

**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 1)
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
(для студентов очной, заочной формы обучения ИМиТС
по направлению 35.03.06 – Агроинженерия)**

КАЗАНЬ-2017

УДК 631.6

ББК 40.6

Составители: к.т.н., доцент Булгариев Г.Г., к.т.н., доцент Халиуллин Д.Т., инженер Фёдоров Д.Г.

Рецензенты:

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

Р.К. Абдрахманов

К.т.н., доцент ФГБОУ ВО Казанского
государственного
архитектурно-строительного университета

М.М. Земдиханов

Лабораторный практикум обсуждён, утвержден и рекомендован к печати на заседании кафедры «Машины и оборудование в агробизнесе» (протокол №6 от 11 января 2017 года).

Лабораторный практикум обсужден, одобрен и рекомендован к печати на заседании методической комиссии института механизации и технического сервиса (протокол №5 от 16 января 2017 года).

Булгариев Г.Г. Технологические свойства сельскохозяйственных материалов. Часть 1: Лабораторный практикум / Г.Г. Булгариев, Д.Т. Халиуллин, Д.Г. Фёдоров. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2017. - 32 с.

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 № 1 «Определение коэффициента внутреннего трения и показателя сцепления почв».....	5
Лабораторная работа № 2 «Определение коэффициента трения скольжения различных поверхностей по почве».....	12
Лабораторная работа № 3 «Определение коэффициента трения скольжения с помощью прибора В.А. Желиговского».....	16
Лабораторная работа № 4 «Определение твердости и коэффициента объемного смятия почвы».....	20
Лабораторная работа № 5 «Исследование технологических свойств клубней картофеля и почвенных комков».....	26
Литература.....	32

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование конструкции, планирование производства и правильная эксплуатация сельскохозяйственных машин и тракторов невозможны без учета условий их работы в различных зонах страны. Эти условия определяются, в первую очередь, физическими и технологическими свойствами обрабатываемого материала. Однако систематическое изучение этих свойств в должных масштабах еще не организовано, что наносит большой ущерб народному хозяйству.

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.

После изучения каждой лабораторной работы студенты должны отчитываться в письменной и устной форме с указанием соответствующих выводов.

Данный практикум позволит:

- более полно 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 № 1

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ И ПОКАЗАТЕЛЯ СЦЕПЛЕНИЯ ПОЧВ»

Цель работы.

Изучить теоретические основы взаимодействия почвы с деформаторами и определить её основные технологические показатели, характеризующие ее прочностные свойства в условиях приложения сдвигающих усилий.

Содержание работы.

Исследование технологических свойств почвы и определение показателя внутреннего трения и сцепления путем построения графических зависимостей силы сдвига и функции нормального давления на образец и зависимости степени деформации от сдвигающей силы с помощью одноосного срезающего прибора.

Общие сведения.

Сопротивление почвы сдвигающим усилиям обуславливается двумя механическими причинами: внутренним трением и сцеплением. Внутреннее трение зависит от внешней нагрузки, сцепление от связности почвы, ее влажности и механического состава.

Под коэффициентом внутреннего трения почвы подразумевается часть общего сопротивления сдвигу, пропорциональная нормальному напряжению. Под величиной сцепления понимается часть общего сопротивления сдвигу в почве, независящая от нормального напряжения (давления).

Максимальное сопротивление трению в почве равняется произведению нормальному давлению на рассматриваемую площадь почвы, помноженную на коэффициент трения f .

Общая зависимость по Кулону может быть представлена в виде формулы:

$$\tau = \sigma \cdot f + C, \quad (1.1)$$

где τ – сдвигающее напряжение, Па;

σ – нормальное сжимающее давление (напряжение), Па;

f – коэффициент трения ($f = \operatorname{tg} \varphi$);

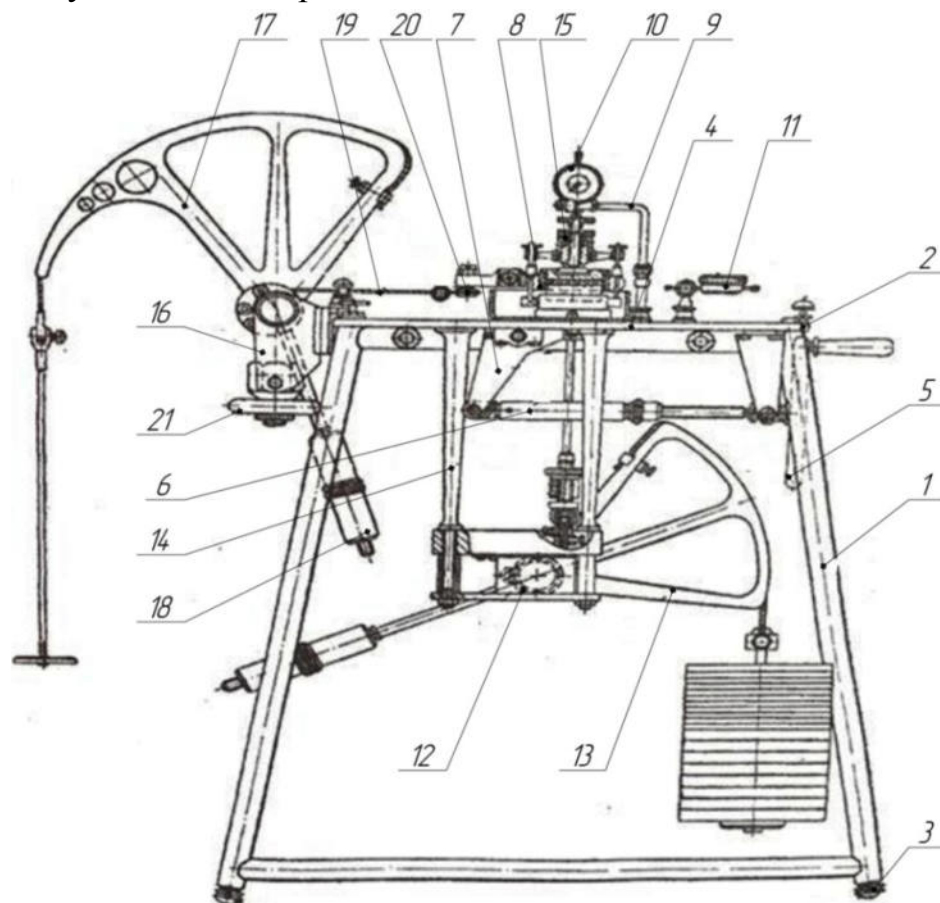
φ – угол внутреннего трения почвы, град;

C – коэффициент сцепления (когезия).

Формула Кулона графически представляет прямую линию, не проходящую через начало координат.

Описание лабораторной установки.

Лабораторная установка ГПП-30 (рисунок 1) состоит из сварной станины 1, металлической панели 2, подвижной панели 4, срезывателя 8, индикаторов 10,11, ползуна 13, подвижного кронштейна 16, противовеса 18, рычага горизонтального усилия 17 и тормоза 21.



1-сварная станина; 2-металлическая панель; 3-установочный винт; 4-подвижная панель; 5-маховик с винтом; 6-трубчатая тяга; 7-кронштейн; 8-срезыватель; 9-кронштейн; 10,11-индикаторы; 12-корпус; 13-ползун; 14-рама; 15-винт; 16-подвижной кронштейн; 17-рычаг горизонтального усилия; 18-противовес; 19-трос; 20-скоба; 21-тормоз.

