

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Инженерный институт



**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ**  
**ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ МАШИНЫ**

**Методические указания**  
**к лабораторно-практическим занятиям**

**НОВОСИБИРСК 2023**

УДК: 631.31.

ББК: 40.722

С 298

Составитель: ст. преп. ***В.А. Головатюк***

Рецензент: канд. техн. наук, доц. ***П.И. Федюнин***

Сельскохозяйственные машины. Почвообрабатывающие машины: метод. указания к лабораторно-практическим занятиям / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост.: В.А. Головатюк. – Новосибирск, 2023. – 56 с.

Методические указания содержат краткие теоретические описания по темам, задание и методику выполнения лабораторных работ по разделу, методике обработки результатов измерений.

Цель работ - углубить знания студентов, дать более полное понятие о сущности технологических процессов почвообрабатывающих машин, развить навыки в проведении анализа технологического процесса и определение параметров работы машин в оптимальном режиме.

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки Агроинженерия.

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института (протокол №3 от 31 октября 2023 г.).

© Новосибирский государственный  
аграрный университет, 2023

© Инженерный институт, 2023

## Введение

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ **студентами 3 курса** по дисциплине «Сельскохозяйственные машины».

Все работы включают вопросы входного и выходного контроля знаний конструкции, режимов работы и расчета основных рабочих органов машин, описание порядка выполнения работ и необходимые расчетные формулы.

Самостоятельное выполнение студентами предусмотренных работ способствует более полному усвоению закономерностей протекания технологических процессов в сельскохозяйственных машинах и является основным направлением активизации самостоятельной работы.

Для проверки усвоения лекционного материала и готовности студентов к выполнению лабораторной работы в начале занятия преподаватель проводит краткий опрос по вопросам входного контроля знаний, которые предваряют каждую работу. В процессе выполнения работы преподаватель оценивает самостоятельность и полноту ее выполнения. По завершении работы студенты отвечают на вопросы выходного контроля.

Перед выполнением работ на лабораторных установках все студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности. Включать установки и аппаратуру без разрешения преподавателя или учебного мастера запрещается.

## 1. СТРОЕНИЕ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОЧВЫ

Почва - не сплошная однородная масса, а трехфазная дисперсная среда, состоящая из твердых, жидких и газообразных частиц, раздробленных и перемешанных между собой. Кроме того, в почве содержатся растительные остатки (корни и стебли растений) и живые организмы растительного и животного происхождения. Почвенные микроорганизмы, разлагая органические остатки, не только обеспечивают минеральное питание растений, но и участвуют в почвообразовательном процессе, способствуя накоплению гумуса, оказывающего положительное влияние на технологические свойства почвы.

В структурной почве твердые элементы объединены в агрегаты (комочки), пронизанные капиллярными порами. Между комочками имеются более крупные некапиллярные промежутки (гравитационные пустоты).

Так как промежутки между твердыми частицами заполнены водой и воздухом, то чем больше в почве воды, тем меньше воздуха, и наоборот.

От соотношения в почве жидкой и газообразной фаз в большой степени зависят ее технологические свойства.

Основные общие характеристики строения почвы - скважность (пористость) и плотность (объемная масса).

*Скважность* - отношение объема пустот к общему объему почвы, выраженное в процентах. Скважность зависит от структуры почвы и изменяется от 40...50% в песчаных до 80...90% в торфяных почвах; суглинки и глины занимают промежуточное положение, их скважность 50...60%.

*Плотность* - отношение массы  $m$  абсолютно сухой почвы к объему  $V$  исследуемой пробы, взятой без нарушения ее естественного сложения:

$$\rho_{п} = m/V. \quad (1)$$

Плотность зависит от механического состава, содержания гумуса и скважности почвы. Плотность пахотного слоя почвы изменяется в широких пределах - от 0,9 до 1,6 г/см<sup>3</sup>. Подпахотные горизонты почвы имеют более высокую плотность - 1,6...1,8 г/см<sup>3</sup>.

Плотность влияет не только на развитие корней растений, но и на водный, воздушный и пищевой режимы. Опыты показали, что для различных видов растений и различных почв существуют оптимальные плотности. При уплотнении почвы выше оптимальной плотности урожай снижается, а при очень высоком уплотнении вообще отсутствует. Поэтому плотность почвы считается важным фактором плодородия.

Плотность почвы можно регулировать с помощью механической обработки почвы в соответствии с требованиями для отдельных видов растений.

Основная физическая характеристика твердой фазы - удельная масса почвы (плотность или удельная масса твердой фазы). Удельной массой почвы называют массу единицы объема твердой фазы (без пор) в абсолютно сухом состоянии, которая определяется, как отношение массы твердой фазы  $m$  к ее объему  $V$ , т. е.  $\rho_{т.ф} = m/V$ .

Удельная масса твердой фазы зависит от соотношения входящих в ее

состав компонентов. Например, удельная масса глины 2,7, песка 2,65, гумуса не более 1,4 г/см<sup>3</sup>. Удельная же масса почвы находится, как правило, в указанном интервале, так как представляет собой средневзвешенную удельную массу компонентов. Так, удельная масса дерново-подзолистой почвы 2,4...2,6, а торфяной - 1,4...1,7 г/см<sup>3</sup>.

**Жидкая фаза** представлена в почве водой или растворами различных веществ в ней. В почве различают свободную и связанную воду. Так как связанная вода в процессе механической обработки почвы заметным образом себя не проявляет, а свободная оказывает большое влияние на технологические свойства почвы (вязкость, пластичность, липкость и т. п.), то ограничимся рассмотрением последней.

О количестве воды, содержащейся в почве, судят по ее абсолютной влажности  $m_a$  (%), которую определяют как отношение массы воды к массе сухой твердой фазы, содержащихся в исследуемой пробе:

$$m_a = 100(m_b - m_c)/m_c, \quad (2)$$

где  $m_b$  и  $m_c$  - массы соответственно влажной и сухой почвы.

О степени увлажнения почвы судят по значению относительной влажности  $w_o$  (%):

$$w_o = 100w_a/w_{п}, \quad (3)$$

где  $w_{п}$  - полевая влагемкость почвы, %.

Влажность почвы оказывает большое влияние на ее технологические свойства, а следовательно, на качество обработки и расход энергии. При вспашке глинистых и суглинистых почв в переувлажненном состоянии происходит залипание рабочих органов, разрушение (размазывание) структурных агрегатов, сгуживание почвы; в пересохшем - образуются крупные глыбы и пылевидные элементы, повреждаются структурные агрегаты.

Однако при определенной влажности структурная почва легко и хорошо крошится, на ее обработку расходуется минимальное количество энергии. Такое состояние почвы называется «спелостью». В зависимости от механического состава почвы состояние ее «спелости» наступает при относительной влажности 40...70%, что соответствует абсолютной влажности 15...30%. Исследования показали, что «спелость» почвы зависит и от скорости вспашки. С увеличением скорости она смещается в сторону большей влажности.

Установлено, что при механической обработке почвы в состоянии «спелости» не только сохраняется целостность имеющихся структурных агрегатов, но и образуются новые. Поэтому механическую обработку почвы в состоянии «спелости» считают одним из основных способов улучшения ее структуры.

### **Технологические свойства почвы**

Под технологическими свойствами следует понимать лишь те свойства почвы, которые проявляются в процессе ее механической обработки и оказывают существенное влияние на закономерности и характер протекания технологического процесса. Следовательно, к технологическим свойствам почвы

можно отнести сопротивление ее различным видам деформаций (прочность), трение о поверхности рабочих органов и внутреннее трение, липкость, связность, упругость, пластичность, абразивные свойства.

**Сопротивление различным видам деформаций.** Для разработки путей и методов снижения расхода энергии на механическую обработку почвы необходимо знать пределы ее прочности при различных видах напряжений. Следует отметить, что сопротивление почвы с ненарушенной структурой различным видам деформаций изучено еще недостаточно. Однако для суглинистых почв установлены, например, следующие прочностные характеристики:

предел прочности при деформации растяжения	5...6кПа
»                   »                   »                   »                   сдвига	10...12
»                   »                   »                   »                   сжатия	65...108

Таким образом, наименьший предел прочности отмечен при растяжении, средний - при сдвиге и максимальный - при сжатии. Следовательно, рыхления почвы с минимальным расходом энергии можно добиться путем разрушения связей между отдельными структурными агрегатами с помощью деформаций растяжения. Создание рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий, основанных на этом принципе, связано с определенными техническими трудностями. Однако известны и отдельные удачные попытки создания рыхлителей с активными и пассивными рабочими органами, разрушающими почвенный пласт по линиям наименее прочных связей между структурными агрегатами, т. е. преимущественно путем деформаций растяжения.

### **Сопротивление смятию (твердость почвы).**

Большинство рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий, а также различные опорные поверхности (колеса, гусеницы и т. п.) энергетических, транспортных и рабочих машин при взаимодействии с почвой сминают ее. Поэтому сопротивление почвы смятию служит одной из основных ее характеристик при оценке условий работы не только почвообрабатывающих, но и многих других сельскохозяйственных машин.

В соответствии с ОСТ 70.2.15-73 показателем сопротивления почвы смятию является «средняя твердость почвы», а приборы для ее определения называются твердомерами.

Твердомер (рис. 1,а) состоит из штанги 1, пружины 2, рукояток 3, наконечника 4 (плунжера). При нажиме на рукоятки давление через пружину, штангу и наконечник передается почве. При этом сила нажима равна силе сопротивления почвы вдавливанию наконечника (при плавном нажиме) и измеряется по сжатию у пружины, а линейная деформация К почвы - по глубине погружения наконечника в почву. Твердомер, оборудованный пишущим устройством, записывает диаграмму  $y = f(\lambda)$ . Зная калибр (жесткость) пружины k, можно от ее деформации у перейти к силе  $F = ky$  (рис. 1,б).

