов, образцы почвы и стеблей, штангенциркуль, набор лезвия, набор гирь, миллиметровая бумага.

Описание лабораторной установки.

Установка по определению параметров резания стеблей состоит из неподвижной рамы 1 (рисунок 6.3), в которой укреплен нож 3 при помощи зажимов 2. На лезвие ножа 3 устанавливается стебель (пучок стеблей) 4 испытуемой культуры. Стебли закрепляются в держателе 7. Положение держателя на высоте регулируется винтом 5, находящегося в верхней части подвижной рамки 6. В нижней части рамки 6 устанавливаются грузы 11,

которые необходимы для обеспечения нормального давления испытуемого материала. Для продольного перемещения подвижной рамки 6 имеется шнур 8, один конец которого закреплён в ушках подвижной рамки 6, а другой перекинут через ролик 9 и закреплён с грузом 10. Грузом 10 обеспечивается необходимое касательное усилие для среза со скольжением.



1-рама; 2-зажим; 3-нож; 4-стебель; 5-винт; 6-подвижная рамка; 7-держатель; 8-шнур; 9-ролик; 10-грузик для касательного усилия; 11-груз для нормального давления.

Рисунок 6.3 – Схема установки по определению параметров резания стеблей

Порядок выполнения работы:

1. Укрепить испытуемый образец (по заданию) в держателе 7.
2. Отрегулировать горизонтальность шнура 8 при помощи винта 5.
3. Положить груз массой (по заданию преподавателя).
4. Закладывать грузы до появления скольжения и записать массу груза.
5. Измерить путь L от начала резания до полного перерезания стеблей.
6. Вычислить площадь поперечного сечения перерезанного стебля.
7. Определить удельную работу резания.
8. Повторить опыты по пунктам 4, 5, 6, 7 с интервалом, обеспечивающих нормальное давление.
9. Подготовить отчёт.
10. По данным измерений опытов и вычислений заполнить таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Данные измерений опытов и вычислений

№ опытов	Параметры резания			
	Путь резания L, м	Площадь S, м ²	Усилие P, Н	Удельная работа А, Дж/м ²

Вопросы для самостоятельного контроля:

1. Роль и значение лезвия лемеха в работе плуга.
2. Показать схемы сил, действующих на лезвие лемеха.
3. Изобразить схему сил, действующих на корень растения при перерезании лезвием лапы культиватора.
4. При каких условиях происходит резание со скольжением?
5. Что такое коэффициент скольжения?
6. Как определить удельную работу при резании лезвием?
7. Какая разница между углом заострения клина и углом трения?
8. Что такое угол резания?
9. Какое значение имеет заданный угол резания?
10. Как определить результирующую силу резания при работе на лабораторной установке?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ РАЗМЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕМЯН И КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ»****Цель работы.**

Изучить теоретические основы сепарации зерновых смесей на составляющие элементы и определить закономерности изменчивости размерной характеристики семян культурных растений и их засорителей.

Содержание работы.

Ознакомиться с общими сведениями поясняющими теоретические основы процесса механического разделения сельскохозяйственных материалов с использованием их физико-механических и технологических свойств, показателей размерной характеристики, формы и свойств поверхности. Изучить порядок пользования мерительным инструментом, провести размерный анализ образцов семенного материала, определить их статистические характеристики и показатели изменчивости. На основании полученных данных построить вариационные кривые для основной культуры и ее засорителей, дать прогноз степени возможного их разделения. Сделать выводы по работе и сформулировать конкретные рекомендации.

Общие сведения.

Всякая зерновая смесь может быть механически разделена на составные части при условии, если эти части отличаются друг от друга по своим физико-механическим свойствам.

Наиболее важными физико-механическими свойствами, используемыми при очистке и сортировке зерна или семян трав, являются: размеры семян, их форма, состояние поверхности, плотность, цвет, упругость, коэффициент парусности и другие показатели, которые разделяются следующим образом:

А. По геометрическим размерам сельскохозяйственные материалы разделяют на решетках: роликовых или ленточных поверхностях и ячеистых триерах. Геометрическая характеристика частиц материала определяется их тремя размерами: толщиной, длиной и шириной. Толщиной считается наименьший размер частицы, длиной – наибольший и шириной – средний размер.

По признаку **ширины** частицы разделяют на решетках с круглыми отверстиями и на роликовых поверхностях. При этом все частицы, имеющие меньшую ширину, чем диаметр отверстий, проходят сквозь них. Более крупные компоненты смесей, которые не прошли сквозь отверстия, сходят с решетки сплошным потоком. Поэтому всю массу смесей, проходящую сквозь отверстия решетки, называют **проходом**, а что остается на решетке и движется по его поверхности, образует **сход** с решетки.

Эффективное разделение по ширине на решетках с круглыми отверстиями возможно в том случае, если частицы расположатся продольной осью перпендикулярно к поверхности решетки. Для этого решетку необходимо сообщать вертикальные колебания. В тех случаях, когда длина частицы не превышает ширину более чем в два раза (например, клубы картофеля), разделение хорошо происходит и на решетках, совершающих горизонтальные колебания.

По **толщине** материал разделяют на решетках с продолговатыми отверстиями и на ленточных поверхностях. Для разделения массы по толщине частица должна на решетке повернуться на ребро и расположиться вдоль отверстия. Это требование обеспечивается при горизонтальных колебаниях решет.

На машинах с ленточным рабочим органом сортирующая поверхность состоит из ремней, натянутых веерообразно на специальные шкивы, оснащенные канавками. Между ремнями образуется постепенно расширяющаяся щель. При движении ремней частицы передвигаются вдоль щели и в зависимости от размеров просыпаются, а крупные идут сходом.

Ленточные рабочие поверхности применяются, главным образом, для сортирования клубней, плодов и овощей.

По **длине** частицы разделяют на ячеистых триерах и решетках со округлыми отверстиями. Триер представляет собой барабан, на внутренней поверхности которого нанесены ячейки. При вращении барабана частицы, засыпанные внутрь, попадают в ячейки и увлекаются ими вверх. Длинные частицы не захватываются ячейками, а короткие западают в ячейки, поднимаются ими и сбрасываются в лоток и шнеком выводятся из барабана.

Для разделения по длине на решетках с круглыми отверстиями используют плоскость, установленную параллельно решетку с зазором, превышающую максимальную ширину частиц. Плоскость не позволяет частицам располагаться длинной осью перпендикулярно к поверхности решета, поэтому через отверстия не пройдут частицы по ширине, а пройдут только те, у которых длина меньше диаметра отверстия. Длинные компоненты смеси пойдут с решета сходом.

Б. Разделение по аэродинамическим свойствам (по парусности) производят в воздушном потоке. Для этого применяют как нагнетательный воздушный поток, так и всасывающий.

Всасывающий воздушный поток продолжительно воздействует на частицы, чем нагнетательный, поэтому разделение зерновой массы происходит более эффективно.

В. Разделение по форме и состоянию поверхности также широко используется при очистке и сортировании зерновых смесей. Так, на решетках треугольными отверстиями производится разделение по форме, например, из пшеницы можно выделить гречишку (кырлык), из тимофеевки – щавель мелкий и др.

На винтовых сеператорах-змейках выделяют округлые частицы, которые перекатываясь при падении отбрасываются под действием центробежной силы на большее расстояние.

Г. В соответствии с агротехническими требованиями, если при первичной очистке семенной материал образует фракции чистых семян, фуражных отходов, крупных, легких и мелких примесей, то при вторичной очистке, кроме чистых семян необходимо выделить фракции зерновых примесей, аспирационных отходов и крупных примесей. Причем содержание примесей в семенном материале не должно превышать 1%, а потеря семян основной культуры - не более 4%, в том числе и аспирационные отходы и крупные примеси – 1%. Очевидно, такие высокие требования к обрабатываемому материалу могут быть выполнены только при широком использовании

различий в размерных характеристиках или в аэродинамических свойствах материала.