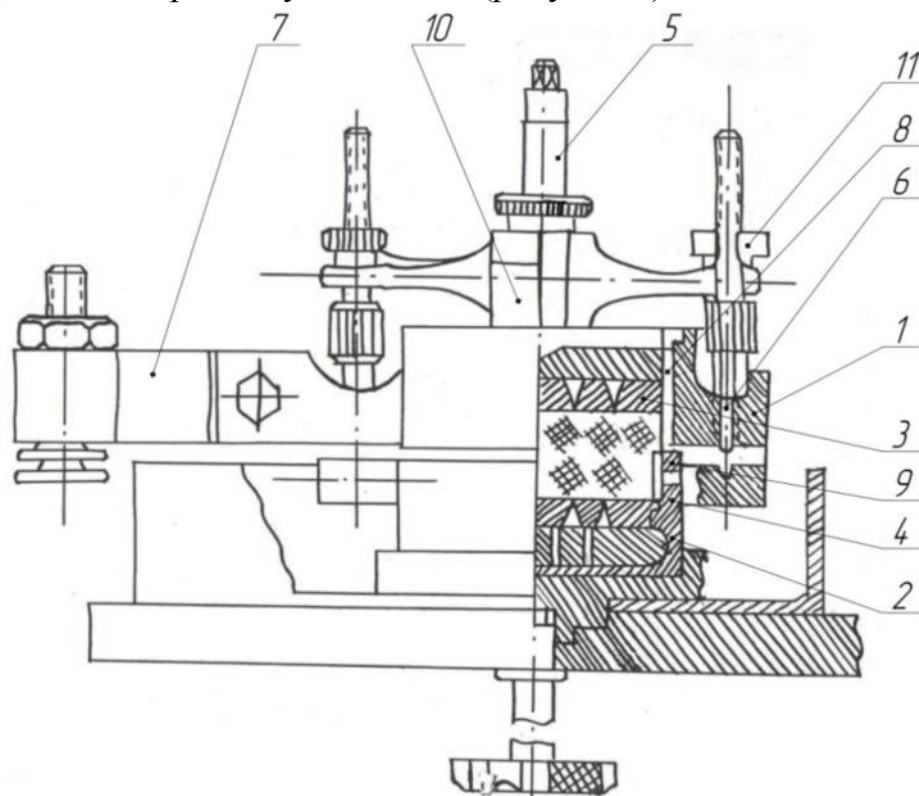
Рисунок 1 – Схема лабораторной установки ГПП-30

Основной частью установки является сварная станина. Она располагается на подъемных винтах, которыми регулируется положение рабочего стола. Сварная станина покрыта панелью, на которой монтируется прибор.

В имеющихся отверстиях подвижной панели устанавливаются держатели вертикального и горизонтального индикаторов.

Срезыватель (рисунок 2) имеет следующие детали: верхнюю 1 и нижнюю обоймы 2, два перфорированных штампа 3,4, два установочных винта 5, установочный штифт нижней обоймы, два кронштейна на каждой обойме 10, две шпильки верхней обоймы 6, тягу горизонтального усилия 7.

Верхняя обойма срезывателя подвижная, нижняя не подвижная. Соединяются обоймы между собой установочными винтами. На боковой поверхности обоймы укрепляется тяга горизонтального усилия. В кронштейнах верхней обоймы располагаются установочные винты, которые, опираясь на кронштейны нижней обоймы, при своем вращении поднимают верхнюю, создавая требуемый зазор между обоймами (рисунок 2).



1-обойма верхняя подвижная; 2-обойма нижняя неподвижная; 3-штамп перфорированный верхний; 4-штамп перфорированный нижний; 5-винт установочный; 6-шпилька верхняя; 7-кронштейн тяги; 8-гильза верхняя; 9-гильза нижняя; 10-кронштейн верхней обоймы; 11-гайка фиксирующая.

Рисунок 2 – Основные узлы срезывателя

Вертикальное давление на образец почвы прикладывается ползучим рычагом и рамой, имеющей два коромысла – верхнее и нижнее. Верхнее коромысло соединяется с тягами шарнирно, нижнее – жестко. В центре верхнего коромысла имеется винт, регулирующий положение штампа. Двумя другими винтами на коромысле закрепляются штамп и планка установочных винтов. В центре нижнего коромысла также имеется винт, которым регулируется вертикальное положение рамы. Вверху винт заканчивается маховиком, внизу – соединительной вилкой, которая осью шарнирно соединяется с концом ползучего рычага. На концах оси рычага вертикального давления надеты ползуны, расположенные между планками вертикальной

стойки, закрепленной на панели. Нижняя планка поддерживает рычаг, а верхняя является точкой опоры рычага.

В продольных бороздках верхней планки и ползуна располагаются шарики плоского шарикоподшипника, обеспечивающие очень малое сопротивление горизонтальному перемещению ползуна рычага.

Рычаг горизонтального усилия крепится на подвижном кронштейне, который перемещается в вертикальном направлении и горизонтальном до 8...10 мм. Рычаг горизонтального усилия имеет форму сектора. Уравновешивается рычаг противовесом. Отношение плеч также 1:10. На оси рычага закреплен эксцентричный тормозной диск.

На малом плече рычага укреплен трос, с помощью которого рычаг соединяется осью с соединительной скобкой срезывателя. На вертикальной панели кронштейна укреплен тормоз, состоящий из маховика, опорной гайки, винта, ролика и двух скрепляющих станин.

Принцип испытания заключается в том, что к пробе грунта прикладывают определенное вертикальное давление, под действием которого и определяют предельную величину τ . Так как для построения графиков сдвига необходимо несколько точек, τ определяется при различных значениях σ , для чего в прибор каждый раз помещают новую пробу, взятую из одного и того же монолита. Величину τ определяют постепенным увеличением горизонтальной нагрузки, пока не произойдет сдвиг одной части грунта по другой. Возникшую горизонтальную деформацию образца регистрируют во времени по соответствующему индикатору. Нагрузка прикладывается ступенями по 5...10% от вертикальной σ . Переход от одной ступени к другой осуществляется после стабилизации горизонтальной деформации. Параллельно строят график зависимости $\sigma = f(\tau)$, по которому определяют предельное значение τ . Обычно сдвиг наступает при перемещении $\sigma = 1...3 \text{ мм}$.

Порядок выполнения работы:

1. Заложить образец почвы в кольцо прибора между перфорированными штампами так, чтобы верхнее кольцо было заполнено на 2/3 ее глубины.
2. Приложить груз нормального давления, установить индикаторы.
3. Приложить первый груз (1:40 от нормального) касательного усилия.
4. Записать деформацию по показанию индикатора.
5. Повторить пункты 3 и 4 для чего каждый раз наращивать усилия в 2 раза от нормального.
6. Построить график зависимости деформации на срез от касательного напряжения.

7. Закладывается второй, третий и четвертый образцы и проводятся испытания в вышеуказанной последовательности (в трехкратной повторности на каждой ступени нормального давления).

8. Построить график зависимости касательных напряжений τ от нормальных σ , для чего брать значения τ_i , σ_i точек среза образца. При построении графика масштабы осей должны быть одинаковые.

Касательное напряжение вычисляется по формуле:

$$\tau = \frac{T \cdot i}{S}, \quad (1.2)$$

где T – нагрузка на конец рычага, соответствующая срезу образца, Н;

i – передаточное число рычага, брать равным 10;

S – площадь среза ($4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$).

Нормальное напряжение вычисляется по формуле:

$$\sigma = \frac{N \cdot i}{S}, \quad (1.3)$$

где N – нормальная сила (груз), Н;

i – передаточное число рычага, брать равным 10;

S – площадь среза ($4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$).

9. Из графика зависимости касательных напряжений от нормальных, определить угол внутреннего трения μ и коэффициент сцепления C .

10. При вычислении полного сдвигающего усилия на величину Q принимается среднее арифметическое из величин нагрузок, действующих до и после приложения последней ступени нагрузки, вызвавший сдвиг.

11. График зависимости деформации Δl от сдвигающего усилия τ строится следующим образом:

По оси абсцисс откладывается величина деформации, а на оси ординат – сдвигающее усилие. Так как нагрузка прикладывается ступенями, то и приращение $f(\tau)$ наносится вертикальными отрезками, приращение Δl – горизонтальными отрезками (рисунок 3). Параметры $\text{tg} \varphi$ и C для каждого образца в отдельности находится по уравнению:

$$\text{tg} \varphi = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\sigma_2 - \sigma_1}, \quad (1.4)$$

$$C = \tau_2 - \sigma_2 \cdot \text{tg} \varphi, \quad (1.5)$$

или

$$C = \tau_1 - \sigma_1 \cdot \text{tg} \varphi. \quad (1.6)$$

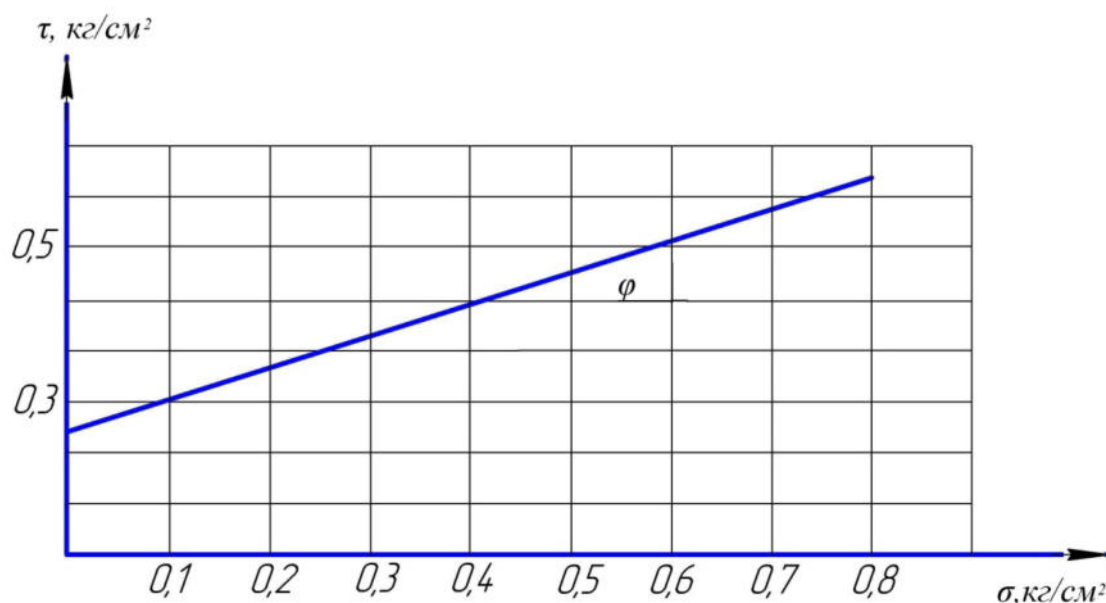


Рисунок 3 - График зависимости касательных напряжений от нормальных (образец)

Результаты опытов по определению коэффициента внутреннего трения и показателя сцепления почв записать в таблицу 1.

Таблица 1 - Результаты опытов по определению коэффициента внутреннего трения и показателя сцепления почв

Трущиеся пары	№ опыта	Сила		Напряжение		Угол трения, φ	Коэф. трения, f
		Нормальная, N, (Н)	Касательная T, (Н)	Нормальное σ , (кг/см ²)	Касательное τ , (кг/см ²)		
Чернозем	1						
	2						
	3						
Песок	1						
	2						
	3						

Определение объемной массы почвы.

Под объемной массой почвы подразумевается масса единицы объема почвы.

Объемная масса грунта определяется для установления степени и возможности вычисления производных характеристик и с сохранением естественной влажности.

Объемная масса в естественном состоянии определяется делением образца почвы с естественной влажностью на объем этого образца:

$$V_i = \frac{P - P_0}{V}. \quad (1.7)$$

где P – масса цилиндра с грунтом, г;

P_0 – чистая масса цилиндра, в котором производится замер, г;

V – объём измерительного цилиндра, см^3 .

Полученные данные записать в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты опытов по определению объёмной массы почвы

№ опыта	Масса цилиндра с грунтом, г	Чистая масса цилиндра, г	Объёмы измерительного цилиндра, см^3	Объёмная масса почвы V_m , г/см^3
1				

Определение влажности почвы.

Под влажностью почвы понимается количество содержащейся в ней воды, выраженное к массе сухой почвы. Влажность почвы оказывает решающее влияние на её физико–механические свойства и определяется (в полевых условиях и лабораториях) дистанционным способом с помощью электроизмерительного прибора путём определения сопротивления почвы и весовым методом при исследовании механических свойств почвы.

Влажность почвы весовым методом определяется по следующей зависимости:

$$W = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_0}, \quad (1.8)$$

где W – влажность почвы, %;

P_1 – масса стаканчика с влажным грунтом, г;

P_1 – масса стаканчика с высушенным грунтом, г;

P_1 – чистая масса стаканчика, г.

Сушка образца производится в сушильном шкафу при температуре 105°C в течении 4...6 часов.

Полученные данные записать в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты опытов по определению влажности почвы

№ опыта	Масса стаканчика с влажным грунтом, г	Масса стаканчика с высушенным грунтом, г	Чистая масса стаканчика, г	Влажность почвы W , %
1				
2				
3				

Вопросы для самостоятельного контроля:

1. Что такое коэффициент внутреннего трения?
2. Как влияют углы внутреннего трения и показатель сцепления на прочностные свойства почвы?
3. Как влияют влагозадержание и структурный состав почвы на показатель внутреннего трения и сцепления?
4. Что такое «плотность почвы» и как она определяется?
5. Изложите порядок определения влажности почвы и ее влияние на технологические показатели работы машин.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2
«ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ
РАЗЛИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПО ПОЧВЕ»

Цель работы.

Изучить основные показатели физико-механических и технологических свойств почвы и других сельскохозяйственных материалов; определить коэффициенты трения–скольжения различных поверхностей по почве.

Содержание работы.

Ознакомиться с определениями отдельных технологических свойств почвы и других материалов. Изучить устройство и порядок пользования приборами для определения углов трения-скольжения сыпучих, волокнистых и других материалов по поверхности рабочих органов, изготовленных из различных материалов. Провести опыты по определению углов трения различных материалов и составить отчёт о выполненной работе.

Общие сведения.

Трение представляет собой сложный комплекс механических, электронных и химических явлений. Величина силы трения скольжения зависит не только от материала, шероховатости поверхности, давления и относительной скорости скольжения, но и от целого ряда других причин: влажности температуры и т.п. Учесть влияние всех факторов не представляется возможным, поэтому ограничиваются приближённым определением значения силы трения по закону Кулона: «Сила трения скольжения пропорциональна силе, нормальной к поверхности соприкасающихся тел, зависит от рода трущихся поверхностей и не зависит от величины трущихся поверхностей».

Под трением понимается сопротивление скольжения одной поверхности по другой:

$$F = f \cdot N = N \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.1)$$

где F – сила трения, Н;

N – нормальная сила, Н;

f – коэффициент трения;

φ – угол трения.

Сила трения – пассивная сила, поэтому она не может быть больше N , но может быть как угодно мала, если мала сила, стремящаяся вызвать относительное перемещение двух тел.

Установлено, что трение почвы о сталь – явление многофазное. Для каждой фазы существуют свои законы, которые при прочих равных условиях зависят от количества влаги, поступающей к трущимся поверхностям. В общем случае этот процесс имеет несколько фаз. Так, фаза I характеризуется тем, что почвы сминается до тех пор, пока эта несущая способность не становится выше, чем удельное сопротивление q . Значение f в этой фазе определить трудно. После этого начинается фаза истинного трения, она продолжается до тех пор, пока к трущимся поверхностям не подойдёт вытесненная из почвы влага. Эта влага оказывает существенное влияние на характер трения и видоизменяет его. Наступает фаза III – фаза полусухого трения.

При некотором количестве влаги коэффициент трения становится максимальным, так как трение сопровождается прилипанием. При дальнейшем увеличении влаги она начинает выполнять роль смазки и коэффициент трения уменьшается (фаза – IV). Поступление почвенной влаги к трущимся поверхностям зависит не только от свойств почвы, но и от формы рабочего органа (рисунок 4).