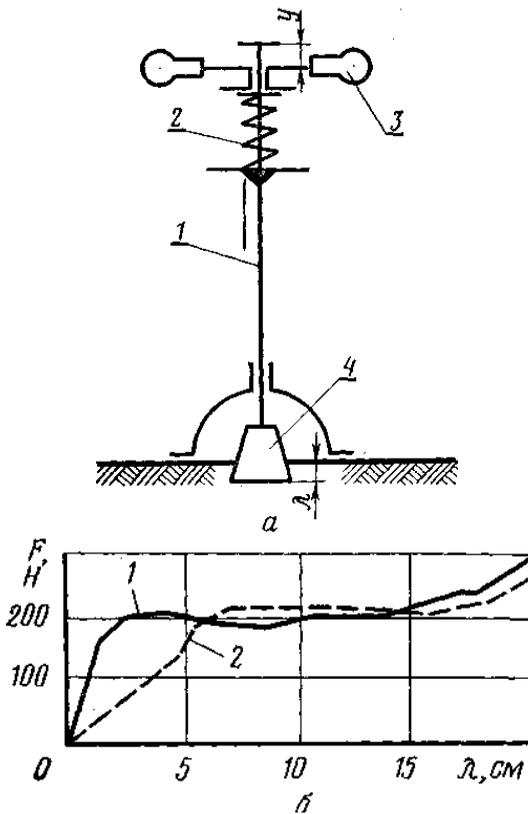


Рисунок 1. Определение твердости почвы:

а - схема твердомера; 1 - штанга; 2 - пружина; 3 - рукоятка; 4 - плунжер (наконечник); б - диаграмма твердомера с различными наконечниками: 1 - цилиндрическим; 2 - коническим.

Диаграмму твердомера в пределах пахотного слоя можно аппроксимировать двумя прямыми ОА и АВ (рис.2), характеризующими две фазы деформации почвы. В течение первой фазы (участок ОА) вследствие сначала упругого, а затем пластического уплотнения почвы под наконечником сопротивление  $F$  растет пропорционально линейной деформации  $\lambda$ . Во второй фазе (участок АВ) почва деформируется конусообразным наростом, который расклинивает ее, смещая в стороны и встречая поэтому постоянное сопротивление. Во второй фазе возрастание деформации  $\lambda$  не вызывает увеличения сопротивления  $F$  и почва «течет», т.е. продолжает деформироваться под действием постоянного давления на нее.

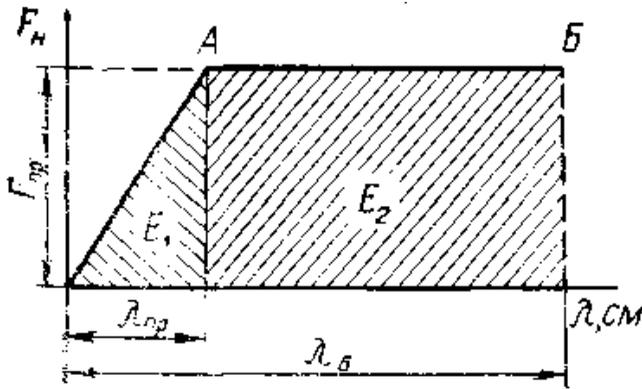


Рисунок 2. Зависимость силы  $F$  сопротивления почвы смятию от ее линейной деформации  $\lambda$ .

Первая фаза в несколько раз короче второй, однако имеет большое практическое значение, так как деформация почвы сельскохозяйственными машинами, как правило, не выходит за пределы первого участка диаграммы ( $<\lambda_{пр}$ ). Путем обработки этого участка диаграммы получают показатели, характеризующие способность почвы сопротивляться смятию. Согласно ОСТ 70.2.15-73, твердость почвы  $p$  ( $\text{H}/\text{см}^2$ ) определяют по формуле:

$$p = hk/S, \quad (4)$$

где  $h$  - средняя ордината диаграммы твердости, см;  $k$  - масштаб (жесткость) пружины,  $\text{H}/\text{см}$ ;  $S$  - площадь поперечного сечения плунжера,  $\text{см}^2$ .

Более обоснованным теоретически, т. е. отражающим физическую сущность процесса смятия почвы внедряемым в нее наконечником, является другой показатель - коэффициент объемного смятия почвы. Сила сопротивления почвы смятию в пределах первой фазы зависит как от линейной деформации почвы  $\lambda$ , так и от сминаемой площади (площади поперечного сечения наконечника)  $S$  и, следовательно пропорциональна объему смятой (вытесненной) почвы  $V = S\lambda$ . Если способность почвы сопротивляться смятию выразить коэффициентом пропорциональности  $q$ , то  $F = qV$ , откуда

$$q = F / V. \quad (5)$$

Коэффициент  $q$  получил название коэффициента объемного смятия почвы. Он имеет размерность  $\text{H}/\text{см}^3$  и показывает, на сколько единиц силы ( $\text{H}$ ) возрастает сопротивление почвы при смятии каждой последующей единицы ее объема ( $\text{см}^3$ ). Коэффициент объемного смятия имеет следующие значения: для свежеспаханной почвы 1...2  $\text{H}/\text{см}^3$ ; для жнивья, паров и лугов - 5...10  $\text{H}/\text{см}^3$ , для грунтовой дороги - 50...90  $\text{H}/\text{см}^3$ .

Весьма важен для инженерных расчетов предел сопротивления почвы смятию или предел несущей способности почвы (рис. 3, точка А), который обычно характеризуют предельным напряжением смятия  $p_{пр}$  ( $\text{Н}/\text{см}^2$ ):

$$p_{пр} = F_{пр} / S. \quad (6)$$

### **Фрикционные свойства почвы**

Трение проявляется как сопротивление скольжению одного тела относительно другого, с ним соприкасающегося (внешнее трение), или одних частиц одного и того же тела относительно других (внутреннее трение). Таким образом, сила трения - это сила сопротивления, или сила реакции, вызванная действием другой, активной силы, стремящейся создать скольжение поверхности одного тела относительно другого при нормальном давлении. Как и всякая сила реакции, сила трения равна той силе, которая ее возбуждает, но имеет предельное значение, выше которого не возрастает. При изменениях активной силы сила трения может изменяться от нуля до своего предельного значения ( $0 \leq F_{тр} \leq F_{max}$ ). Максимального значения сила трения достигает при скольжении. В этом случае ее численное значение определяется по формуле Амонтона (1699 г.):

$$F_{тр} = fN = Ntg\varphi, \quad (7)$$

где  $N$  - нормальное давление,  $N$ ;  $f$  и  $\varphi$  - соответственно коэффициент и угол трения.

Коэффициент трения почвы - величина не постоянная. Он зависит от многих факторов, но главным образом от механического состава и влажности. Изменение коэффициента трения в зависимости от механического состава показано на рисунке 3,а. Еще большее влияние на коэффициент трения оказывает влажность почвы (рис. 3,б). Для ориентировочных расчетов, т. е. без учета механического состава и влажности почвы, принимают  $f = 0,5$  и  $\varphi = 26^\circ 30'$ . Фрикционные свойства почвы оказывают большое влияние на процессы ее механической обработки: от 30 до 50% энергии затрачивается на преодоление вредных сопротивлений, связанных с трением почвы о рабочие поверхности почвообрабатывающих машин и орудий.

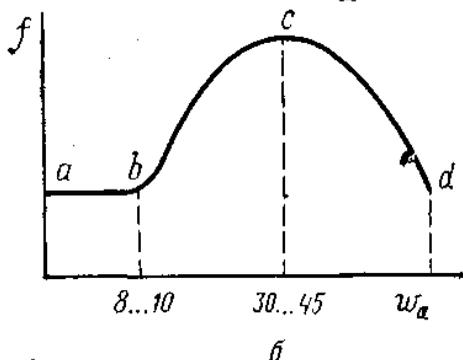
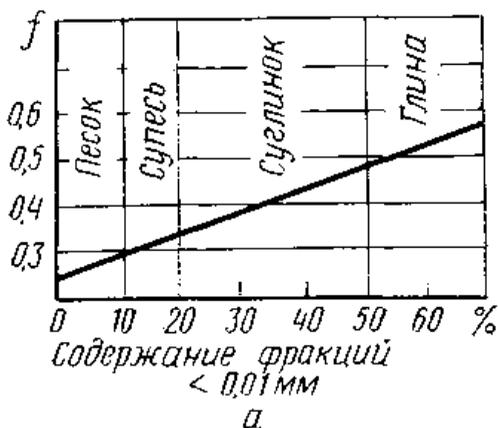


Рисунок 3. Зависимость коэффициента трения  $f$  почвы о сталь:  
 $a$  - от содержания в почве «физической глины»;  $b$  - от абсолютной влажности  $W_a$  почвы.

**Липкость почвы** - это способность ее частиц прилипать к различным телам, а также склеиваться. Она проявляется двояким образом: как сопротивление при скольжении почвы по поверхности рабочих органов машин (корпусов плугов, лап культиваторов, сошников сеялок и т. п.) и как сопротивление при отрыве находившихся в контакте с ней твердых тел (качение колес, движение гусениц и т. п.).

Сопротивление скольжению от прилипания определяют по формуле:

$$T_{\text{пр}} = p_0 S + p N S, \quad (8)$$

где  $p_0$  - коэффициент касательных сил удельного прилипания при отсутствии нормального давления, Па;  $p$  - коэффициент касательных сил удельного прилипания, вызываемого нормальным давлением,  $1/\text{м}^2$ ;  $S$  - видимая площадь контакта,  $\text{м}^2$ ;  $N$  - сила нормального давления, Н.