Под **размерными характеристиками** понимают показатели, определяющие изменчивость какого-либо размера или свойства материала, по которым проводится его разделение. Изменчивость размеров выделяемых материалов определяют **вариационными рядами** и **вариационными кривыми**.

Вариационный ряд составляется в виде таблицы (таблица 7.1), в которую вносят классы и частоту повторения. Классы представляют собой промежутки, на которые разделяют весь диапазон изменения размера. Каждый класс определяется крайними значениями размера (граница класса) и средним значением этой границы. Частота – количество материала в каждом классе. Она оценивается абсолютными значениями по массе или по числу, а также процентами.

Таблица 7.1 - Таблица вариационного ряда

Классы (промежутки разделения)	1-й	2-й	3-й	...	n-й	Всего
Границы классов	$l_0 - l_1$	$l_1 - l_2$	$l_2 - l_3$	...	$l_{n-1} - l_n$	-
Среднее значение класса	l_{cp1}	l_{cp2}	l_{cp3}	...	l_{cpn}	-
Частота по количеству	m_1	m_2	m_3	...	m_n	$\sum m_i$
Частота в проц., $P, \%$	P_1	P_2	P_3	...	P_n	100

1. Полное разделение смеси, когда кривые изменения размеров первого и второго компонентов смеси не перекрывают одна другую (рисунок 7.1).

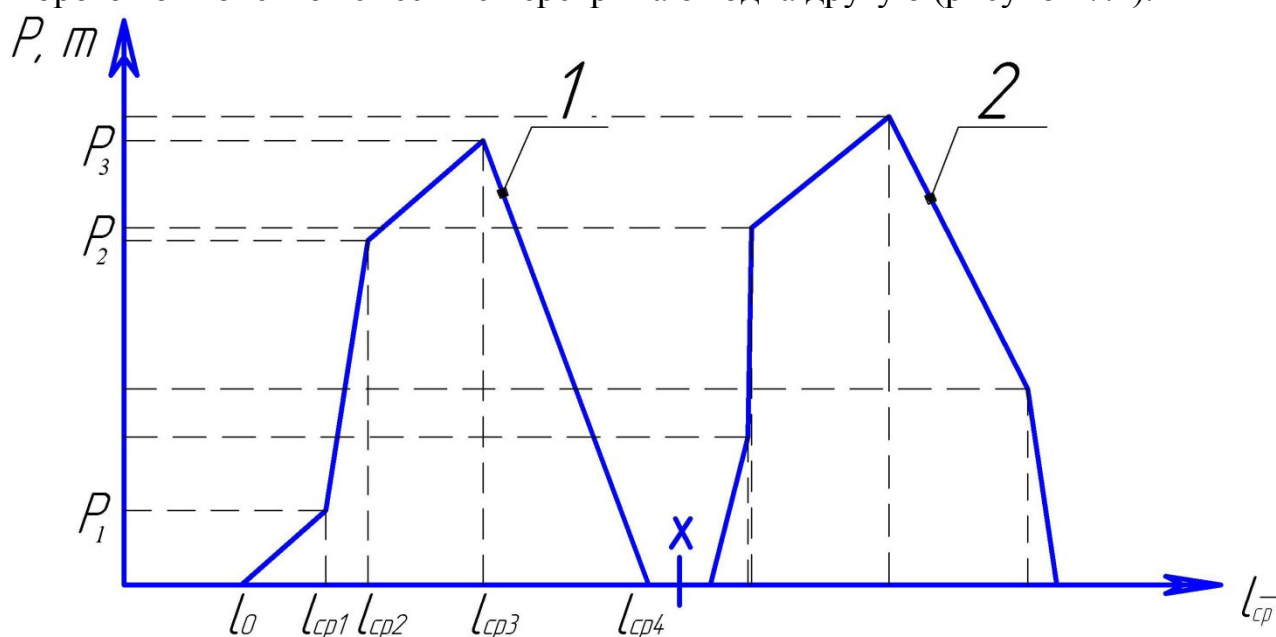


Рисунок 7.1 – Возможно полное разделение смеси

2. Частичное разделение смеси, если исходящая ветвь кривой и восходящая другой (или нескольких кривых, соответствующих размерам засорителей) пересекают друг друга (рисунок 7.2). Причем, если:

- по значению x_1 выделяют один компонент, которому соответствует кривая 1, то часть этого компонента уходит в примеси (отходы);
- по значению x_2 смесь разделяют на две фракции, то в каждой из них будут находиться компоненты другой фракции;
- по значению x_1 и x_2 будут получены три фракции, то из них две фракции будут содержать по одному компоненту, а третья – с двумя компонентами.

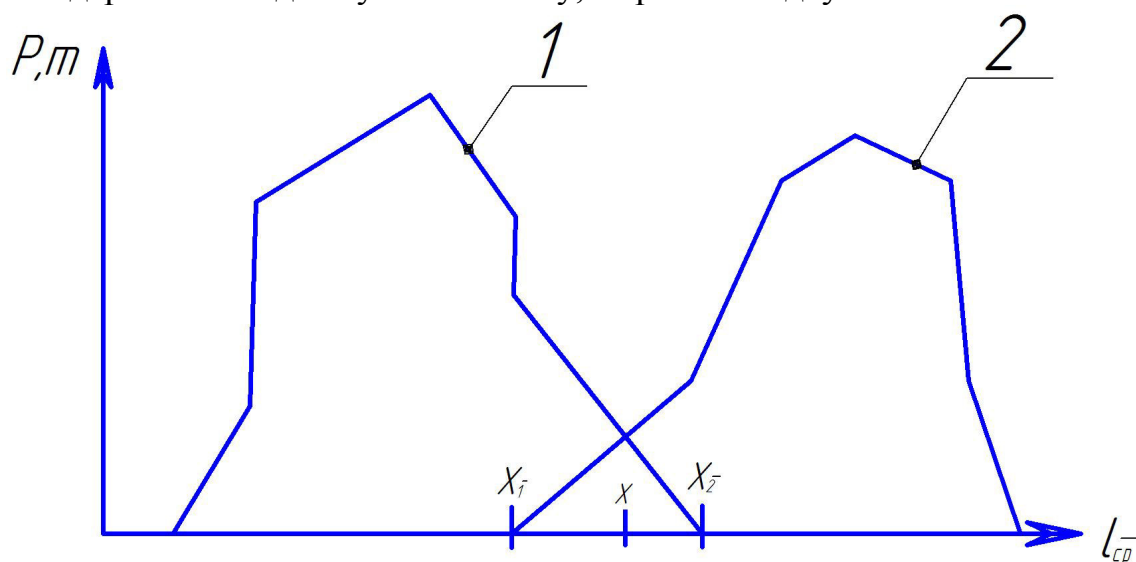


Рисунок 7.2 – Возможно частичное разделение смеси

3. Разделение смеси материала по рассматриваемым признакам невозможно, если кривые перекрывают одна другую (рисунок 3).