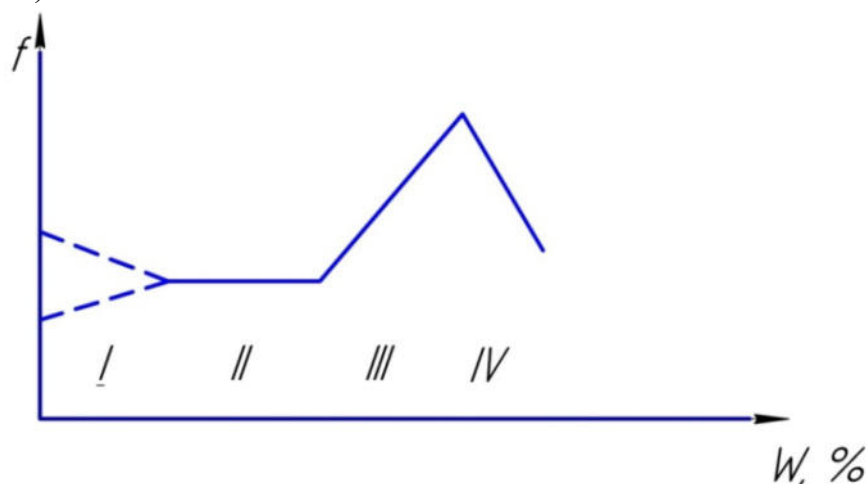
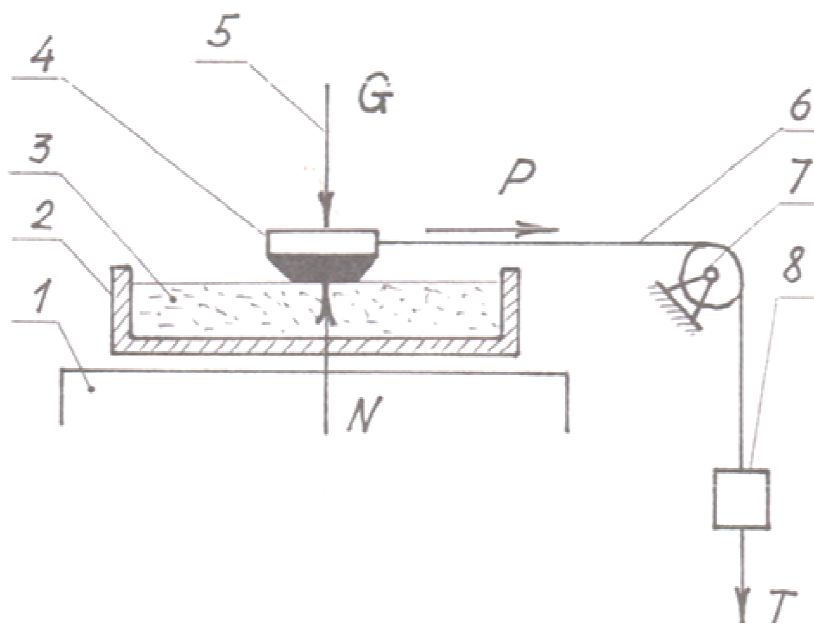


Рисунок 4 – Зависимость трения почвы о сталь от влажности

Оборудование.

Лабораторная установка для определения коэффициента трения скольжения различных поверхностей по почве (рисунок 5), состоит из стола 1, куда установлен ящик 2, наполненный почвой 3, каретки 4, оснащённой рабочей поверхностью из исследуемого материала, тягового троса 6, ролика 7, груза 5 и динамометра 8.



1-стол; 2-ящик; 3-почва; 4-каретка; 5-груз; 6-трос; 7-ролик; 8-динамометр.

Рисунок 5 – Схема лабораторной установки

Порядок выполнения работы:

1. Заполнить ящик почвой определенной влажности и разровнять ее.
2. Установить стальную плиту скольжения в ящик, предварительно измерив, площадь ее опорной поверхности.
3. Положить груз на плиту скольжения и определить нормальное напряжение:

$$\sigma_1 = \frac{N}{S}, \quad (2.2)$$

4. Приложить касательное усилие T динамометром до момента начала скольжения и определить касательное напряжение:

$$\tau_1 = \frac{T}{S}, \quad (2.3)$$

5. Повторить пункты 1, 2, 3, 4 с усилиями N_2, N_3, N_4, N_5 и плитами скольжения из различных материалов.
6. Результаты измерений и вычислений вписать в таблицу 4.
7. Построить график зависимости касательных напряжений от нормальных (рисунок 6) $\tau = f(\sigma)$.
8. Определить углы трения и вычислить значения коэффициентов трения скольжения различных материалов по почве, полученных графическим

методом из графиков $\tau=f(\sigma)$. Угол наклона прямой $\tau=f(\sigma)$ к оси нормальных напряжений представляет собой угол трения скольжения. Величина этого угла может быть определена с помощью транспортира или методом тангенсов. Если продлить полученные линии графиков $\tau=f(\sigma)$ до пересечения с осью касательных напряжений, то получим величину касательных напряжений равных величине прилипания почвы к поверхности исследуемой пластины или адгезией почвы.

9. Из полученных данных выбрать трущиеся пары с наименьшими и наибольшими коэффициентами трения и сделать рекомендации.

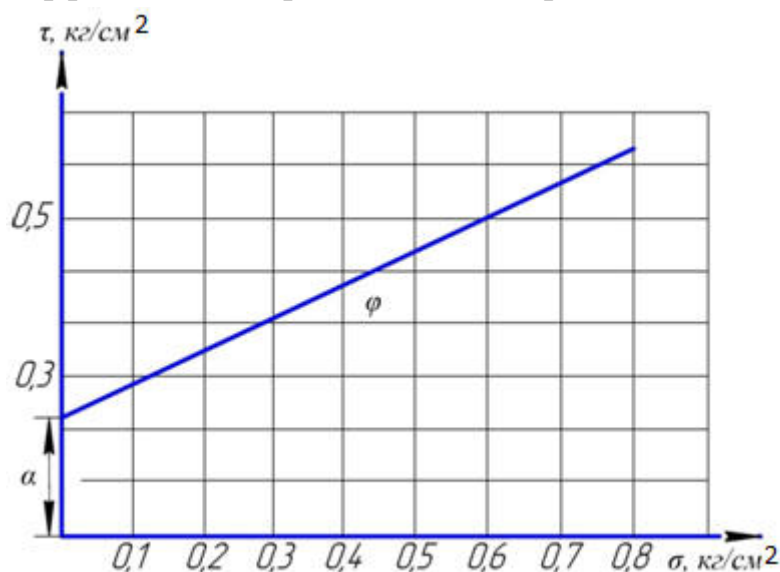


Рисунок 6 – График зависимости касательных напряжений от нормальных (образец)

Таблица 4 – Результаты опытов по определению коэффициентов трения скольжения различных материалов по почве

Трущиеся пары	№ опыта	Сила		Напряжение		Угол трения (φ)	Коэффициент трения (f)
		Нормальная (N), Н	Касательная (τ), Н	Нормальное (σ), кг/см ²	Касательная (τ), кг/см ²		
почва-сталь	1						
	2						
	3						
почва-алюм.	1						
	2						
	3						

Продолжение таблицы 4

почва- дерево	1						
	2						
	3						
почва- текстолит	1						
	2						
	3						

Вопросы для самостоятельного контроля:

1. Назовите виды сил в механике.
2. Объясните физическую природу сил трения.
3. Почему при улучшении качества обработки сопряженных поверхностей возрастает тел сила трения скольжения?
4. Какое трение называют сухим, какое вязким?
5. Что называется коэффициентом трения скольжения? Его размерность и физический смысл?
6. Какие факторы влияют на величину коэффициента трения скольжения?
7. Как зависят силы сухого и вязкого трения от скорости движения тел?
8. Какие силы действуют на брусок, равномерно скользящий по наклонной плоскости и скользящий с ускорением?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА В.А. ЖЕЛИГОВСКОГО»

Цель работы.

Определить коэффициент трения скольжения (динамический) с помощью прибора В.А. Желиговского. Сравнить значения динамических коэффициентов трения для одинаковых трущихся пар поверхностей и оценить полученные результаты.

Общие сведения.

Величина коэффициентов трения почвы или других сельскохозяйственных материалов по различным поверхностям играют важную роль при проектировании и эксплуатации сельскохозяйственных машин. От значений этих коэффициентов зависят и регулировочные параметры машин.

Значения коэффициентов трения f в основном зависят от свойств трущихся поверхностей и являются показателями пропорциональности между максимальным значением силы трения $F_{\max}$ и нормальной составляющей значения N , т.е:

$$F_{\max} = f \cdot N, \quad (3.1)$$

где $F_{\max}$ – максимальная сила трения, N

f – коэффициент трения,

N – нормальная составляющая значения, N .

Если силы $F_{\max}$ и N определить экспериментально, то коэффициент трения можно рассчитать по формуле:

$$f = \frac{F_{\max}}{N}, \quad (3.2)$$

Однако, коэффициент трения f можно определить и не прибегая к измерению сил $F_{\max}$ и N . Известно, что угол между направлением сил $F_{\max}$ и N всегда равен 90 градусов.

Если от начала координат отложить векторы сил $F_{\max}$ и N соответственно по осям OY и OX (рисунок 7), то направление результирующей силы R отклонится от направления вектора N на некоторый угол φ . Из графика видно, что

$$F_{\max} = N \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.3)$$

следовательно

$$f = \operatorname{tg} \varphi. \quad (3.4)$$

Учитывая изложенное, коэффициент трения можно определить, зная направление равнодействующей силы R и нормальной силы N .