Сравнив выражения (11) и (12), видим, что законы трения и прилипания имеют существенные различия. Прилипание в отличие от трения зависит не только от нормального давления и свойств материала рабочей поверхности, но и от площади контакта и проявляется даже при отсутствии нормального давления. Липкость почвы зависит главным образом от механического состава (дисперсности), влажности, материала рабочего органа и удельного давления. С увеличением дисперсности липкость возрастает, поэтому глинистые почвы более липки, чем песчаные; бесструктурные более липки, чем структурные. Липкость начинает проявляться при определенной влажности: для почв с нарушенной структурой при относительной влажности 40...50%, для структурных - 60...70%. Зависимость удельной силы прилипания от влажности для различных материалов представлена на рисунке 5.

С увеличением влажности липкость сначала возрастает, а затем падает; прилипание почвы к капрону и фторопласту значительно меньше, чем к стали.

При определенной влажности почвы прилипание и трение действуют совместно. Если при этом почва скользит по поверхности рабочего органа, то оба процесса проявляются одновременно в виде сопротивления ее скольжению

$$T_{\text{общ}} = F_{\text{п.м}} + T_{\text{пр}}, \quad (9)$$

где -  $F_{\text{п.м}}$  - сила трения почвы по материалу поверхности рабочего органа;  $T_{\text{пр}}$  - сила прилипания почвы к материалу рабочего органа.

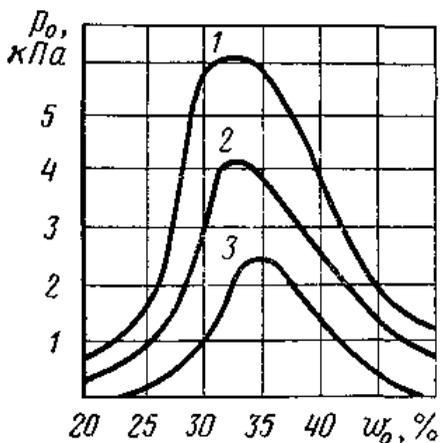


Рисунок 5. Зависимость удельной силы прилипания  $p_0$  от абсолютной влажности почвы  $w_a$ :

1 - сталь; 2 - капрон; 3 - фторопласт.

Залипание рабочих органов происходит в том случае, когда сумма удельных сил трения и прилипания почвы к их поверхности оказывается

больше, чем предел прочности почвы на сдвиг. Самоочищение наблюдается в том случае, когда сумма сил прилипания и трения почвы о почву (пласта о налипшие частицы) становится больше, чем общее сопротивление налипших частиц скольжению.

**Пластичность и упругость, вязкость и хрупкость** - тоже важные технологические свойства почвы.

Пластичность почвы - ее свойство деформироваться под действием внешней нагрузки (изменять свою форму без распада на части) и сохранять эту деформацию после снятия нагрузки. Пластичность зависит в основном от механического состава и влажности почвы и характеризуется числом пластичности:

$$w_{п} = w_{m} - w_{p}, \quad (10)$$

где  $w_m$  - верхний предел пластичности, т. е. влажность почвы, при которой она расплывается от малейшего сотрясения;  $w_p$  - нижний предел пластичности, т. е. влажность, при которой почва, раскатанная в стержень диаметром 3 мм, начинает крошиться.

Песок непластичен, число пластичности для почв иного механического состава принимает следующие значения: супесь - 1...7; суглинок - свыше 7 и до 17; глина - более 17.

Упругость противопоставляют пластичности. Под упругостью почвы понимают ее свойство восстанавливать свою форму после снятия внешней нагрузки. Следовательно, упругая деформация существует лишь до тех пор, пока на тело продолжает действовать внешняя сила, вызвавшая эту деформацию. Упругость почвы зависит главным образом от механического состава, влажности и задернелости. Относительное значение упругих деформаций почвы может колебаться от 30 до 80%.

Вязкость почвы - ее свойство медленно деформироваться не только в функции нагрузки, но и в функции времени. Таким образом, деформация вязкого тела зависит не только от нагрузки, но и от продолжительности ее действия. Чем больше продолжительность действия нагрузки, тем больше и деформация. Вязкость почвы связана с явлением взаимного перемещения составляющих ее фаз: твердых частиц, воды и воздуха. Например, при движении трактора по болотистой почве (торфянику) глубина колеи тем больше, чем меньше скорость трактора, и наоборот.

Хрупкость обычно противопоставляют вязкости. Предел прочности хрупких тел не превышает предела упругости или совпадает с ним. Таким образом, в хрупком теле пластические деформации отсутствуют. Так, например, пересохшие почвы тяжелого механического состава обычно становятся хрупкими, т. е. при разрушении они практически не испытывают остаточных деформаций.

#### **Задернелость и ее влияние на технологические свойства.**

Почвы целинных и залежных земель, лугов, пастбищ, осушенных болот, торфяников, полей из-под многолетних трав пронизаны многочисленны-

ми корнями растений. Мощные крупные корни концентрируются в верхней части пласта в слое от 6...8 до 16...18 см, ниже располагаются, как правило, лишь тонкие мелкие корешки. Почвенный пласт в таких случаях разграничивается на два слоя, резко отличающихся по своим технологическим свойствам. Так, например, верхний задернелый слой зачастую ведет себя как упругое тело, в то время как нижний обладает пластичностью, а иногда может рассматриваться как сыпучий материал.

Верхний задернелый слой неоднороден по глубине. Вследствие того, что задернелость почвы с увеличением глубины расположения слоя уменьшается, изменяются и технологические свойства. Так, например, предел прочности задернелой почвы на растяжение  $\sigma$  существенно уменьшается с увеличением глубины  $h$  взятия пробы (рис.6,а), соответственно уменьшается и относительное удлинение пробы  $\varepsilon$ , соответствующее пределу прочности на растяжение (рис. 6,б), а следовательно, и упругость почвы.

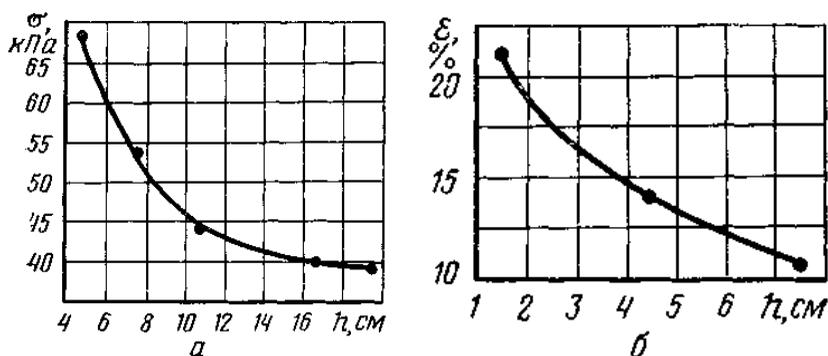


Рисунок 6. Влияние глубины расположения пробы  $h$  на показатели прочностей связной задернелой почвы:

$a$  - предел прочности на растяжение  $\sigma$ ;  $б$  - относительное удлинение  $\varepsilon$ , соответствующее пределу прочности на растяжение.

Как видим, задернелость оказывает большое влияние на технологические свойства почвы, поэтому ее необходимо учитывать при характеристике почвы как объекта механической обработки. Характеристикой задернелости почвы могут служить толщина слоя дернины, связность дернины и степень задернения пахотного слоя.

По данным степень задернения почвы составляет: на целине 18...39, залежи до 24, на полях многолетних трав (клевера) двухлетнего пользования 4,5...8 г/дм<sup>3</sup>.

Абразивность проявляется в износе рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий и зависит главным образом от механического состава почвы.

Установлено, например, что износ лемеха при вспашке одного гектара составляет: на глинистых и суглинистых почвах от 2 до 30 г, супесчаных и песчаных с небольшим количеством камней от 30 до 100 г, песчаных с большим количеством камней от 100 до 450 г.

Следовательно, общим критерием абразивности почвы можно считать содержание в ней физического песка. Высокая абразивность песчаных почв объясняется преобладанием в их составе кварца - самого твердого из минералов.

## 1. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

При анализе процессов сельскохозяйственного производства значения измеряемых параметров получают обычно в виде случайных величин. Чтобы воспользоваться полученными результатами и на их основании сделать выводы, требуется произвести статистическую обработку.

*Оценка результатов измерений (ГОСТ 11.004-74).*

1. Определить выборочное среднее:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (1)$$

где  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  - значения измеряемой величины;

$n$  - количество измерений.

2. Определить выборочное среднеквадратическое отклонение (выборочный стандарт):

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2)$$

3. Определить среднеквадратическое отклонение среднего:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

4. Определить отклонение границ доверительного интервала:

$$\Delta X = t_{(\alpha, k)} \frac{S_x}{\sqrt{n}}, \quad (4)$$

где  $t_{(\alpha, k)}$  - коэффициент Стьюдента, определяемый по таблице, при принятом значении надежности  $\alpha$  и числе степеней свободы  $k = n - 1$ .

Коэффициент Стьюдента  $t(\alpha, k)$

k	$\alpha$				
	0,7	0,8	0,9	0,96	0,99
1	2,0	3,1	6,3	12,7	63,7
2	1,3	1,9	2,9	4,3	9,9
3	1,3	1,6	2,4	3,2	5,8
4	1,2	1,5	2,1	2,8	4,6
5	1,2	1,5	2,0	2,6	4,0
6	1,1	1,4	1,9	2,4	3,7
7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,5
8	1,1	1,4	1,9	2,3	3,4
9	1,1	1,4	1,8	2,3	3,3
10	1,1	1,4	1,8	2,3	3,3

5. Определить верхнюю  $X_B$  и нижнюю  $X_H$  границы доверительного интервала:

$$X_B = \bar{X} + \Delta X, \quad X_H = \bar{X} - \Delta X \quad (5)$$

6. При сравнении двух средних необходимо определить соотношение:

$$t = \frac{|\bar{X} - \bar{Y}|}{\tilde{S} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad (6)$$

где  $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$  - средние значения из двух серий измерений с объемом выборки  $n_1$  и  $n_2$ ;

$S_X$ ,  $S_Y$  - выборные среднеквадратические отклонения:

$$\tilde{S} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_X^2 + (n_2 - 1)S_Y^2}{(n_1 - 1)(n_2 - 1)}} \quad (7)$$

По таблице определить  $t_{(\alpha, k)}$ , задаваясь надежностью  $\alpha$  и числом свободы  $k = n_2 + n_1 - 2$ . Если  $t_{(\alpha, k)}$ , то с вероятностью  $\alpha$  расхождение между средними  $\bar{X}$  и  $\bar{Y}$  незначимо.