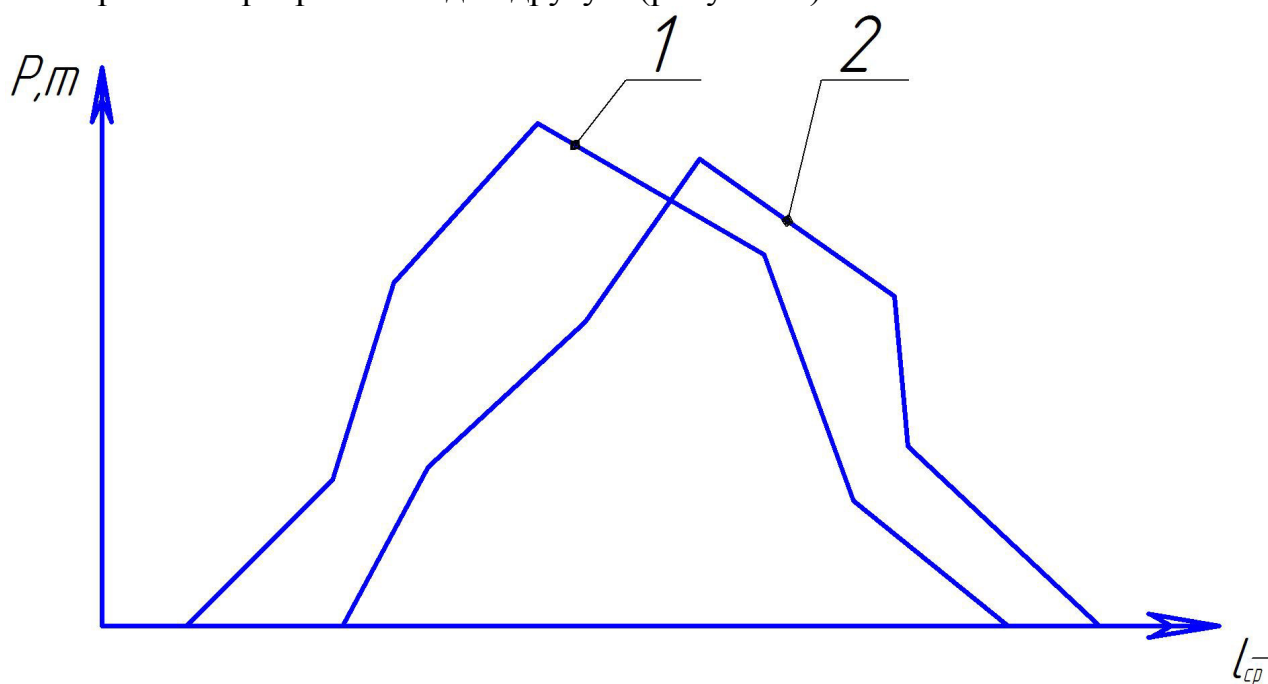


Рисунок 7.3 – Разделение смеси невозможно

Оборудование, приборы, материалы.

Линейка, штангенциркуль, навеска, миллиметровая бумага, весы, семена различных культур.

Порядок выполнения работы:

1. По заданию преподавателя из образца семенного материала выбрать навеску массой 50...80 г.
2. Сделать предварительный анализ пробы семян, выделить определяющие характеристики, измерив наибольшие и наименьшие размеры компонентов, выделить границы и число классов (т.е. L_o, L_n) и n .
3. Замерить размеры всех частиц взятой навески, записать их в тетрадах. Из полученного блока данных выбрать число частиц каждого класса и занести их в расчётную таблицу 7.1. Определить средние значения классов $L_{\bar{n}\delta}$, частоту встречи m_1 и расчётным путём найти статические показатели $M_{\bar{n}\delta}$ и δ .
4. По найденным характеристикам изменчивости размерных показателей на миллиметровой бумаге построить вариационные кривые по каждому признаку зерновой смеси.
5. На основании полученных вариационных кривых произвести анализ условий полноты их разделения, выделить определяющие признаки разделения, форму и размеры отверстий подбираемых решёт, сделать практические выводы по выполненной работе.
6. Составить отчёт, который должен содержать схему лабораторной установки, данные опытов (табл. 7.1 и 3 графика с вариационными кривыми).

Вопросы для самостоятельного контроля:

1. Какие физико-механические и технологические свойства зерновых смесей вы знаете, и как они используются на практике?
2. Какие геометрические размеры семян используются при разделении их на решётах с круглыми и продолговатыми отверстиями и какие при разделении их на триерах?
3. Назовите, что такое длина, ширина и толщина семян, укажите их аэродинамические свойства и порядок определения их числовых значений?
4. Что такое вариационный ряд, как он составляется и какими показателями характеризуется?
5. Укажите порядок анализа вариационных кривых зерновых смесей, выявления возможностей их разделения размеров и отверстий.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

«ОБОСНОВАНИЕ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПРИ ОЧИСТКЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕМЯН»

Цель работы.

Определить возможность разделения компонентов вороха воздушным потоком и рассчитать скорость воздуха для транспортирования заданной сыпучей смеси.

Содержание работы.

Изучение возможности разделения компонентов вороха воздушным потоком. Изучить устройство и принцип работы парусного классификатора. Определить критические скорости компонентов зерновой смеси. Составить отчёт о выполненной работе.

Общие сведения.

Основные элементы воздушных систем сельскохозяйственных машин – это источники воздушного потока – вентиляторы; воздушные каналы, направляющие воздушный поток и примеси; осадочные камеры и пылеуловители, очищающие воздушный поток от примесей. При этом разделение сыпучих смесей по аэродинамическим свойствам компонентов или фракций широко применяют во время послеуборочной обработки зерна. Кроме того, известно, что хлебная масса, переработанная молотильным аппаратом, представляет собой смесь зерна, соломы, сбоины и половы. При разработке технологической схемы очистки и сортировки зерновых смесей необходимо учитывать их технологические свойства: размеры, плотность, упругость, массу, форму, свойства поверхности, парусность.

Критическая скорость и коэффициент парусности для одного и того же вида семян, частиц вороха и примесей изменяются в определённых пределах, следуя закону нормального распределения. Критическая скорость кусочков соломы, колосьев без зёрен, половы значительно ниже критической скорости основного зерна. Поэтому, используя воздушный поток, зерновую смесь можно разделить на две или несколько фракций.

Из всех известных методов разделения сельскохозяйственных материалов (решётные станы, триеры и пр.), одним из распространённых, является способ разделения их с помощью воздушного потока. Он основан на различных аэродинамических свойствах разделяемых смесей.

Показателями, характеризующими аэродинамические свойства частиц, является: критическая скорость (скорость витания) $V_{\text{ед}}$, коэффициент сопротивления воздуха k и коэффициент парусности $\hat{E}_I$. Схема сил действующих на частицу, представлена на рисунке 8.1.

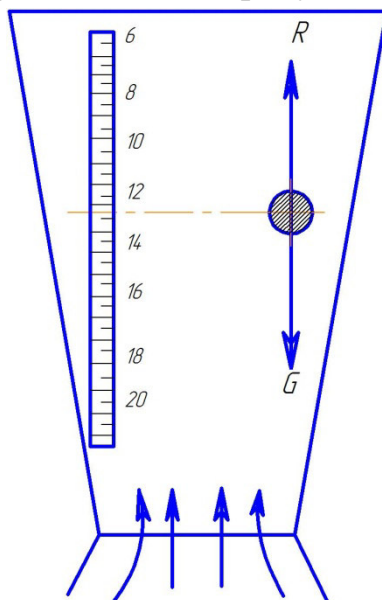


Рисунок 8.1 – Схема сил действующих на частицу

Критическая скорость. Если поместить семя или другую частицу зерновой смеси в однородный вертикальный поток воздуха, движущийся вверх со скоростью V_B , то со стороны последнего оно будет подвергаться воздействию силы R , которая может быть найдена по формуле Ньютона:

$$R = k\rho S(V_B - V_C)^2, \quad (8.1)$$

где k - коэффициент сопротивления воздуха;

ρ - плотность воздуха, кг/м³;

V_B - скорость воздушного потока, м/с;

V_C - скорость движения семени, м/с;

S - площадь (миделево сечение) проекции тела на плоскость, перпендикулярную направлению воздушного потока, м².

Под действием силы R и силы тяжести $G = mg$ частица будет двигаться вниз (при $G > R$) или вверх (при $G < R$). Для частного случая, когда частица будет находиться во взвешенном состоянии, $V_C = 0$ и $R = G$. Исходя из этого, определяем критическую скорость:

$$V_{\text{ед}} = \sqrt{\frac{G}{k\rho S}}, \quad (8.2)$$

Поскольку коэффициент сопротивления воздуха k определить затруднительно, вначале определяют критическую скорость $V_{\text{êđ}}$ в вертикальной аэродинамической трубе методом замера динамического напора:

$$V_{\text{êđ}} = 1,29\sqrt{h_d}, \quad (8.3)$$

где h_d - динамический напор, Па.