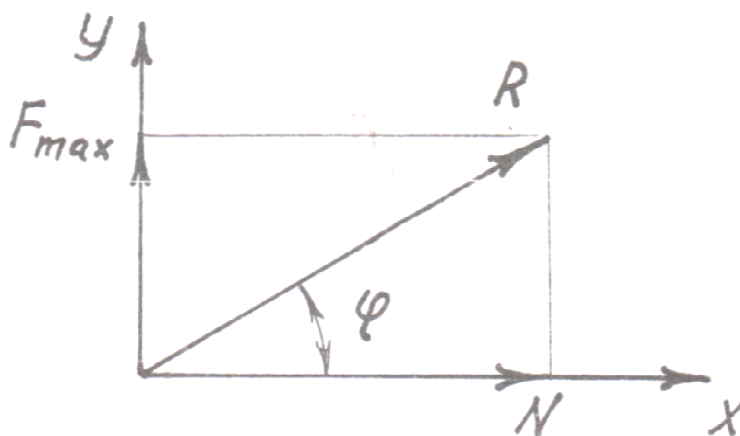


Рисунок 7 – Схема приложения сил

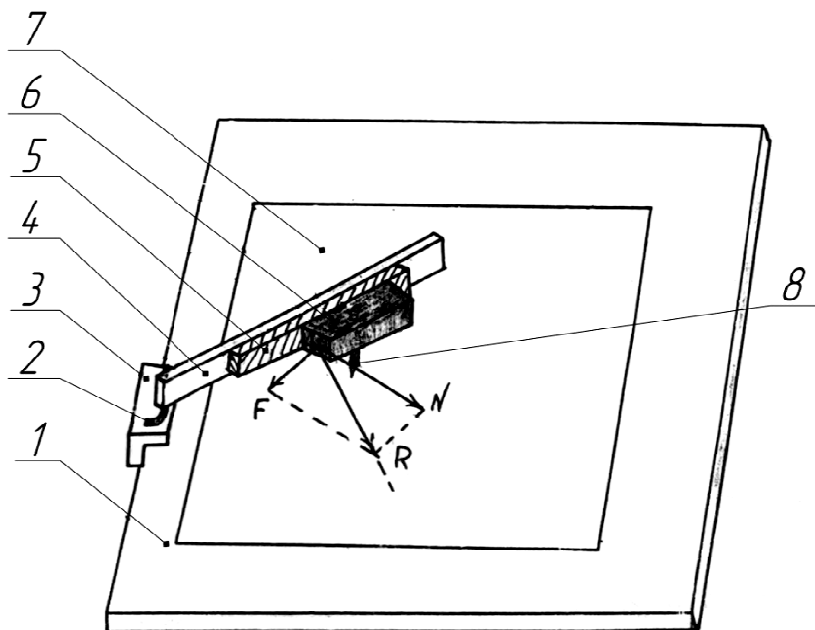
Оборудование, приборы, материалы.

Приборы для определения статистического и динамического коэффициентов трения; пластины из различных материалов, применяемых в

сельхозмашиностроении; чертежная доска; треугольник; бумага; кнопки; почва; грузы; динамометр.

Определение коэффициента трения скольжения.

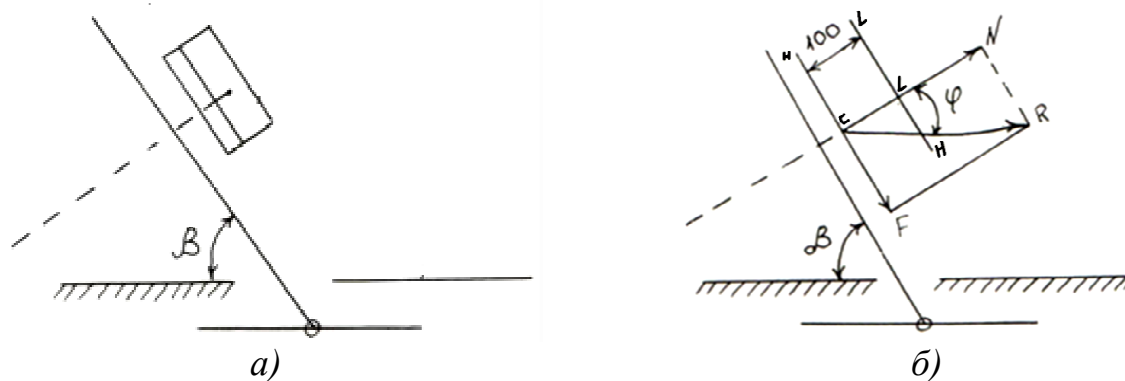
Коэффициент трения скольжения определяется на приборах различной конструкции. Простейший прибор для определения коэффициента трения скольжения – прибор В.А. Желиговского (рисунок 8).



1 - корпус; 2 - поворотная колодка; 3 - направляющая; 4 - линейка; 5 - испытуемое тело; 6 - каретка; 7 - чертёжная бумага; 8 - карандаш.

Рисунок 8 – Прибор В.А. Желиговского для определения коэффициента трения скольжения

Прибор трения В.А. Желиговского состоит из линейки 5, подвижной каретки 8, поворотной колодки 3 и направляющей 4. Для определения угла трения скольжения прибор устанавливается на горизонтальной плоскости, на которой закреплена чертёжная бумага 2. Одно из испытуемых тел прикрепляют струбцинками к линейке 5, а другое зажимают в каретке 8 (6 и 7). Каретку подводят к линейке до соприкосновения двух испытуемых тел. Линейку фиксируют стопорным болтом под некоторым произвольным углом β к направляющей оси 4, на которой находится колодка 3. Каретка 8 имеет карандаш для записи траектории её движения. При движении колодки 3 по направляющей оси 4 перемещается также линейка 5, которая, в свою очередь, приводит в движение каретку 8. Если угол β выбран таким, что при движении линейки возникает скольжение испытуемого тела (на каретке) по другому, то между ними возникает сила F трения скольжения. Силовая схема показана на рисунке 9 (а,б).



a – силовая схема до опыта; *б* – силовая схема после опыта

Рисунок 9 – Силовые схемы прибора В.А. Желиговского

При движении каретки карандаш записывает направление R – равнодействующей силы. Сняв каретку с прибора, проводят в направлении линейки линию и восстанавливают к ней перпендикуляр из точки пересечения линии с траекторией движения каретки, или с вектором равнодействующей силы R . На приведенном перпендикуляре откладывают отрезок CL длиной 100 мм и в его конце восстанавливают перпендикуляр LN . Угол CLN будет равен углу трения φ . Зная направление R можно легко повторить силовой треугольник, из которого определяются угол и коэффициент трения.

$$f = \frac{F}{N} = \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.5)$$

где φ - угол трения скольжения, град.

Порядок выполнения работы:

Для определения коэффициента трения скольжения необходимо:

1. Струбциной прикрепить к линейке 5 (рисунок 8) пластину из исследуемого материала.
2. На чертежной доске закрепить лист бумаги.
3. Установить линейку под углом $\beta < \frac{\pi}{2} - \varphi$ и закрепить ее на колодке.
4. Установить прибор на чертежную доску, совместить колодку с обрезом чертежной доски.
5. Заполнить каретку прибора исследуемым материалом и подвести ее к закрепленной на линейке пластины.
6. Плавным движением переместить колодку прибора вдоль обреза чертежной доски. При этом карандаш каретки запишет траекторию ее перемещения.
7. Снять каретку с прибора, провести направление линейки и восстановить к нему перпендикуляр в точке пересечения с траекторией движения каретки (рисунок 9). На проведенном перпендикуляре отложить отрезок $CL=100$ мм и в

его конце восстановить перпендикуляр LN. Угол между нормалью и траекторией каретки будет углом трения скольжения φ .

8. Измерить длину катета LN.

9. Рассчитать коэффициент трения скольжения по формуле:

$$f_c = \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{LN}{100}, \quad (3.6)$$

10. Оценить полученные значения коэффициента трения скольжения f_c .