Приведенные зависимости используют при обработке результатов прямых измерений. В случае косвенных измерений необходимо определить искомую величину по соответствующим функциональным зависимостям и обработать полученные результаты в указанном порядке.

## Работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ОБЪЕМНОГО СМЯТИЯ ПОЧВЫ

### Вопросы входного контроля

1. Виды обработки почвы и их особенности.
2. Почва как объект изучения.
3. Отметить сущность механической обработки почвы.
4. Назвать основные процессы механической обработки почвы.
5. Агротехнические требования к обработке почвы.
6. Типы почв и их характеристика.
7. Способы крошения и рыхления почвы.
8. Отметить факторы, влияющие на процессы крошения и рыхления почвы.
9. Назвать физико-механические свойства почвы.

1. Общие сведения. Твердость почвы – это способность сопротивляться проникновению в нее какого-либо тела под действием усилия. Это свойство характеризует суммарное сопротивление, которое преодолевают взаимодействующие с ней рабочие органы сельскохозяйственных машин.

При вдавливании в почву твердого тела, например, круглого плоского наконечника, сопротивление почвы вдавливанию изменяется с изменением глубины погружения этого наконечника. Если на оси  $OX$  (рисунок 1.1) откладывать глубину погружения наконечника, а по оси  $OY$  - сопротивление вдавливанию, то получим график, из которого видно, что на участке  $OA$ , соответствующем глубине погружения наконечника  $h_A$ , сопротивление, равное усилию вдавливания наконечника, изменяется пропорционально глубине погружения  $h$ .

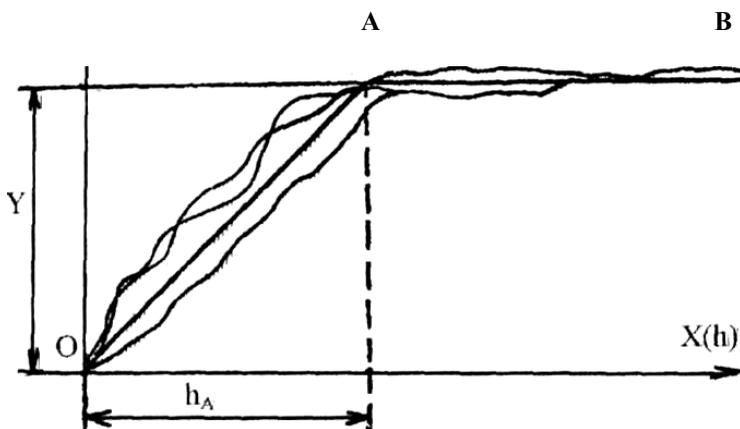


Рисунок 1.1 – Твердомерные диаграммы

В зависимости от типа и состояния почвы  $P = f(h)$  на участке  $OA$  может изменяться по линейной, квадратичной степенной, параболической, синусоидальной, тангенциальной или другой зависимости. Начиная с точки  $A$ , наконечник продолжает погружаться в почву при постоянной нагрузке, соответствующей пределу пропорциональности (пределу несущей способности почвы).

Обычно определяют среднюю твердость почвы как среднее удельное усилие, необходимое для вдавливания в почву наконечника, т.е.

$$T_{CP} = \frac{P_{CP}}{S}, \text{ МПа}, \quad (1.1)$$

где  $T$  - твердость почвы, МПа;

$P_{CP}$  - среднее усилие при погружении наконечника на глубину,  $h_A, H$  ;

$S$  - площадь наконечника, мм<sup>2</sup>.

Отношение усилия  $P_A$ , требующегося для вдавливания наконечника на глубину  $h_A$ , соответствующую пределу пропорциональности, к произведению  $h_A \cdot S$ , называется коэффициентом объемного смятия почвы.

$$q = 10^3 \frac{P_A}{h_A S}, \text{ МПа/мм} \quad (1.2)$$

График зависимости  $P = f(h)$  (твердомерные диаграммы) можно записать при помощи специального прибора - твердомера. Обработывая диаграммы, можно определять твердость и коэффициент смятия почвы. На рисунке 1.1 примерные реальные диаграммы показаны тонкими линиями, а идеальная диаграмма при линейной зависимости  $P = f(h)$  на участке  $OA$  - жирной линией. С определенной степенью приближения последнюю диаграмму иногда принимают как средний результат нескольких диаграмм.

2. Содержание работы. Записать при помощи твердомера несколько диаграмм твердости почвы (5-6), обработать полученные диаграммы и дать доверительную оценку результатов опыта.

3. Оборудование, приборы, инструменты и материалы. Твердомер, штангенциркуль, испытываемая почва (в полевых условиях или в почвенном канале), бумага миллиметровая.

Для записи диаграмм твердости почвы используют твердомеры различных типов. Один из наиболее широко используемых твердомеров представлен на рисунке 1.2. Состоит он 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 устрой-

ства рассчитаны таким образом, что карандаш перемещается в направлении оси  $OX$  на величину погружения наконечника и оси  $OY$  - на величину сжатия пружины. Таким образом на получаемых при помощи твердомера диаграммах по оси  $OX$  откладывают глубину погружения наконечника, а на оси  $OY$  - деформацию пружины, пропорциональную величине прилагаемого усилия.

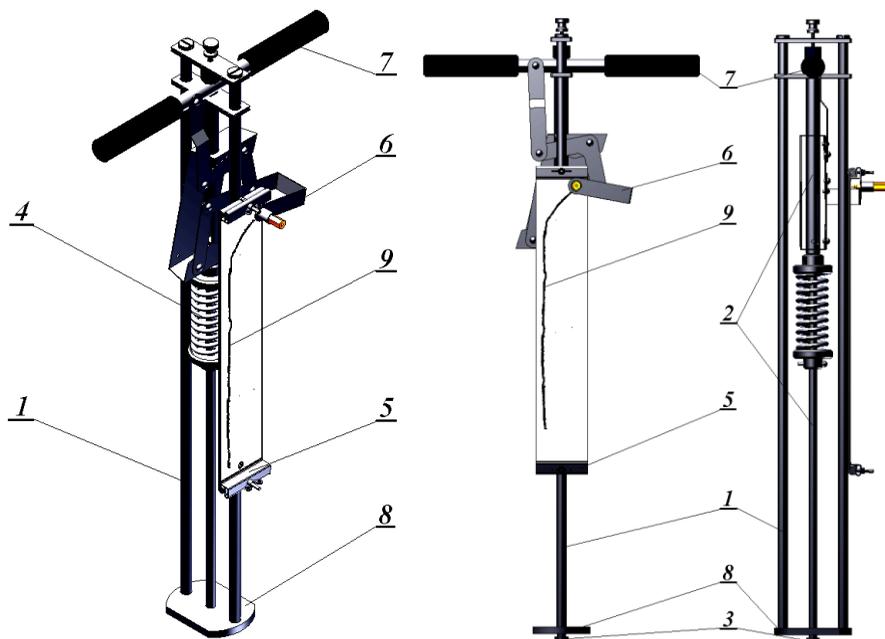


Рисунок 1.2 – Общий вид твердомера:

- 1 – штанга направляющая;
- 2 – штанга телескопическая;
- 3 – наконечник сменный;
- 4 – пружина;
- 5 – планка для бумаги;
- 6 – устройство записывающее;
- 7 – рукоятка;
- 8 – основание;
- 9 – диаграмма

4. Порядок выполнения работы.

4.1. Записать 5...6 диаграмм твердости.

4.2. Обработать полученные диаграммы в приведенном ниже порядке,

- полученные данные занести в таблицу 1.1:

- разбить участок  $h_A$  каждой  $i$  - й диаграммы на  $k$  частей, измерить промежуточные значения ординат  $Y_j$  этих диаграмм, записать промежуточные значения и суммы этих ординат в таблицу;

- подсчитать значения ординат каждой диаграммы по формуле

$$Y_i = \frac{\sum_{j=1}^k Y_j}{k}, \text{ мм}; \quad (1.3)$$

- определить среднее значение усилия взаимодействия штампа на глубину  $h_A$ :

$$P_{icp} = Y_i \cdot C, \text{ Н}, \quad (1.4)$$

где  $C$  - жесткость (калибр) пружины, Н/мм;

- определить твердость почвы по каждой диаграмме:

$$T_i = \frac{P_{icp}}{S}, \text{ МПа}; \quad (1.5)$$

- определить значения усилия  $P_A$ , соответствующие пределу несущей способности почвы как

$$P_{Ai} = Y_{Ai} \cdot C, \text{ Н}; \quad (1.6)$$

- подсчитать коэффициенты объемного смятия почвы по каждой диаграмме:

$$q_i = \frac{P_{Ai}}{S \cdot h_{Ai}}, \text{ МПа/мм}; \quad (1.7)$$

- дать доверительную оценку значений твердости и коэффициента объемного смятия почвы по результатам обработки диаграмм, используя выражения (1)...(3), в которые вместо значений  $X_i$  подставляют значения твердости и коэффициентов объемного смятия  $P_i$ ,  $q_i$ .