Для определения площади миделево сечения частицы изучаемого материала необходимо выполнить измерение размеров 30...40 семян, выбранных из навески.

Причём у частиц, имеющих три размера, измеряются длина a , ширина b и толщина c . По средним значениям из 30-40 измерений определяется площадь поперечного сечения частицы:

$$S = d^2, \quad (8.4)$$

$$\text{где } d = \sqrt[3]{abc}. \quad (8.5)$$

Затем вычисляют коэффициент сопротивления:

$$k = \frac{G}{\rho S V_{\text{êđ}}^2}, \quad (8.6)$$

и коэффициент парусности:

$$K_{\text{ĭ}} = \frac{9,8k\rho S}{G} = \frac{9,8}{V_{\text{êđ}}^2}. \quad (8.7)$$

Критическая скорость $V_{\text{êđ}}$ для семян зерновых культур находится в пределах 8 ± 17 м/с, коэффициент сопротивления $k = 0,04 \pm 0,30$, коэффициент парусности $K_{\text{ĭ}} = 0,07 \pm 0,15$ (таблица 8.1 и 8.2).

Таблица 8.1 – Физико-механические свойства семян сорняков
(при влажности $14 \pm 17\%$)

Семена	Размер в 10^{-3} м			Вес 1000 штук в 10^{-3} м	Внедряемость порошка в % к весу
	длина	ширина	толщина		
1	2	3	4	5	6
Куколь	2,8...4,4	2,0...2,8	1,6...2,8	10,65	13,4
Василёк	2,8...4,8	1,2...2,2	0,8...1,6	4,05	0,7
Подмаренник	1,6...2,8	1,6...2,4	1,2...2,0	-	-
Плюшка	2,0...3,2	1,4...3,0	0,6...1,6	2,69	0,8
Плевель	4,0...7,7	0,8...2,6	1,0...2,4	3,94	11,6
Овсяг	10,0...15,6	1,2...3,2	1,4...3,0	30,14	-
Повилика- льняная	0,9...1,2	-	-	-	15,0

Продолжение таблицы 8.1

1	2	3	4	5	6
Повилика-клеверная	0,5...1,4	-	-	0,70	17,1
Горчак розовый	3,0...4,0	-	1,0...-1,8	-	1,6
Смолёвка	1,2...1,5	1,0...1,2	0,8...1,0	0,90	17,6
Подорожник	-	1,2...1,5	-	1,00	8,6
Клевер	-	-	-	-	1,0
Люцерна	-	-	-	-	0,4

Таблица 8.2 – Критическая скорость различных видов зерна и сорняков

Семена культур	$V_{ед}$, м/с
Пшеница	9,0...11,5
Рожь	8,5...10,0
Ячмень	8,5...11,0
Овёс	8,0...9,0
Просо	10,0...12,0
Горох	15,5...16,5
Фасоль	12,5...14,0
Вика	13,0...17,0
Чечевица	8,0...10,0
Соя	17,0...20,0
Кукуруза	12,5...14,0
Конопля	8,0...11,0
Подсолнечник	7,0...8,5
Пшеница щуплая	5,5...7,5
Пшеница битая вдоль	5,7...8,3
Пшеница битая поперёк	8,0...9,8
Пшеница повреждённая	7,3...9,5
Вьюнок	6,0...8,0
Овсяг	5,5...6,5
Гречиха	3,5...8,0
Пырей	5,0...7,0
Василёк	4,0...6,0
Куколь	7,0...10,0
Сорняки лёгкие	4,5...5,5

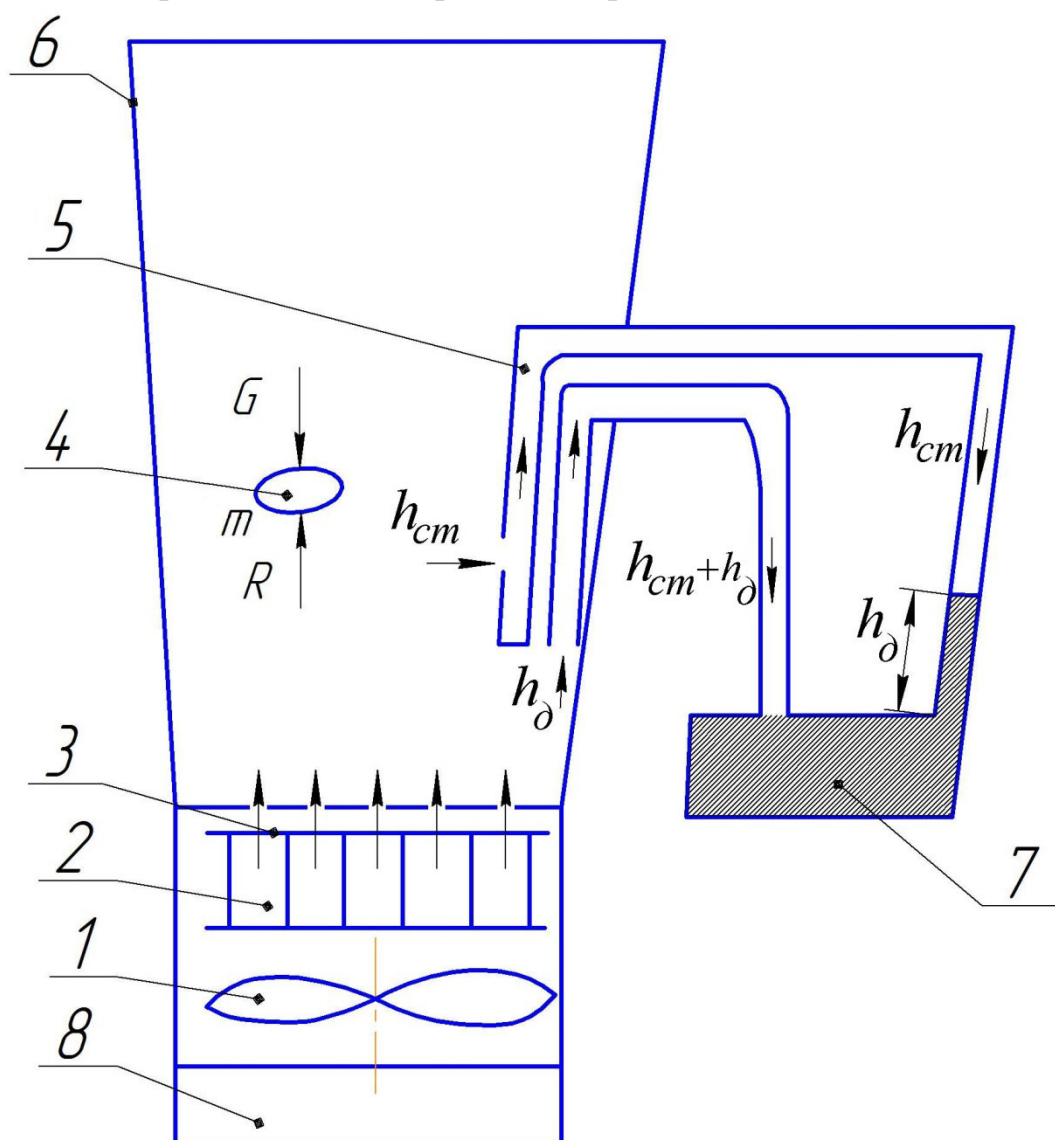
Оборудование, приборы, материалы.

Парусный классификатор, линейка, штангенциркуль, секундомер, трубка пито, микроманометр, весы, семена различных культур.

Описание лабораторной установки.

Парусный классификатор (рисунок 8.2) состоит из вентилятора 1, выравнивателя 2, сетки 3, трубки Пито 5, рабочей трубы 6 и микроманометра 7. Навеска испытуемого материала помещается на сетку выравнивателя 2 и закрепляется зажимом. При работе воздух засасывается через насадку 8 и проходит через сетку 3 выравнивателя в рабочую трубу 6 и выходит через систему воздушных каналов. Рабочая труба выполнена из прозрачного материала, что позволяет визуально наблюдать за перемещением семян. Скорость воздушного потока регулируется с помощью реостата. Для измерения давлений воздушного потока могут применяться трубки Прандтля, Пито, ЦАГИ и др.