11. Вычислить угол трения скольжения по формуле:

$$\varphi = \operatorname{arctg} f_c. \quad (3.7)$$

12. Результаты замеров и вычислений записать в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты опытов по определению коэффициентов трения скольжения

Номер опыта	Трущиеся пары	Угол, β	Длина перпендикуляра (LN), мм	Коэффициент трения, f_c	Угол трения скольжения, φ

Вопросы для самоконтроля:

1. Что называется силой трения?
2. Какова причина возникновения силы трения?
3. Какова причина возникновения силы трения?
4. По какой формуле можно рассчитать силу трения скольжения?
5. Записать формулу для определения коэффициента трения.
6. Почему при измерении силы трения необходимо придерживаться равномерного движения бруска?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ОБЪЕМНОГО СМЯТИЯ ПОЧВЫ»

Цель работы.

Определить твердость и коэффициент объемного смятия почвы.

Общие сведения.

Твердость почвы – это её способность сопротивляться внедрению под давлением твердого тела. Она корреляционно связана с сопротивлением почвы, возникающим при обработке ее почвообрабатывающими машинами. Твердость почвы обязательно определяют при государственных испытаниях почвообрабатывающих машин. Для этой цели используют твердомер.

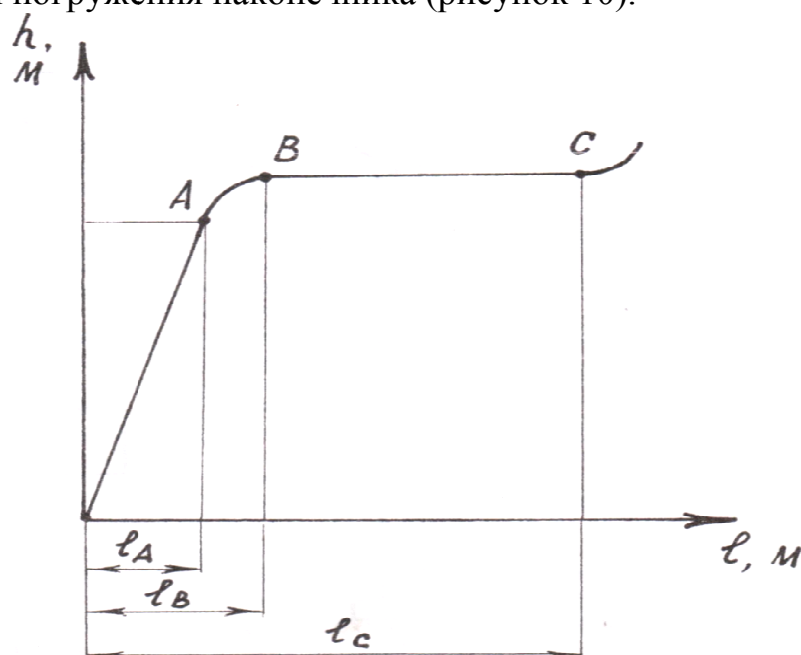
Существует несколько способов определения твердости почвы. Наиболее широкое применение получили приборы, действие которых основано на внедрение в почву металлического наконечника с различной площадью основания. По стандарту твердость почвы определяют с помощью твердомера с наконечником конической формы со следующими параметрами: для твердых почв - площадь основания 100 мм^2 , угол при вершине $22^\circ 30'$, для рыхлых почв соответственно 200 мм^2 и 30° .

При вдавливании в почву твёрдого тела, например, круглого плоского штампа, сопротивление почвы вдавливанию изменяется с изменением глубины погружения этого штампа.

В зависимости от типа и состояния почвы $P = f(h)$, измеряемый участок может измеряться по линейной, квадратичной, степенной, параболической, синусоидальной, тангенциальной и другой зависимости.

Однако В.А.Желиговский и Ю.Ю. Ревякин предлагают использовать наконечник цилиндрической формы.

С помощью такого прибора можно записывать деформацию пружины в функции глубины погружения наконечника (рисунок 10).



h – деформация пружины, l – глубина погружения наконечника

Рисунок 10 – Диаграмма изменения деформации пружины по глубине погружения наконечника в почву

При этом на диаграмме будут видны три характерных участка, соответствующие различным стадиям деформации почвы.

Начальная фаза деформации почвы характеризуется почти линейным увеличением силы R (участок OA диаграммы), малой длительностью и незначительной глубиной l_a погружения наконечника. Точку A принято

называть пределом пропорциональности. Необходимая для преодоления сопротивления почвы сила R определяется:

$$R = k \cdot h, \quad (4.1)$$

где k – жесткость пружины, из технической характеристики прибора, $k=10$ Н/мм;

h – деформация пружины, мм.

Признаки второй фазы – замедленный рост сопротивления почвы дальнейшему внедрению в нее наконечника (участок АВ диаграммы) и образование впереди наконечника конусообразного нароста из сильно уплотненной почвы, который расклинивает и уплотняет нижние ее горизонты. В конце этой фазы (точка В) напряжение достигает предела текучести почвы.

Третья фаза деформации (участок ВС диаграммы) характеризуется непрерывным увеличением глубины погружения наконечника при постоянном значении h . После погружения наконечника на глубину пахотного слоя l_c начинается подпахотный слой, и деформация пружины быстро нарастает (участок СД диаграммы).

Твердость почвы для любой точки диаграммы определяется:

$$P = \frac{R}{S} = \frac{k \cdot h}{S}, \quad (4.2)$$

где S – площадь основания наконечника, мм².

Однако теоретически наиболее обоснованным, т.е. отражающим физическую сущность процесса смятия почвы внедренным в нее наконечником является другой показатель – коэффициент объемного смятия почвы. Анализ записанных диаграмм показывает, что сила сопротивления почвы смятию в пределах первой фазы зависит как от сминаемой площади (площади поперечного сечения наконечника) S , так и от линейной деформации почвы l , и следовательно пропорциональна объему смятой (вытесненной) почвы:

$$V = S \cdot l, \quad (4.3)$$

где S – площадь основания наконечника, мм²;

l – линейная деформация почвы, мм.

Если способность почвы сопротивляться смятию, выразить коэффициентом пропорциональности q то:

$$R = q \cdot V, \quad (4.4)$$

откуда

$$q = \frac{R}{V}, \quad (4.5)$$

Коэффициент q получил название коэффициент объемного смятия почвы. Он имеет размерность Н/мм³ и показывает, на сколько единиц силы вырастает сопротивление почвы при смятии последующей единицы объема.

Коэффициент объемного смятия почвы имеет следующие значения [1]:

- для свежеспаханной почвы – $0,1 \dots 0,2 \text{ Н/мм}^3$;
- для жнивья, паров и лугов – $0,5 \dots 1,0 \text{ Н/мм}^3$;
- для грунтовой дороги – $0,5 \dots 0,9 \text{ Н/мм}^3$.

Для инженерных расчетов весьма важен предел сопротивления почвы смятию или предел несущей способности почвы (рисунок 10, точка А), который обычно характеризуется предельным напряжением смятия:

$$P_{i\partial} = \frac{R_{i\partial}}{S}, \quad (4.6)$$

Однако, изменение площади плунжера изменяет предел несущей способности почвы, то есть отодвигает критическую точку (точка А) в сторону больших или меньших предельных напряжений. Характеристикой сопротивления почвы смятию, не зависящей от диаметра плунжера, служит некоторая величина $A \text{ (Н/мм}^2\text{)}$, определяемая по формуле:

$$A = \frac{R_i}{d_i \cdot l_i}, \quad (4.7)$$

где R_i – сила сопротивления почвы смятию, Н;

l_i – линейная деформация почвы в пределах пропорциональности под действием силы R_i , мм;

d_i – диаметр плунжера, мм.

Смятие почвы требует затраты механической энергии. Затраты энергии (работа) на смятие почвы в пределах первой и второй фаз могут быть определены геометрически по рисунку 10 и соответственно равны:

$$E_1 = R_{i\partial} \cdot \frac{l_{i\partial}}{2}, \quad (4.8)$$

$$E_2 = R_{i\partial} \cdot (l_c - l_{i\partial}), \quad (4.9)$$

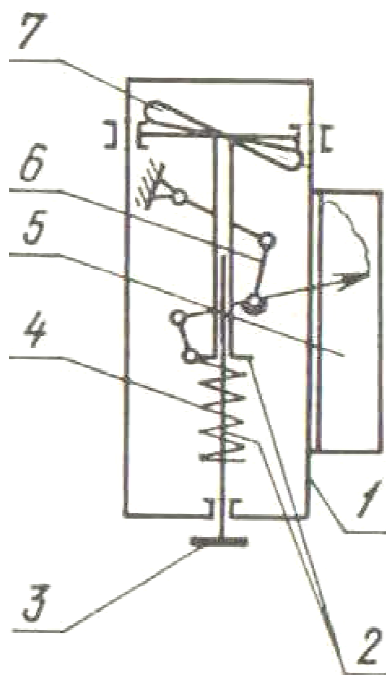
Подставив вместо силы R_{np} его значение, выраженное через q, S, l получим:

$$E_1 = q \cdot S \cdot \frac{l_{i\partial}^2}{2}, \quad (4.10)$$

Из рисунка 10 и полученных выражений следует, что удельное давление на почву не должны достигать предельных напряжений смятия, так как расход энергии на единицу линейной деформации возрастет вдвое.