## 5. Содержание отчета:

Краткое содержание работы.  
Схема твердомера.  
Диаграмма твердости (один пример).  
Формулы и необходимые расчеты.  
Таблица результатов опытов.  
Выводы и предложения

### **Вопросы и задания для самостоятельной работы**

1. Дать определение твердости почвы.
2. Отметить цель определения твердости и коэффициент объёмного смятия почвы.
3. Классификация твердомеров.
4. Факторы, влияющие на твердость почвы.
5. Перечислить фазы деформации почвы и дать их характеристику.
6. Пояснить на схеме принцип действия твердомера.
7. Твердомерная диаграмма, регистрируемые параметры и методика ее обработки.
8. Пояснить понятие предела несущей способности почвы и показать на диаграмме.
9. Пояснить физический смысл коэффициента объёмного смятия почвы.
10. Написать формулу определения твердости почвы.
11. Написать формулу определения коэффициента объёмного смятия почвы.
12. Пояснить методику определения среднего значения твердости почвы на участке поля.
13. Перечислить технологические свойства почв и назвать их влияние на энергоёмкость процесса и качественные показатели обработки.

Таблица 1.1 – Результаты опытов

№ диаграммы	$Y_i$ , мм	$\Sigma Y_i$ , мм	k	$Y_{i,ср}$ , мм	$P_{i,ср}$ , Н	$T_i$ , МПа	$T_{i,ср}$ , МПа	$S_{T_i}$ , МПа	STср, МПа	$\Delta T$ , МПа	$T_{i,ср}$ , МПа	$T_{i,ср \pm \Delta T}$ , МПа	$P_{i,ср}$ , Н	$h_{Ab}$ , мм	$q_b$ , $\frac{МПа}{мм}$	$q_{ср \pm \Delta T}$ , $\frac{МПа}{мм}$
1																
2																
3																
4																
5																
1																
2																
3																
4																
5																
1																
2																
2																
4																
5																

## Работа 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ И ПОКОЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО РАЗЛИЧНЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ

### Вопросы входного контроля

1. Пояснить трение как процесс.
2. Написать виды трения и дать их характеристики.
3. Написать физическую формулу силы трения.
4. Написать формулу силы трения от прилипания.
5. От каких факторов зависит коэффициент трения скольжения?

1. Общие сведения. Без знания значений коэффициентов трения почвы или любого сельскохозяйственного материала по различным поверхностям невозможно проектировать ни одну сельскохозяйственную машину. От величины коэффициентов трения зависят и регулировочные параметры машин. Коэффициенты трения в основном зависят от свойств трущихся поверхностей и являются показателями пропорциональности между максимальным значением силы трения и силой нормального давления, т.е.

$$F_{\max} = f \cdot N,$$

где  $F_{\max}$  - максимальное значение силы трения;

$f$  - коэффициент трения;

$N$  - сила нормального давления.

Силы  $F_{\max}$  и  $N$  можно определять экспериментально. Тогда коэффициент трения будет

$$f = \frac{F_{\max}}{N} \quad (2.1)$$

Однако определить коэффициент  $f$  можно и не прибегая к измерению сил  $F_{\max}$  и  $N$ . Угол между направлениями сил  $F_{\max}$  и  $N$  всегда равен  $\pi/2$ .

Если от начала координат отложить векторы сил  $N$  и  $F_{\max}$  соответственно по осям  $OX$  и  $OY$  (рисунок 2.1), то направление результирующей силы  $R$  отклонится от направления вектора  $N$  на некоторый угол  $\varphi$ , на-

званный углом трения. Из рисунка следует, что  $tg \varphi = \frac{F_{\max}}{N}$ , следовательно

$$f = tg \varphi \quad (2.2)$$

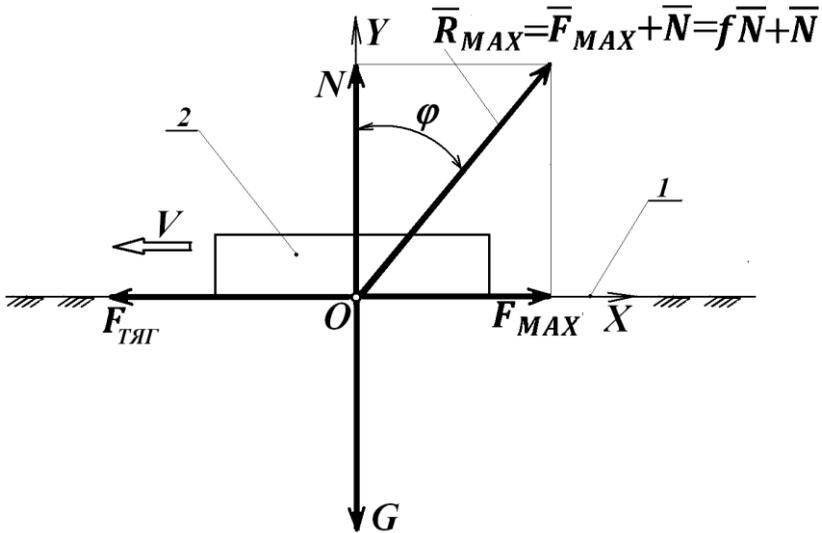


Рисунок 2.1 – Схема определения равнодействующей и угла трения:  
1 – плоскость; 2 - тело

Учитывая изложенное, коэффициент трения можно определить, зная направление равнодействующей  $R$  и нормальной силы  $N$ . Направление силы  $R$  определяют при взаимном движении двух трущихся тел, что можно использовать при определении коэффициента трения скольжения (динамического коэффициента трения).

Коэффициент трения покоя (статический коэффициент трения) определяют из условия, при котором тело переходит из состояния покоя в состояние движения, если движущая сила достигнет максимального значения силы трения  $F_{\max}$ . Например, тело, помещенное на наклонную плоскость (рисунок 2.2), стремится удержаться на ней за счет силы трения, которая уравнивает силы массы  $P \sin \beta$ . В момент начала скольжения тела по плоскости

$$P \sin \beta = F_{n \max},$$

где  $F_n$  и  $\varphi_n$  - соответственно максимальная сила трения и угол трения покоя.

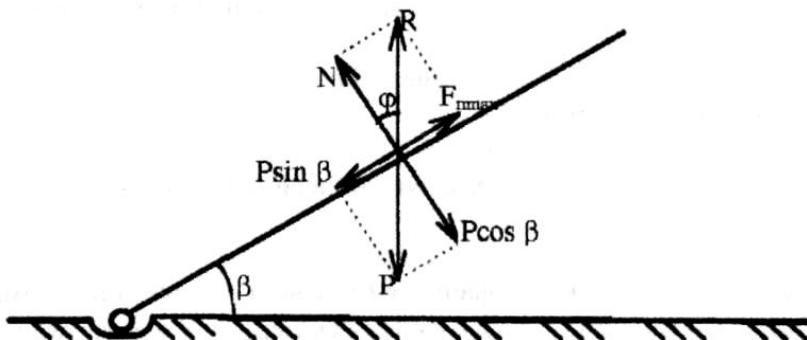


Рисунок 2.2 – Схема определения максимальной силы и угла трения покоя

$$\text{Следовательно, } P \sin \beta = \operatorname{tg} \varphi_n \cdot P \cos \beta, \quad (2.3)$$

$$\text{откуда } \varphi_n = \beta, \quad f_n = \operatorname{tg} \beta \quad (2.4)$$

Содержание работы. Определить коэффициент трения скольжения и трения покоя почвы или другого материала по различным материалам (сталь, дерево, резина и др.), дать доверительную оценку результатов, сравнить значения статических и динамических коэффициентов трения для одинаковых трущихся пар.

Оборудование, приборы, материалы. Приборы для определения статического и динамического коэффициентов трения, пластины из различных материалов, применяемых в сельхозмашиностроении, чертежная доска, треугольники, бумага, кнопки, почва, удобрения или другие сельхозматериалы.

Коэффициенты трения скольжения определяют на приборах различной конструкции. Одним из простейших приборов для этой цели может служить прибор системы академика В.А. Желиговского (рисунок 2.3). Он состоит из чертежной доски, линейки и каретки. Колодка 1 линейки 2 скользит по обрезу чертежной доски, а свободный конец линейки 2 опирается на ползочек 3, поддерживающий этот конец линейки на некоторой высоте над поверхностью чертежной доски. До начала опыта один из исследуемых материалов прикрепляют струбцинами 5 к линейке 2, а другой материал зажимают в каретке 4. Линейку фиксируют под произвольным углом к колодке 1. Каретка 4 имеет карандаш для записи траектории ее движения. При движении колодки вдоль края чертежной доски линейка приводит в движение каретку 4. Если  $\beta < \pi/2 - \varphi$ , то при движении линейки возникает скольжение одного испытываемого материала по другому, в результате между ними возникает сила трения скольжения  $F_{\max}$ . При этом карандаш прибора вычерчивает направление равнодействующей силы  $\bar{R} = \bar{F}_{\max} + \bar{N}$ .