Трубки Пито для измерения полного и статического давления соединяются гидравлическим микроманометром.



1-вентилятор; 2-выравниватель; 3-сетка; 4-частицы; 5-трубка измерительная; 6-труба; 7-микроманометр; 8-насадка.

Рисунок 8.2 – Схема парусного классификатора

Порядок выполнения работы:

1. Отвесить 10 граммов семян определённой культуры (по заданию преподавателя) и высыпать в аэродинамическую трубу.
2. Записать первоначальное показание микроманометра.
3. Включить вентилятор и с помощью реостата увеличить частоту вращения вала вентилятора до тех пор, пока частицы не будут находиться во взвешенном состоянии (витать около трубки пито).
4. Записать показания микроманометра h_d в момент витания частиц.
5. Вычислить критическую скорость:

$$V_{\dot{\epsilon}\delta} = 1,29\sqrt{h_d}.$$

6. Определить силу тяжести зерна G .
7. Определить среднюю площадь миделева сечения:

$$S = d^2.$$

8. Вычислить коэффициент сопротивления воздушному потоку:

$$k = \frac{G}{\rho S V_{\dot{\epsilon}\delta}^2}.$$

9. Вычислить коэффициент парусности:

$$K_{\dot{I}} = \frac{9,8k\rho S}{G} = \frac{9,8}{V_{\dot{\epsilon}\delta}^2}.$$

10. Составить отчёт, который должен содержать схему лабораторной установки, данные опытов и вычислений заполнить в таблицу 8.3.

Таблица 8.3 – Результаты полученных данных

№ опыта	Культура	h_d	$V_{\dot{\epsilon}\delta}$	S	k	$\hat{E}_{\dot{I}}$
1	Ячмень					
2						

Вопросы для самостоятельного контроля:

1. Как определяется критическая скорость?
2. Какие силы действуют на частицу, находящуюся в воздушном потоке?
3. Что такое Миделево сечение?
4. Что такое статический, динамический и полный напоры?
5. Что такое коэффициент парусности?
6. Что такое коэффициент сопротивления воздушному потоку?
7. Что такое сила тяжести зерна?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА И КОЭФФИЦИЕНТОВ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОЧВЫ»

Цель работы.

Определить углы естественного откоса и коэффициенты внутреннего трения сельскохозяйственных материалов и почвы (некоторых семян сельскохозяйственных культур).

Содержание работы.

Изучение устройства и принципа действия лабораторной установки для определения угла естественного откоса и коэффициентов внутреннего трения сельскохозяйственных материалов и почвы. Изучение теоретических основ действия лабораторной установки для определения значения коэффициента трения сельскохозяйственных материалов.

Общие сведения.

Многие сельскохозяйственные материалы обладают свойствами сыпучести. Это песчаные и супесчаные почвы (особенно при низкой влажности), зерно, минеральные удобрения и так далее. При взаимодействии таких материалов с рабочими органами машин неизбежно возникает взаимное перемещение частиц, оказывающее влияние на характер протекания выполняемого машиной технологического процесса и определяющего конструктивные и регулировочные параметры рабочих органов.

Характер взаимного перемещения частиц материала в основном зависит от фрикционных свойств этих частиц, характеризующихся коэффициентом внутреннего трения. Углы внутреннего трения сыпучих материалов равны их углам естественного откоса. Это видно из рисунка 9.1. Взаимное перемещение частиц прекратится при:

$$T = F_{\max}, \quad (9.1)$$

где T - составляющая силы тяжести, равная $mg \sin \alpha$, Н;

$F_{\max}$ - сила трения, возникающая при взаимном перемещении частиц, Н.

Однако, известно, что

$$F_{\max} = fN, \quad (9.2)$$

где f - коэффициент внутреннего трения;

N - нормальная сила, которая равна $mg \cos \alpha$, Н.

Тогда равенство (9.1) примет следующий вид:

$$mg \sin \alpha = mg \cos \alpha, \quad (9.3)$$

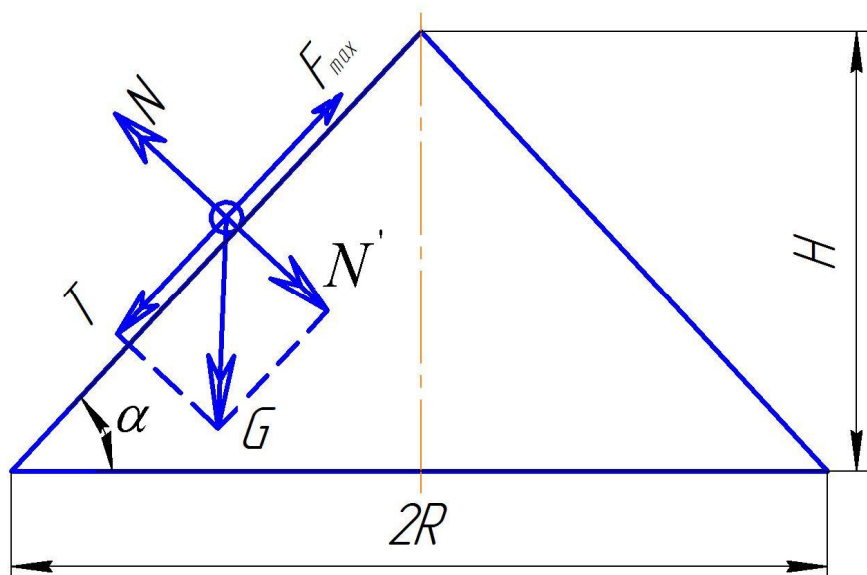


Рисунок 9.1 – Схема сил для определения коэффициента внутреннего трения сыпучих материалов

Имея, что $f = \operatorname{tg} \varphi$, где φ - угол внутреннего трения, получим:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi. \quad (9.4)$$

Следовательно, равновесие наступит при $\alpha = \varphi$.

Используя полученное равенство, легко определить значение коэффициентов внутреннего трения зерновых материалов опытным путём.

Знание конкретных значений угла естественного откоса и коэффициента внутреннего трения почв и других сельскохозяйственных материалов помогает правильно спроектировать рабочие органы сельскохозяйственных машин и выбрать такой принцип их действия, который позволит качественно выполнить технологический процесс при наименьших затратах энергии.

Угол α (рисунок 9.1), образованный плоскостью естественного откоса насыпного груза с горизонтальной плоскостью, называют углом естественного откоса, который рассчитывается по следующей формуле:

$$\alpha = \operatorname{arctg}(2h/d), \quad (9.5)$$

где h - высота насыпи в середине основания, замеренная с точностью до 1 мм линейкой указателем, мм;

d - диаметр основания насыпи, мм.