Одним из наиболее широко используемых является твердомер Ю.Ю. Ревякина (рисунок 11), состоящий из двух направляющих штанг 1, телескопической штанги 2 со сменным наконечником 3, пружины 4, планки 5 для крепления бумаги, записывающего устройства 6 и нажимных рукояток 7.

Записывающее устройство связано с пружиной 4. Звенья этого устройства рассчитаны так, что карандаш перемещается в направлении оси ОХ на величину погружения штампа и оси ОУ – на величину сжатия пружины. Таким образом, на получаемых при помощи твердомера диаграммах по оси ОХ откладывается глубина погружения штампа, а на ОУ – деформация пружины, пропорциональная величине прилагаемого усилия.



1-направляющая штанга; 2-телескопическая штанга; 3-сменный наконечник; 4-пружина; 5-планка; 6-записывающее устройство; 7-нажимная рукоятка.

Рисунок 11 - Принципиальная схема твердомера Ю.Ю. Ревякина

Влажность почвы.

При определении твердости почвы и коэффициента трения всегда нужно учитывать влажность, при которой приведены замеры, так как эти показатели зависят от влажности почвы.

О количестве содержащейся влаги в почве судят по абсолютной влажности:

$$W_a = \frac{G_b - G_c}{G_c} \cdot 100. \quad (4.11)$$

где G_b – масса образца почвы во влажном состоянии, г;

G_c – масса образца почвы в сухом состоянии, г.

Под сухой почвой понимают такую почву, масса которой при дальнейшем высушивании в сушильном шкафу при $t=100...105^\circ\text{C}$ практически не изменяется.

При определении влажности почвы три бюксы наполняют почвой, взвешивают их на лабораторных весах с точностью до 0,01 г. и помещают в

сушильный шкаф при температуре 100...105 °С. Через 1 час их вынимают и взвешивают. Результаты записывают. Снова помещают в сушильный шкаф. Разность масс бюкс после первого и второго высушивания не должны превышать 0,05 г.

Оборудование, приборы.

Твердомер Ю.Ю.Ревякина, штангенциркуль, используемая почва (в полевых условиях или в почвенном канале), бумага миллиметровая, лопата.

Порядок выполнения работы.

1. Изучить устройство и работу твердомера.
2. Закрепить полоску миллиметровой бумаги на панель твердомера и провести на ней нулевую линию.
3. Снять твердограмму на исследуемой поверхности на трёх уровнях по глубине и трёх последовательностях.
4. Вычислить твердость почвы и предельное значение давления на различных почвенных горизонтах (0...100мм, 100...200мм, 200...300мм) и записать результаты в таблицу 6.
5. Рассчитать коэффициент объемного смятия почвы на различных почвенных горизонтах и указать значения в таблицу 6.
6. Рассчитать затраты энергии на смятие почвы, соответствующее пределу пропорциональности.
7. Записать выводы.

Таблица 6 – Твёрдость и коэффициент объемного смятия почвы

Горизонты, мм	№ пробы	Усилие R, Н	Среднее значение l, мм	Пред. зна- чение усилия R_{np} , Па	Твердость почвы Р, Па	Коэффициент объёмного смятия q, Н/мм ²	Затраты энергии на смятие E, Н · мм
0...100	1						
	2						
	3						
100... 200	1						
	2						
	3						
200...300	1						
	2						
	3						

Вопросы для самоконтроля:

1. Что подразумевается под твёрдостью почвы?
2. Как устроен твердомер Ревякина и как им определяют твёрдость почвы?
3. Как подсчитать абсолютную влажность почвы?
4. На каком участке диаграммы определяется коэффициент объемного смятия почвы?
5. Каким реологическим телом можно описать участок диаграммы ОА?
6. Каким реологическим телом можно изобразить участок диаграммы АВ?
7. Каким реологическим телом можно изобразить участок диаграммы ВС?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5
«ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЛУБНЕЙ
КАРТОФЕЛЯ И ПОЧВЕННЫХ КОМКОВ»

Цель работы.

Изучить основные физико-механические свойства клубней картофеля, их влияние на технологический процесс работы картофелепосадочных и сортировальных машин. Выполнить эксперименты по определению угла естественного откоса, углов трения и опрокидывания клубней картофеля и почвенных комков.

Общие сведения.

Свойства клубней картофеля проявляются в процессе ее возделывания и в определенной степени зависят от культивируемых сортов, отличающихся по срокам созревания, форме клубней, урожайности и другим признакам.

Для получения высокого урожая следует посадку проводить хорошо откалиброванным семенным материалом и с тщательным соблюдением агротехнических требований, предъявляемых к возделыванию картофеля. При проектировании рабочих органов картофелепосадочных и сортировальных машин необходимо знать физико-механические свойства клубней картофеля.

Для машинной посадки, уборки и сортирования наиболее пригодны клубни округлой формы, желательно одинаковой величины. Величина и форма клубней зависит от урожая, водного и температурного режима в период роста.

Известно, что структурные агрегаты представляют собой комки почвы, состоящие из связанных между собой механических элементов. Размер и форма агрегатов (комков) весьма разнообразна и по форме схож с клубнем картофеля. Со временем в почве первичные частицы коагулируют и слипаются, в результате чего создаются новые, более крупные агрегаты.

Определение угла естественного откоса.

К важным механическим свойствам насыпных грузов относится угол естественного откоса. Угол α (рисунок 12), образованный плоскостью естественного откоса насыпного груза с горизонтальной плоскостью, называют углом естественного откоса. Он зависит от подвижности частиц насыпного груза и состояния опорной поверхности.

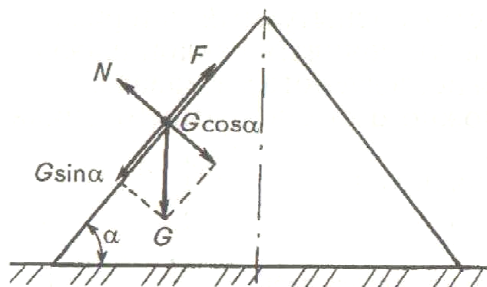
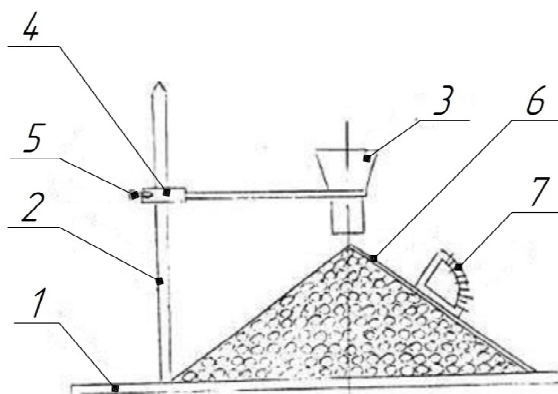


Рисунок 12 – Схема сил для определения угла естественного откоса

Определение угла естественного откоса картофельной массы в куче производится по общеизвестной методике на установке, представленной на рисунке 13.



1-горизонтальный стол; 2-стойка; 3-воронка; 4-держатель; 5-стопорный болт; 6-линейка; 7-транспортир.

Рисунок 13 – Установка для определения угла естественного откоса

Этот угол рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \arctg \left(\frac{2h}{d} \right), \quad (5.1)$$

где h – высота насыпи в середине основания, мм;

d – диаметр основания насыпи, мм.

Для образования конусообразной кучи и недопущения раскатывания клубней, воронку 3 устанавливают так, чтобы в момент завершения формирования кучи выходное отверстие соприкасалось с поверхностью кучи.