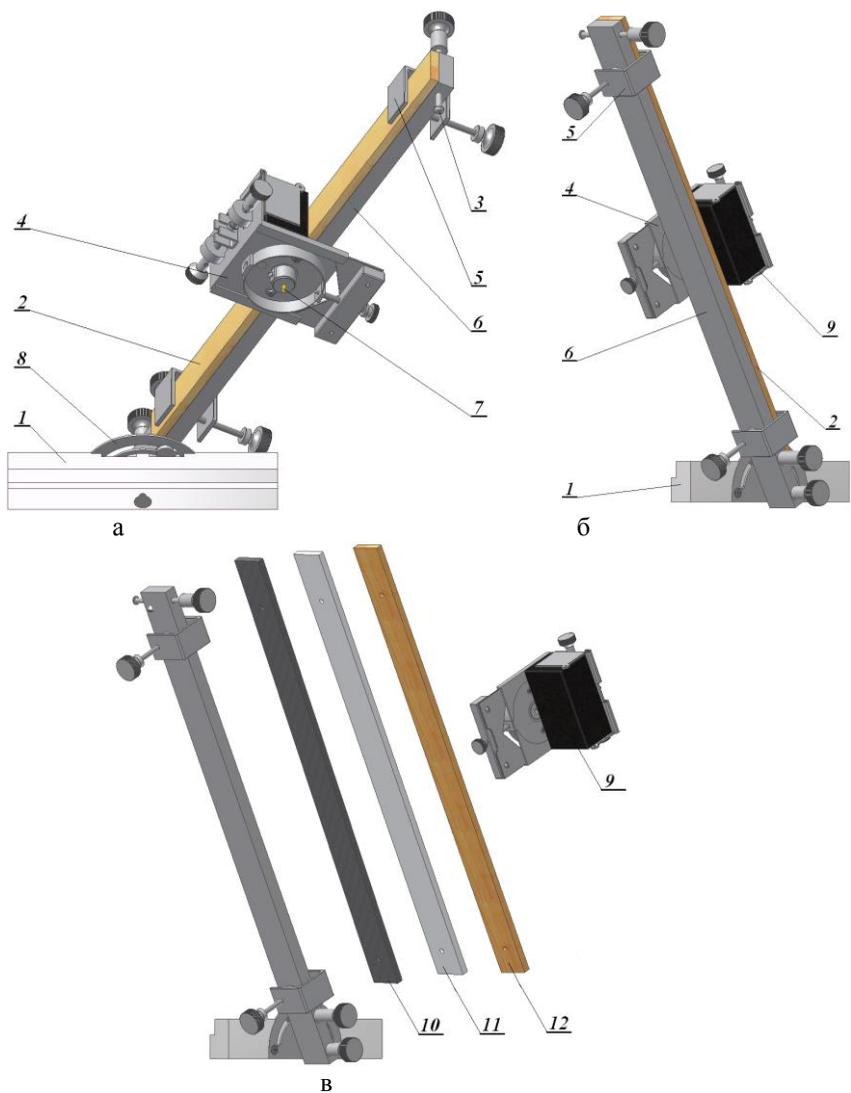


Рисунок 2.3 – Общий вид прибора В.А. Желиговского для определения коэффициента трения скольжения:  
 а) – вид снизу; б) – вид сверху; в) – набор сменных линеек и каретка с испытуемым материалом; 1 – колодка; 2, 10, 11, 12 – линейка сменная; 3 – ползок; 4 – каретка; 5 – струбцина; 6 – линейка основная; 7 – устройство пишущее; 8 – направляющая; 9 – материал испытуемый

Сняв каретку с прибора, проводят направление линейки и восстанавливают перпендикуляр к этому направлению из точки пересечения с траекторией движения каретки (рисунок 2.4).

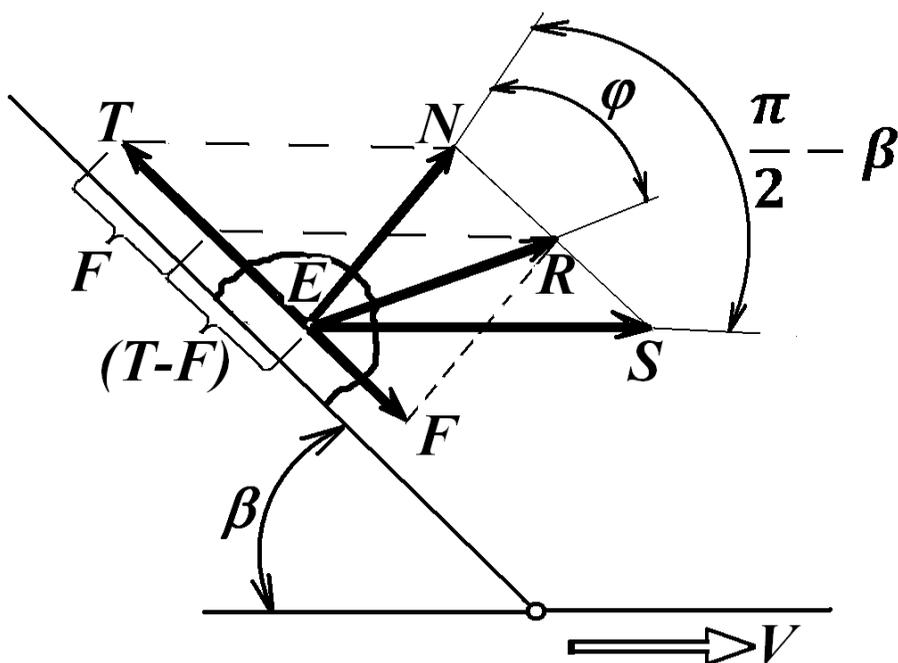


Рисунок 2.4 – Схема сил при работе прибора В.А. Желиговского

В соответствии с (2.1) коэффициент трения скольжения можно определить по формуле

$$f = \operatorname{tg} \varphi = \frac{NR}{EN}$$

Однако расчет можно упростить следующим образом. На проведенном перпендикуляре (направление силы  $N$ ) откладывают отрезок длины 100 мм и в его конце восстанавливают перпендикуляр  $МК$  (рисунок 2.5). Угол  $МСК$  будет равен углу трения  $\varphi$ , следовательно:

$$f_c = \frac{MK}{100} = \operatorname{tg} \varphi_c \quad (2.5)$$



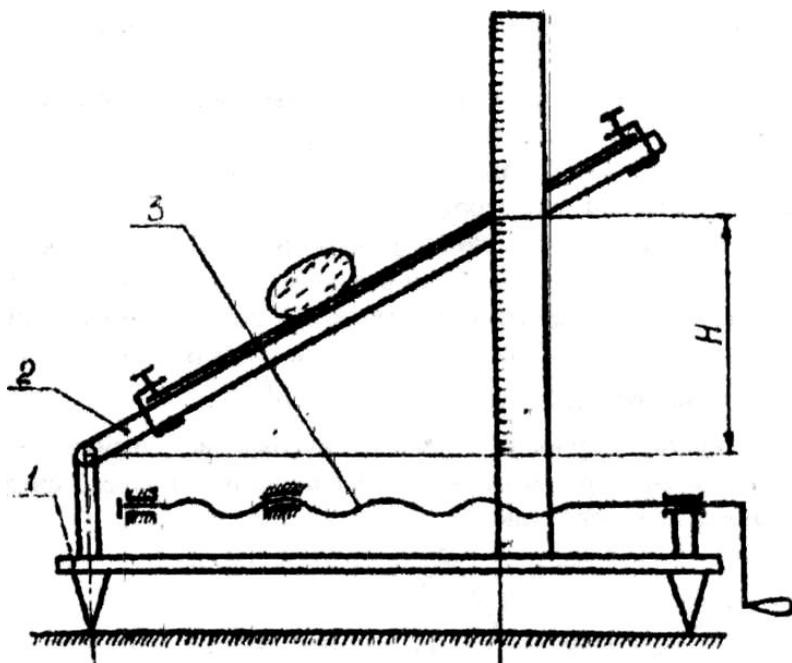


Рисунок 2.6 – Прибор для определения коэффициента трения покоя: 1 - плита горизонтальная; 2 - плоскость наклонная; 3 – винт

- снять каретку с прибора, провести направление линейки и восстановить к этому направлению перпендикуляр в точке пересечения с траекторией движения каретки (см. рисунок 2.5). На проведенном перпендикуляре или траектории каретки отложить отрезок  $СК = 100$  мм и в его конце восстановить перпендикуляр  $МК$ . Угол между нормалью и траекторией каретки будет углом трения скольжения  $\varphi_c$  ;

- измерить длину противоположного катета  $МК$ ;

- подсчитать значение коэффициента трения скольжения по формуле

$$f_{ci} = \operatorname{tg} \varphi_{ci} = \frac{МК}{100}, \quad (2.6)$$

опыт провести в пятикратной повторности;

- дать доверительную оценку результатов измерений коэффициента трения скольжения  $f_c$  ;

- определить значение угла трения скольжения, как

$$\varphi_c = \operatorname{arctg} f_c ; \quad (2.7)$$

- результаты замеров и вычислений записать в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты опытов

Трущиеся пары	Номер опыта	$\beta$	(МК) <sub>i</sub>	$f_{ci}$	$f_c$	$f_{ci} - f$	$(f_c - f)^2$	$S_{f_c}$	$\Delta f_c$	$f_c \pm \Delta f_c$	$\varphi_c$
	1										
	2										
	3										
	4										
	5										

При определении коэффициента трения покоя:

- закрепить струбциной на наклонной плоскости 2 пластину из исследуемого материала и, вращая рукоятку винта 3, установить плоскость 2 в положение, близкое к горизонтальному;
- положить на исследуемую пластину испытываемый материал;
- плавно вращая рукоятку винта, увеличивать наклон плоскости 2 до момента начала скольжения исследуемого материала;
- измерить длину  $H$  противолежащего катета прямоугольного треугольника  $ABC$  и длину  $L$  прилежащего катета;
- подсчитать коэффициент трения покоя по формуле

$$f_{ni} = tg\beta_i = \frac{H_i}{L}, \quad (2.8)$$

опыт повторять в пятикратной повторности для каждой трущейся пары;

- дать доверительную оценку значений коэффициента трения покоя  $f_n$ ;
- определить угол трения покоя по зависимости

$$\varphi = arctgf_{\Pi} \quad (2.9)$$

Результаты измерений и вычислений записать в таблицу 2.2. При обработке результатов измерений необходимо использовать выражения (1) - (5) (с.3 - 4).