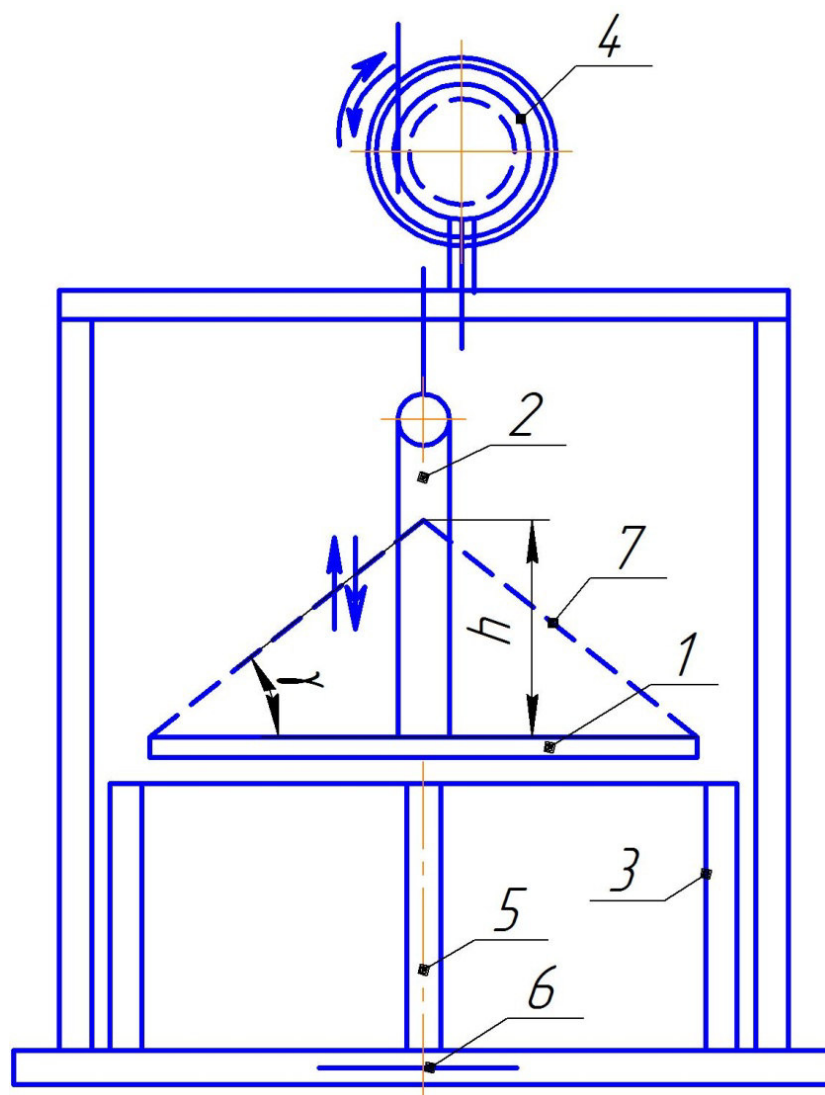
Он зависит от подвижности частиц насыпного груза и состояния опорной поверхности. Чем большей подвижностью обладают грузы, тем меньше угол α .

Оборудование, приборы, материалы.

Линейка, набор разновесов, прибор для определения угла естественного откоса и коэффициента внутреннего трения сельскохозяйственных материалов и почвы, зерно сельскохозяйственное (пшеница, ячмень и т. д.).

Описание лабораторной установки.

Прибор для определения коэффициента внутреннего трения дисковой конструкции (рисунок 9.2) состоит из вертикального цилиндра 3 диаметром 400 мм, диска 1 диаметром 300 мм, перемещающийся в горизонтальном положении по вертикали от дна цилиндра до верхних его краёв. Диск имеет центральный тонкий стержень со шкалой, цена деления которой равна 1 мм. Он может перемещаться по направляющему стержню 5 подъёмным устройством 4.



1-диск; 2-стержень со шкалой; 3-цилиндр; 4-подъёмное устройство; 5-направляющий стержень; 6-выгрузное окно; 7-образующая конуса материала.

Рисунок 9.2 – Схема прибора для угла естественного откоса и коэффициента внутреннего трения сельскохозяйственных материалов и почвы

Порядок выполнения работы:

1. По заданному варианту (таблица 9.1) подбирается вид материала.

Таблица 9.1 – Виды исследуемого материала

Вариант опыта	Виды материала	Вариант	Вид материала
1	Пшеница	6	Просо
2	Рожь	7	Лён
3	Горох	8	Кукуруза
4	Овёс	9	Семена сахарной свеклы
5	Ячмень	10	Семена трав
Минеральные удобрения		11	Калийная соль
		12	Суперфосфат
		13	Нитрофоска
		14	Сульфат аммония
		15	Фосфоритная мука

2. Исследуемый материал засыпается в цилиндрический сосуд 3 на высоту h . При этом диск 1 прибора остаётся под исследуемым материалом.
3. С помощью механизма 4 диск 1 начинают медленно поднимать.
4. По мере подъёма диска относительно дна цилиндра по направляющему штоку 2, часть исследуемого материала просыпается за периферию диска и попадает на дно цилиндра 3, а оставшийся на нём материал приобретает форму конуса.
5. После завершения процесса самоосыпания исследуемого материала и приобретения им формы конуса определяется угол естественного откоса материала и высота это конуса по шкале стержня.
6. Значение коэффициента внутреннего трения исследуемого материала определяется отношением:

$$\varphi_0 = \operatorname{tg} \varphi = \frac{h}{r}, \quad (9.6)$$

где h - высота образующей угла конуса исследуемого материала, мм;
 r - радиус диска прибора, мм.

7. С целью получения достоверных результатов измерения опыт с каждым заданным исследуемым материалом должен проводиться с 5...7 кратной повторностью.
8. На основании обработки результатов опытов определяется среднеарифметическое значение M для угла трения:

$$M = \frac{\sum P \cdot \varphi}{n}, \quad (9.7)$$

где $\sum P \cdot \varphi$ - сумма произведения опытных данных, град;
 n - общее число вариантов.

среднеквадратическое отклонение вариационного ряда σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{P \cdot x^2}{n-1}}, \quad (9.8)$$

коэффициент вариации V :

$$V = \frac{\sigma \cdot 100}{M}, \quad (9.9)$$

ошибка среднеарифметического значения m угла трения:

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (9.10)$$

Пример значений математической обработки представлен в таблице 9.2

Таблица 9.2 – Пример значений математической обработки

Значение	Частота	Произведение	$x_i - m_{\text{н\delta}}$	Δx^2	Px^2
33^0	1	33	-1	1	1
34^0	2	68	0	0	0
35^0	1	35	+1	1	1
Итого	$\sum P = 4$	$\sum P\varphi = 136$	0	$\sum = 2$	$\sum Px^2 = 2$

9. Полученные данные занести в таблицу 9.3

Таблица 9.3 – Результаты полученных данных

Материал	Угол естественного откоса, град	Высота конуса, мм	Коэффициент внутреннего трения	M , град	σ , град	K , %	m , град
Ячмень							

Вопросы для самостоятельного контроля:

1. Дать определение сыпучести зерновых материалов.
2. Как определяется коэффициент внутреннего трения зерновых материалов?
3. Как влияет на коэффициент внутреннего трения изменение угла наклона линейки к направлению движения?
4. Какая связь существует между коэффициентом внутреннего трения и углом трения?
5. Что называется углом естественного откоса и как он определяется?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНА ПО РЕШЕТУ»

Цель работы.