Знание конкретных значений угла естественного откоса и коэффициента внутреннего трения почв и других сельскохозяйственных материалов помогает правильно спроектировать рабочие органы сельскохозяйственных машин.

Определение угла трения клубней картофеля.

Во время работы картофелесажалок между клубнями и стенками возникает трение, причем сила трения, действуя на кожицу клубней, вызывает ее повреждение. Для определения угла трения клубней картофеля пользуются металлической пластинкой. При этом, первоначально каждый клубень взвешивают, затем определяют силу трения и по полученным данным вычисляют тангенс угла трения (рисунок 15):

$$\frac{P}{G} = \operatorname{tg} \varphi = f, \quad (5.2)$$

где P – движущая сила, Н;

G – вес клубня, кг;

f – коэффициент трения;

φ – угол трения, град.

Согласно данным, полученным при исследованиях, среднее значение угла трения колеблется в незначительных пределах – $24 \dots 26^\circ$.

В таблице 7 приведены углы трения клубней картофеля по различным пластинкам [3].

Таблица 7 – Углы трения клубней картофеля по поверхностям

Угол	Число случаев, в %	
	по шлифованной пластинке	по нешлифованной пластинке
13...16	28	-
16...19	56	-
19...22	14	26
22...25	4	50
25...28	2	22
28...31	1	2
Среднее значение угла	$17^\circ 46'$	$24^\circ 31'$

Из данных таблицы 7 следует, что использование шлифованных металлических пластинок, а также антифрикционных поверхностей в конструкции картофелесажалочных машин позволяет значительно уменьшить углы трения клубней картофеля.

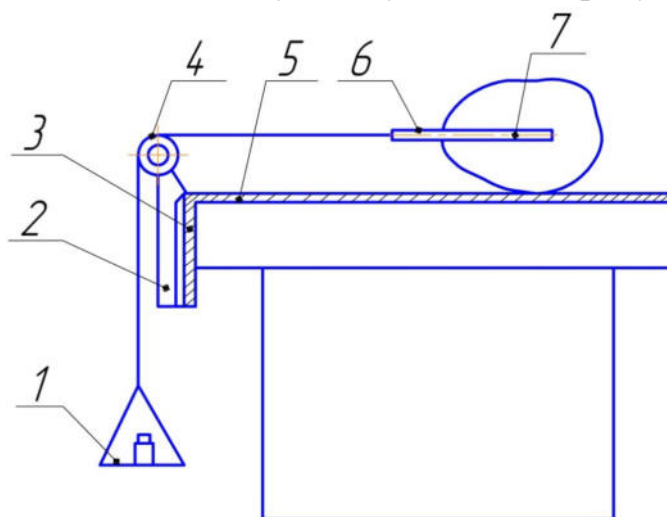
При выбора угла наклона поверхности, по которым должны скатываться клубни, его принимают больше максимального угла трения, что создает наиболее неблагоприятные условия скольжения клубней по рассматриваемой площадке.

Максимальное значение угла трения для прорезиненных, стальных и деревянных поверхностей может достичь до 35...40°.

Определение угла опрокидывания.

Клубни картофеля имеют неопределенную форму и если поместить клубень на наклонную поверхность, то с увеличением угла ее наклона, клубни начинают перемещаться.

Для определения угла опрокидывания у клубней разных сортов на специальном приборе находят величину движущей силы (рисунок 14).



1-чашечка; 2-кронштейн; 3-уголок; 4-ролик; 5-площадка; 6-вилка; 7-ось.

Рисунок 14 – Определение угла опрокидывания и трения клубней картофеля

Площадка 5 прибора может быть изготовлена из различных материалов. К уголку 3 прикреплен кронштейн 2, который закреплён на ось ролика 4. К одному концу нити прикреплена чашечка 1, а к другому - вилка 6. Клубни картофеля взвешивают, измеряют и распределяют по группам, после этого их устанавливают на площадку прибора и прокалывают иглообразной осью 7. Нить перекидывают через ролик 4, в чашечку кладут гири и определяют движущую силу. После первого определения каждый клубень поворачивают на 180° и вторично определяют движущую силу.

Для каждого измерения вычисляют тангенс угла опрокидывания:

$$\frac{P}{Q} = \operatorname{tg} \mu, \quad (5.3)$$

затем находят углы μ

Угол опрокидывания колеблется в широких пределах, однако, значение углов находится в пределах $16^\circ \pm 3^\circ$, зависит от особенностей клубней и формы поверхности.

Сопоставляя среднее значение углов трения и опрокидывания можно установить, что угол трения значительно больше угла опрокидывания тех же клубней.

Условием опрокидывания или качения является достаточность связи с плоскостью, по которой происходит движение и соответствующее приложение движущей силы.

Движущая сила определяется тангенсом угла трения (рисунок 15).

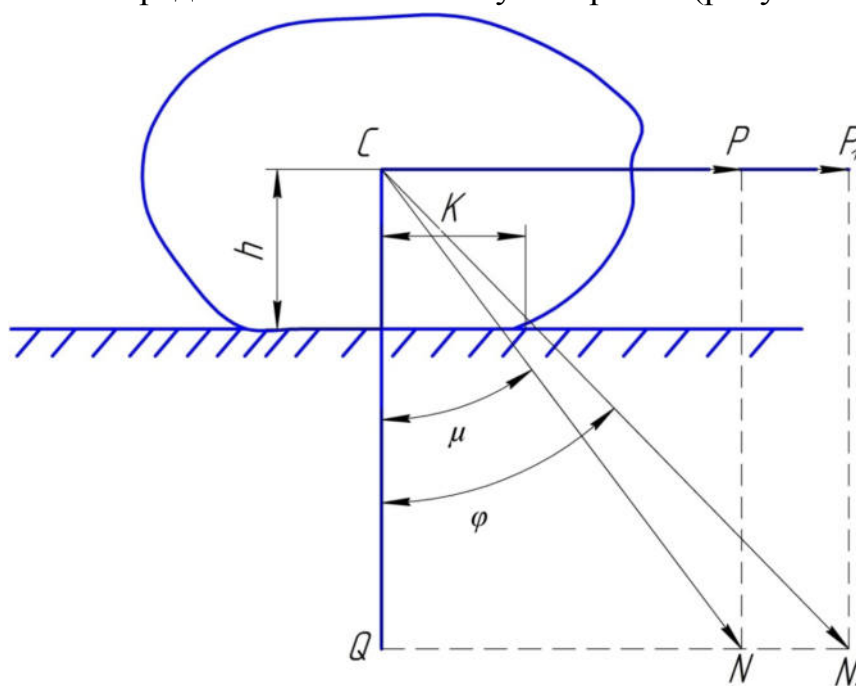


Рисунок 15 – Схема определения угла трения и угла опрокидывания

Если сила P приложена к центру клубня на высоте h , а P_1 ребро на расстоянии K от вертикали, проходящий через центр тяжести клубня, то $P \cdot h = Q \cdot k$, откуда:

$$\frac{k}{h} = \frac{P}{Q} \Rightarrow P = \frac{Q \cdot k}{h}, \quad (5.4)$$

При этом, если $\frac{k}{h} = \tan \mu > f$, то происходит скольжение.

Если $\frac{k}{h} = \tan \mu < f = \tan \varphi$, т.е. $\mu < \varphi$, то происходит опрокидывание.

На основании наших опытов можно утверждать, что при перемещении клубней по наклонной поверхности происходит движение с опрокидыванием. Результаты экспериментальных данных записываем в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты экспериментальных данных

Опорная поверхность	Номер опыта	Движущая сила, Н	Вес клубня, кг	Коэффициент трения	Угол трения, град	Угол естественного откоса, град
Фанера	1					
	2					
	3					
Оцинкованная поверхность	1					
	2					
	3					
			Вес комка, кг			
Фанера	1					
	2					
	3					
Оцинкованная поверхность	1					
	2					
	3					

Вопросы для самоконтроля:

1. Назовите размерно-массовые характеристики клубней картофеля?
2. Что такое угол естественного откоса?
3. Что такое угол трения?
4. Что такое угол опрокидывания?
5. Как определить угол трения?
6. Как определить угол опрокидывания?
7. Как определить угол естественного откоса?
8. Какие условия должны выполняться для опрокидывания и качения?
9. Для чего определяются углы естественного откоса, трения и опрокидывания?
10. Какие показатели клубней картофеля могут быть использованы для разделения их от почвенных комков и камней?

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.