Таблица 2.2 – Результаты опытов

Трущиеся пары	Номер опыта	$L$ , мм	$H_i$	$f_{ni}$	$f_n$	$f_{ni} - f_n$	$(f_i - f_n)^2$	$S_{f_n}$	$\Delta f_y$	$f_y \pm \Delta f_y$	$\varphi_n$
	1										
	2										
	3										
	4										
	5										

## 5. Содержание отчета:

Краткое содержание работы.  
Схемы и описание приборов.  
Формулы и необходимые расчеты.  
Таблицы 2.1 и 2.2.  
Выводы и предложения.

### **Вопросы и задания для самостоятельной работы**

1. Пояснить, что называют углом трения и показать графически.
2. Дать обоснование равенству  $f = tg \varphi$ .
3. Рассказать принцип действия прибора определения коэффициента трения скольжения академика В.А. Желиговского.
4. Пояснить методику определения коэффициента трения скольжения прибором академика В.А. Желиговского.
5. Пояснить и дать графическую интерпретацию влияния типа почвы на коэффициент трения скольжения.
6. Пояснить и дать графическую интерпретацию влияния влажности почвы на коэффициент трения скольжения.
7. Отметить способы снижения трения скольжения.
8. Пояснить на схеме возникновение действующей силы.

### **Работа 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТВАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПЛУЖНОГО КОРПУСА**

Как любая сельскохозяйственная машина или орудие плуг состоит из рабочих и вспомогательных органов а также механизмов регулирования. К рабочим органам плуга относят корпус плуга, предплужник, нож и почвоуглубитель. Корпус плуга основной рабочий орган плуга выполняющий основную часть технологического процесса вспашки т.е. подрезание основной части пласта его крошение с последующим его оборота.

## Типы корпусов плугов

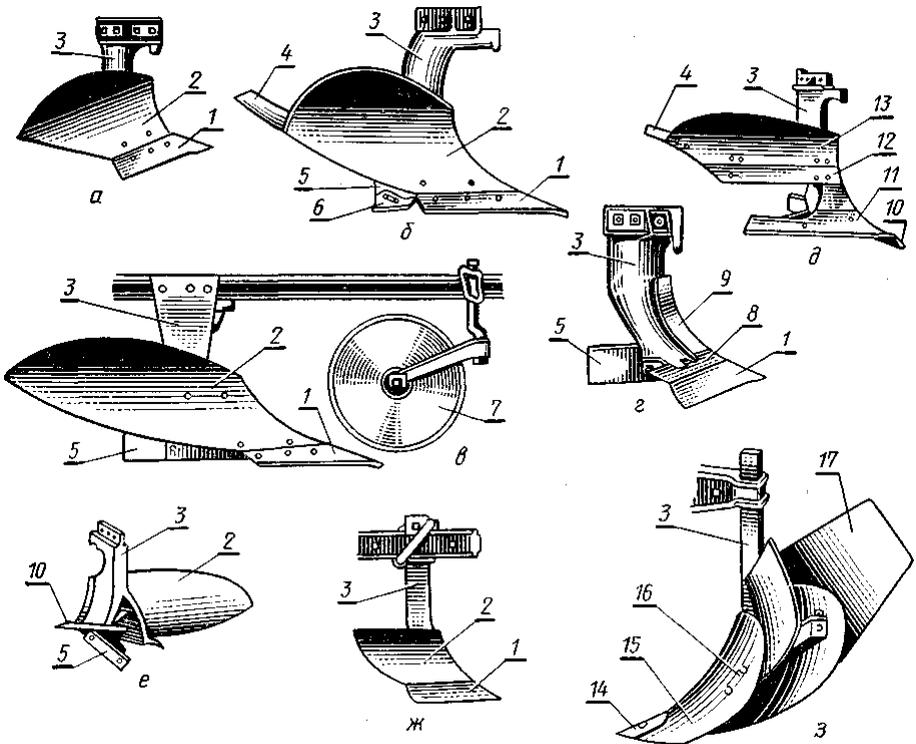


Рисунок 3.1. Разновидности лемешно-отвальных корпусов:

*а* - культурный; *б* - полувинтовой; *в* - винтовой; *г* - безотвальный (рыхлительный); *д* - вырезной; *е* - с выдвигаемым долотом; *ж* - предплужник; *з* - окучник; *1* - лемех; *2* - отвал; *3* - стойка; *4* - перо; *5* - полевая доска; *6* - пятка полевой доски; *7* - дисковый нож; *8* - уширитель; *9* - щиток; *10* - долото; *11* - лемех нижний; *12* - лемех верхний; *13* - отвал вырезной; *14* - наральник; *15* - лемех окучника; *16* - отвал окучника; *17* - крыло окучника.

. Многие рабочие органы почвообрабатывающих машин имеют криволинейную рабочую поверхность. Например, поверхность лемешно-отвальных корпусов плуга представляет цилиндроид.

Академик В.П. Горячкин в своем труде «Земледельческая механика» показал, что, несмотря на чрезвычайные разнообразия рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий геометрическая форма каждого из них сводится к клину (Рис 3.2).

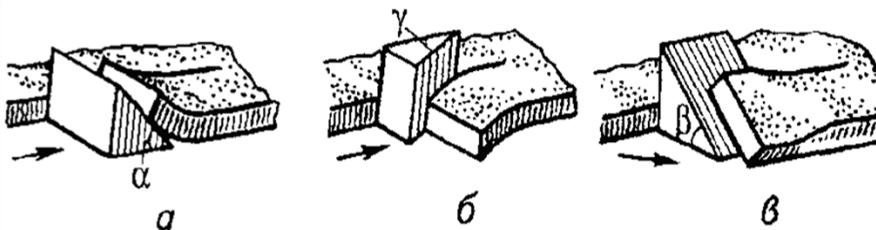


Рисунок 3.2. Взаимодействие двухгранных клиньев с почвой:  
 а- клин крошения; б – клин сдвига; в – клин оборота(кручения)

Он также показал что, существует такой клин который совмещает в себе технологические свойства трех разнодействующих элементарных клина(Рис. 8) и повышает его эффективность за счёт их совместного воздействия. Это – **косой трехгранный клин** (Рис. 9) и он характеризуется теми же **углами  $\alpha$ ,  $\gamma$  и  $\beta$**  и следовательно обладает технологическими свойствами всех трёх элементарных клиньев в совокупности и их совместного воздействия.

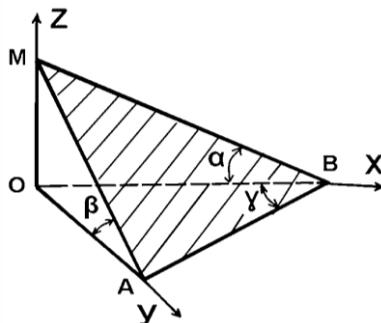


Рисунок 9 - Трехгранный косой клин  
 $\alpha$  – угол крошения;  $\beta$ - угол оборота;  $\gamma$  – угол сдвига.

По типу(геометрической форме) рабочей поверхности корпуса плугов различают (Рис.10) культурные, полувинтовые и винтовые. Культурная рабочая поверхность обеспечивает хорошее крошение и удовлетворительный оборот пласта. Полувинтовая поверхность обеспечивает удовлетворительное крошение и хороший оборот пласта. Винтовая поверхность обеспечивает неудовлетворительное крошение с полным( $180^\circ$ ) оборотом пласта.

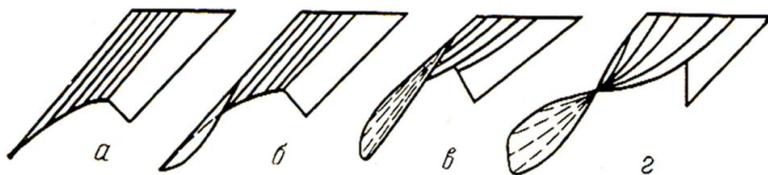


Рисунок 10 - Типы рабочих поверхностей корпусов плугов

а)  $\Delta\gamma = 0^\circ$  - цилиндрическая; б)  $\Delta\gamma = 2...7^\circ$  - культурная;

в)  $\Delta\gamma = 7...15^\circ$  - полувинтовая; г)  $\Delta\gamma > 15^\circ$  - винтовая.

Для построения таких поверхностей необходимо иметь ряд характеристик: форму и параметры направляющей кривой, положение плоскости, в которой расположены эти кривые, закон изменения углов наклона образующих поверхности к вертикальной плоскости, совпадающей со стенкой борозды.

В зависимости от этих характеристик рабочие поверхности корпусов плугов подразделяются на цилиндрические, культурные, винтовые, полувинтовые, для скоростной пахоты. Тип поверхности определяет ее способность выполнять технологические операции по обработке почвы, например, крошащую и оборачивающую способности плужных корпусов.

При разработке новых рабочих поверхностей почвообрабатывающих орудий нередко возникает в процессе исследования необходимость изменять характеристики этих поверхностей, добиваясь желаемого эффекта их взаимодействия на почвенный пласт. Для снятия характеристик экспериментальных образцов рабочих поверхностей используют метод, обратный проектированию – профилирование поверхностей.

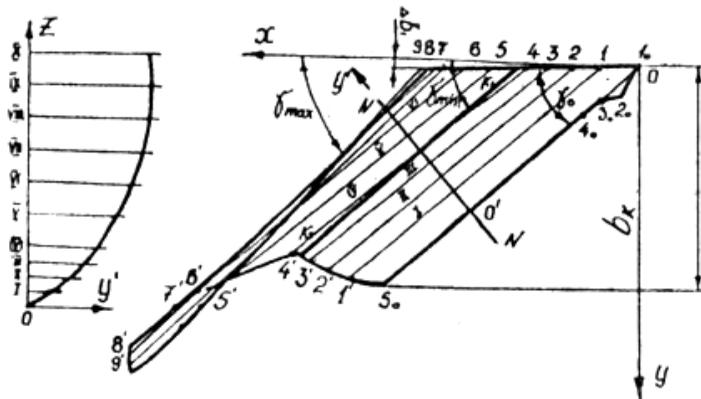


Рисунок 11 – Горизонтальная проекция и направляющая кривая рабочей поверхности корпуса.