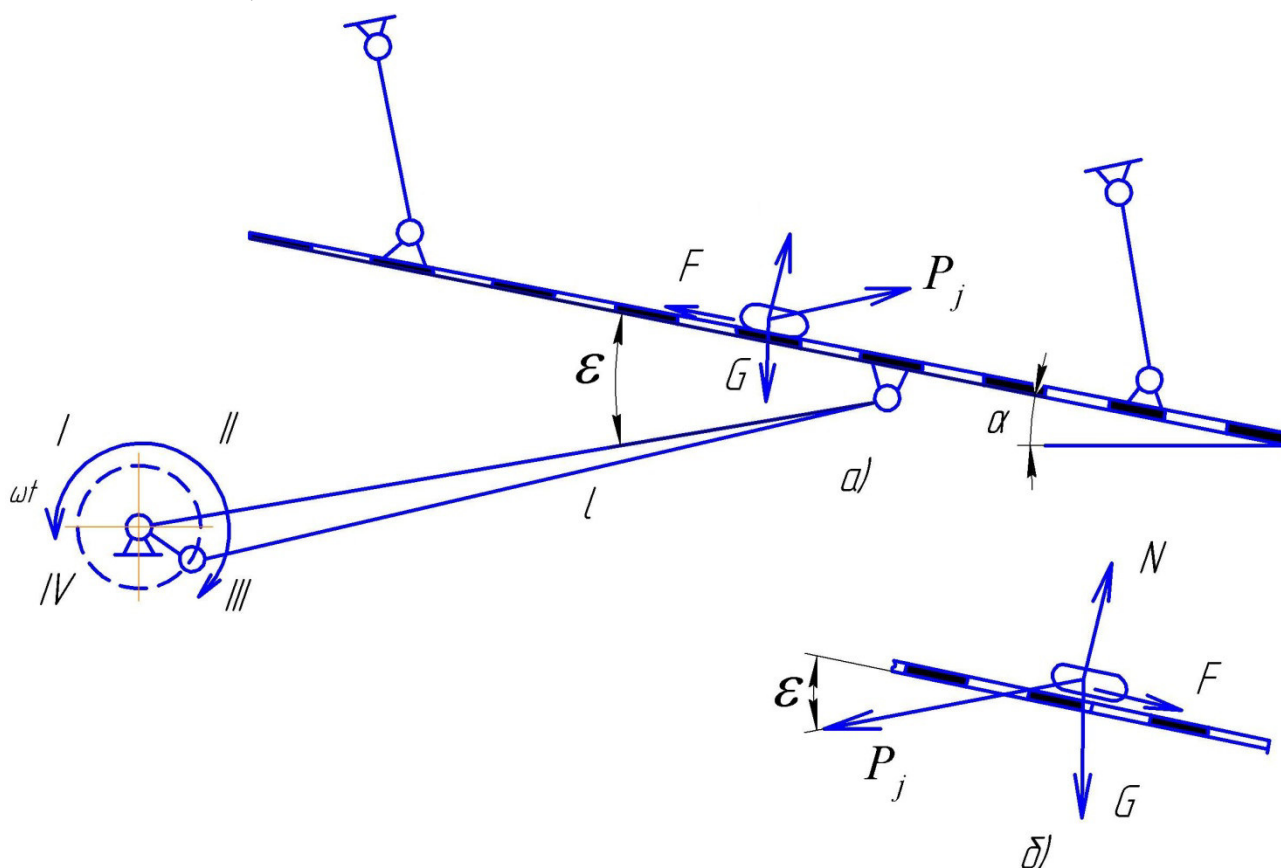
Определить коэффициент трения зерна по решетку и его среднюю скорость движения.

Содержание работы.

Изучить устройство установки для определения коэффициента трения зерна по решетку и его средней скорости движения. Выполнить эксперименты по определению коэффициента трения зерна по решетку и его среднюю скорость движения. Составить отчет о работе.

Общие сведения.

На частицу массой m (рисунок 10.1) действует сила тяжести $G = mg$, сила инерции $P_i = mr\omega^2 \cos \omega t$, реакция N и сила трения F .



G – сила тяжести; N – нормальная сила; F – сила трения; P_i – сила инерции.

а) движение частицы вниз по плоскости решета; б) движение частицы вверх по плоскости решета.

Рисунок 10.1 – Схема сил, действующих на частицу

Рабочий процесс плоского решета включает в себе следующие основные моменты:

- перемещение зерновой смеси, равномерно распределённой по поверхности решета;
- западания семян в отверстия решета сквозь них тех, размеры которых меньше рабочих размеров отверстий.

Условия перемещения материала вниз по плоскости решета:

$$j_{\dot{a}i} = \omega^2 r > g \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\varepsilon - \varphi)}, \quad (10.1)$$

где φ – угол трения частиц материала о плоскость решета, град;

α – угол наклона решета, град;

ε – угол между направлением колебания решета и плоскость решета, град.

Вверх по плоскости решета:

$$j_{\dot{a}\dot{a}} = \omega^2 r > g \frac{\sin(\varphi + \alpha)}{\cos(\varepsilon + \varphi)}. \quad (10.2)$$

Отрыв частицы по плоскости решета:

$$j_{\dot{n}} = \omega^2 r > g \frac{\sin \alpha}{\cos \varepsilon}. \quad (10.3)$$

Взяв отношение $k = \frac{\omega^2 r}{g}$, запишем условием перемещения материала по

решету без отрыва от плоскости со скольжением вверх и вниз:

$$K_0 > K_p > K_{\dot{a}} > K_i. \quad (10.4)$$

Средняя скорость перемещения материала на решете:

$$v_{\dot{n}\delta} = \eta \frac{(F_1 + F_2) M_v \cdot M_t}{2\pi} \cdot \omega. \quad (10.5)$$

где η – коэффициент, учитывающий внутренне трение вороха, соударение частиц и др., принимают равным 0,4...0,7;

F_1, F_2 – площади относительного движения скоростей, определяемых планиметром, м²;

M_v, M_t – масштабы скорости и времени;

ω – угловая скорость кривошипа, с⁻¹.

Для определения площадей относительного движения F_1 и F_2 нужно вычертить в масштабе графики скоростей и ускорений (рисунок 10.2).

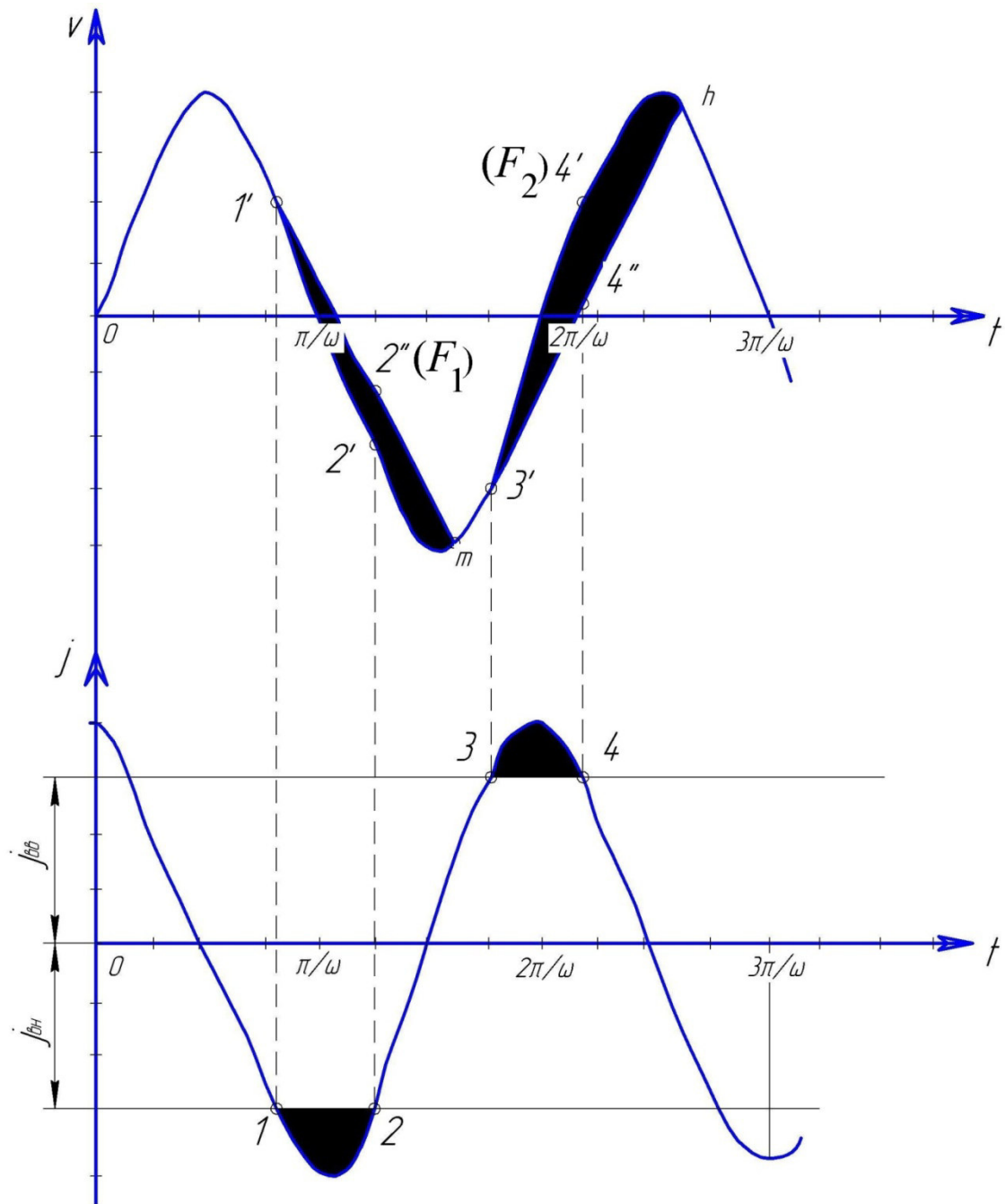


Рисунок 10.2 – График скоростей и ускорений

Параметры: частота вращения кривошипа ω , радиус r , углы наклона решета α и направления колебаний ε с плоскостью решета задаётся преподавателем.

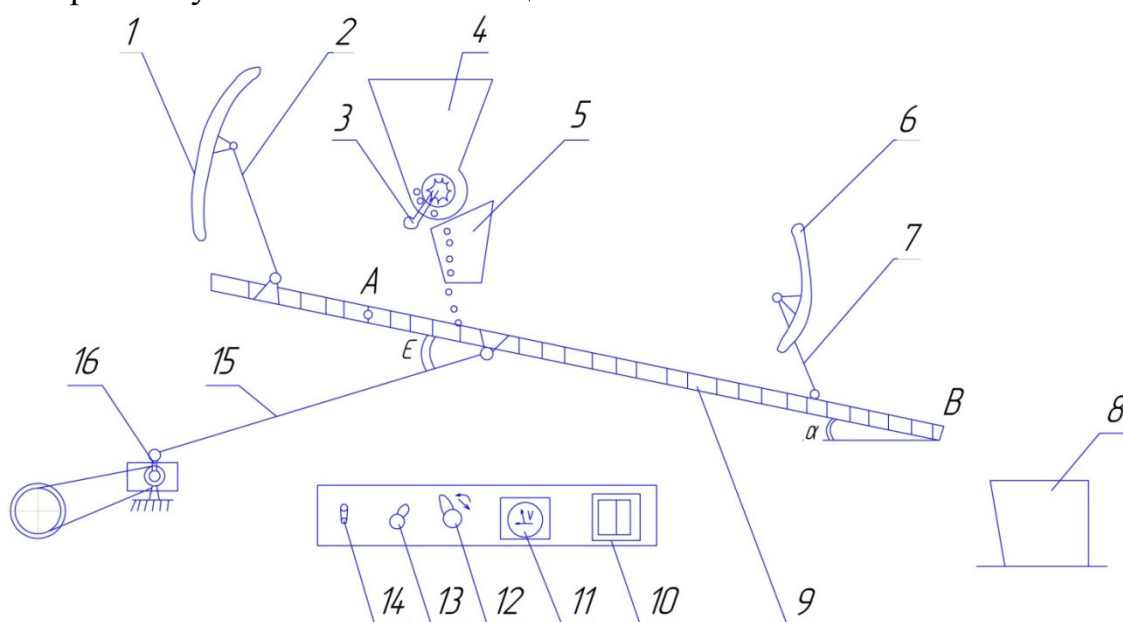
Угол φ трения материала о поверхность решета определить экспериментально, для этого насыпать зерно (0,1 кг) на решето. Затем медленно наклонять, пока не начнётся относительное движение. Замерить угол наклона решета α , который будет равен углу трения φ .

Оборудование, приборы, материалы.

Установка с высеваящим аппаратом, линейка, штангенциркуль, секундомер, угломер, весы, семена различных культур.

Описание лабораторной установки.

Установка для определения средней скорости движения зерна по решетку состоит из решета 9 (рисунок 10.3), подвешенных на балансирах 2 и 7, кривошипа 15, шатуна 16, катушечного высеваящего аппарата 4, семяпровода 5, рукоятки питателя 3, тары 8, пазов 1 и 6 для регулировки угла α наклона решета и угла ε между направлением колебания решета и плоскостью решета, розетки включения 14, выключателя 13, регулятора числа колебаний 12, вольтметра 11 и установочной таблицы 10.



1,6-пазы для регулировки угла наклона решета; 2,7-балансиры; 3-рукоятка питателя; 4-катушечно-высеваящий аппарат; 5-семяпровод; 8-тара; 9-решето; 10-установочная таблица; 11-вольтметр; 12-регулятор числа колебаний; 13-выключатель; 14-розетка включения; 15-кривошип; 16-шатун.

Рисунок 10.3 – Схема лабораторной установки для определения скорости движения зерна

Порядок выполнения работы:

1. Установить заданный угол α - наклона решета и определить угол ε - между направлением колебаний и плоскостью решета, определить статические и динамические коэффициенты трения ($\varphi_{\ddot{a}} = 0,7\varphi_{\ddot{o}}$).
2. Измерить длину решета L от места подачи материала до схода решета.
3. Графоаналитическим методом определить величину и направление средней скорости движения $v_{\ddot{o}}$ материала по решетку.

4. Засыпать материал в ящик высевающего аппарата.
5. Отрегулировать заданную частоту вращения n (по таблице 10.1).
6. Запустить установку до установившегося режима движения материала на поверхности решета.
7. Открыть кратковременно подачу материала из высевающего аппарата на решето. Определить время t движения материала по решету.
8. Вычислить среднюю скорость движения материала по решету:

$$v_{\text{ср}} = \frac{L}{t}, \quad (10.6)$$

9. Полученные данные записать в таблицу 10.1.
10. Сравнить полученные данные и составить отчёт. Отчёт должен включать: краткое содержание работы, таблицу результатов опытных данных и заключение.

Таблица 10.1 – Результаты опытных данных

№ Оп	Культура	ω , с ⁻¹	α , град	ε , град	L , м	t , сек	$v_{\text{ср}}$, м/с	$v_{\text{ср}} \cdot \eta$, м/с
1	Ячмень							
2								

Вопросы для самостоятельного контроля:

1. Начертите схему механизма привода решета.
2. Какие силы, действуют на частицу, находящуюся на поверхности решета?
3. Условие, необходимое для относительного движения частицы:
 - а) вниз по решету;
 - б) вверх по решету;
 - в) совместно с решетом (без скольжения);
 - г) с отрывом от решета.
4. Начертите график скоростей и ускорений решета.
5. Найти точки, соответствующие началу и концу относительного движения вверх и вниз по решету.
6. Как по графику относительного движения определить скорость частицы?

Литература

а) основная

1. Капустин А.Н. Основы теории и расчета машин для основной и поверхностной обработки почв, посевных машин и машин для внесения

удобрений: Курс лекций / А.Н. Капустин. – М.: Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 134 с.

2. Капустин В.П. Сельскохозяйственные машины: Лабораторные работы. Часть 1. / В.П. Капустин, Д.Н. Коновалов. – М.: Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 32 с.

3. Карапетян М.А. Потери энергии на смятие почвы. / М.А. Карапетян, А.К. Тургиев, Н.А. Мочунова. – М.: Международный технико-экономический журнал. – 2010. - № 3. – С. 62-64.

4. Трубилин Е.И. Сельскохозяйственные машины. Учебное пособие. 2-е издание перераб. и дополн. / Е.И. Трубилин, В.А. Абликов, Л.П. Соломатина и др. – М.: Краснодар, КГАУ, 2008. – 200 с.

б) дополнительная

5. Адиньяев М.Д. Сельскохозяйственные машины. Практикум / М.Д. Адиньяев, В.Е. Бердышев, И.В. Бумбар и др. – М.: Колос, 2000. – 240 с.

6. Листопад Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г.Е. Листопад, Г.К. Демидов и др. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688 с.

7. Синеоков Г.Н. Теория и расчёт почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.

8. Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины / В.М. Халанский, И.В. Горбачёв. – М.: Колос, 2003. - 624 с.