Цилиндроидальная поверхность описывается (рис. 12, а) движением прямолинейной горизонтальной образующей EF по направляющей кривой BC, расположенной в плоскости N, перпендикулярной лезвию лемеха АВ, с

заданной закономерностью изменения угла  $\gamma$  образующей EF со стенкой борозды XOZ. Закономерность изменения угла  $\gamma$  выражается некоторой функцией  $\gamma = f(z)$ , где  $z$  - координата расположения образующей над горизонтальной плоскостью XOY.

На рисунке 12 представлена закономерность  $\gamma = f(z)$  для стандартных корпусов: культурного (рис. 12,б) и полувинтового (рис. 12,в). Углы  $\gamma$  сначала уменьшаются от  $\gamma_0$  до  $\gamma_{min}$ , что необходимо для облегчения подъема пласта на грудь отвала и устранения задириания его бороздным обрезом. После перехода через линию стыка лемеха с отвалом углы  $\gamma$  возрастают: в культурных отвалах по выпуклой (рис. 12, б), а в полувинтовых по вогнутой (рис. 12, в) кривой. В результате рабочая поверхность культурного отвала получает хорошо крошащую грудь с малой кривизной (для уменьшения вероятности залипания), а рабочая поверхность полувинтового отвала - большой подворот крыла, что обуславливает большую оборачивающую способность.

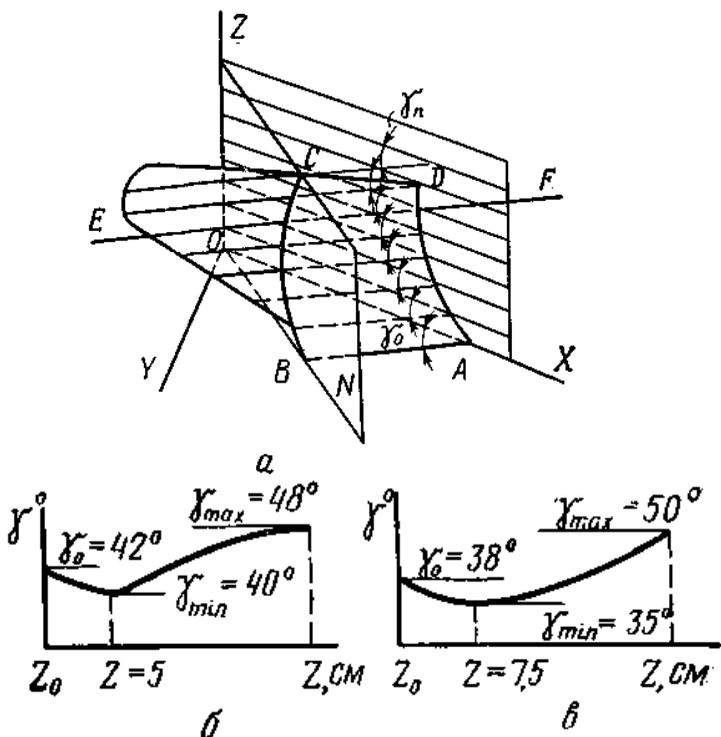


Рисунок 12 - Цилиндроидальная рабочая поверхность:

а - схема образования; б и в - закономерности изменения угла  $\gamma$  в зависимости от высоты расположения образующей  $z$  для культурной (б) и полувинтовой (в) поверхностей.

**Винтовая рабочая поверхность** плужного корпуса фактически состоит из двух плавно переходящих одна в другую поверхностей: поверхности груди и поверхности крыла отвала. Поверхность груди отвала образуется вращением и одновременно с ним поступательным перемещением образующей BC (рис. 13, а) относительно направляющей ВВГ, которая прямолнейна и лежит в плоскости дна борозды, располагаясь параллельно стенке борозды на расстоянии ширины захвата  $b$  от нее. При этом образующая располагается в поперечно-вертикальных плоскостях (перпендикулярных дну и стенке борозды). Таким образом, геометрическая форма груди отвала зависит от формы образующей и соотношения поступательной и вращательной скоростей ее движения.

Большую роль в процессе образования винтовой поверхности играет соотношение поступательной и вращательной скоростей движения образующей (шаг винта), которое может быть выражено графиком изменения угла ее поворота по длине отвала  $\beta = F(L)$ . Исследования показали, что при постоянном шаге винта (рис. 13, б) удельное давление на поверхность отвала непостоянно: на груди больше, чем на крыле

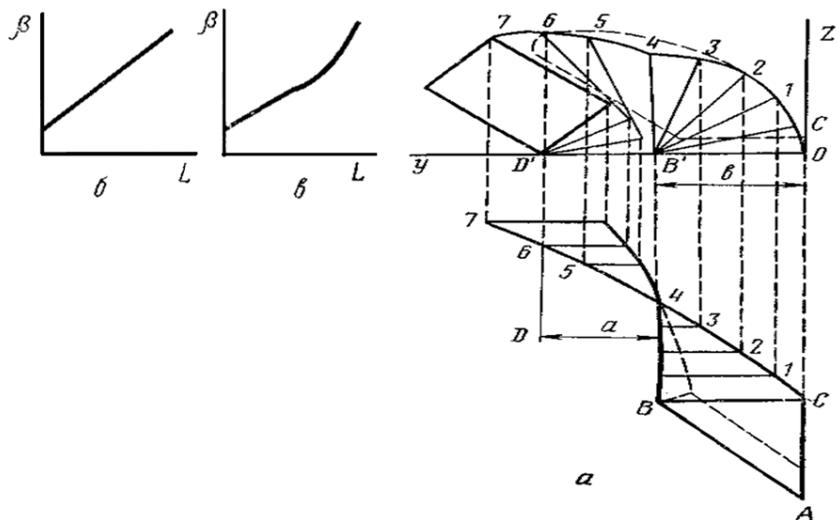


Рисунок 13 - Винтовая рабочая поверхность:

$a$  - схема образования;  $b$  и  $в$  - закономерности изменения угла поворота  $\beta$  образующей по длине  $L$  отвала при постоянном шаге винта ( $b$ ) и при шаге винта, уменьшающемся на крыле отвала ( $в$ ).

## Задание для выполнения лабораторной работы

### Вопросы входного контроля.

1. Назвать рабочие органы плуга и отметить их назначение.
2. Рассказать технологический процесс работы корпуса.
3. Назвать типы рабочих поверхностей корпусов и отметить их особенности.
4. Назвать рабочие части корпуса и отметить их назначение.
5. Рассказать технологический процесс работы предплужника.
6. Назвать рабочие части предплужника.
7. Рассказать назначение и процесс работы дискового ножа.
8. Рассказать назначение и процесс работы черенкового ножа.
9. Отметить отличия процесса работы полувинтового и винтового корпусов от культурного корпуса.
10. Пояснить, какова наиболее приемлемая форма рабочих органов почвообрабатывающих машин.
11. Назвать типы корпусов плугов по конструктивному исполнению.
12. Назвать типы корпусов плугов по геометрической форме рабочей поверхности.

**1. Общие сведения.** Многие рабочие органы почвообрабатывающих машин имеют криволинейную рабочую поверхность. Например, поверхность лемешно-отвальных корпусов плуга представляет цилиндроид.

Для построения таких поверхностей необходимо иметь ряд характеристик: форму и параметры направляющей кривой, положение плоскости, в которой расположены эти кривые, закон изменения углов наклона образующих поверхности к вертикальной плоскости, совпадающей со стенкой борозды.

В зависимости от этих характеристик рабочие поверхности корпусов плугов подразделяются на цилиндрические, культурные, винтовые, полувинтовые, для скоростной пахоты. Тип поверхности определяет ее способность выполнять технологические операции по обработке почвы, например, крошащую и оборачивающую способности плужных корпусов.

При разработке новых рабочих поверхностей почвообрабатывающих орудий нередко возникает в процессе исследования необходимость изменять характеристики этих поверхностей, добиваясь желаемого эффекта их взаимодействия на почвенный пласт. Для снятия характеристик экспериментальных образцов рабочих поверхностей используют метод, обратный проектированию – профилирование поверхностей.

**Содержание работы.** Определить координаты определенных точек отвальной поверхности корпуса плуга, построить ее горизонтальную проекцию, определить минимальный и максимальный углы наклона образующих поверхности и лезвия лемеха к стенке борозды, конструктивную и рабочую ширину захвата корпуса, подсчитать максимально допустимую глубину пахоты корпусом при его работе без предплужника из условия устойчивого оборота пласта. Установить тип поверхности, найти положение плоскости направ-

ляющей кривой и построить эту кривую.

**Оборудование, приборы, инструмент.** Координатмер, набор цилиндрических корпусов, миллиметровая бумага (формат А3 или А4), чертежный инструмент.

Координатмер (рисунок 3.1) состоит из установленной на раме горизонтальной плиты 1 с нанесенной на ней стомиллиметровой сеткой, суппорта 2 с вертикальной стойкой 3, по которой перемещается ползун 4 с продетой в его пазу горизонтальной линейкой 5. Миллиметровые шкалы на передней кромке плиты 1, линейке 5 и стойке 3 позволяют определять положение точек рабочих поверхностей в прямоугольной пространственной системе координат.

Установить корпус плуга на плиту координатмера, совместив носок лемеха с началом координат и расположив конец полевой доски на оси  $Ox$  (рисунок 3.2). Если носок лемеха долотообразный, то под концы полевой доски и лезвия лемеха необходимо подложить подкладки, обеспечив параллельность лезвия плите координатмера.

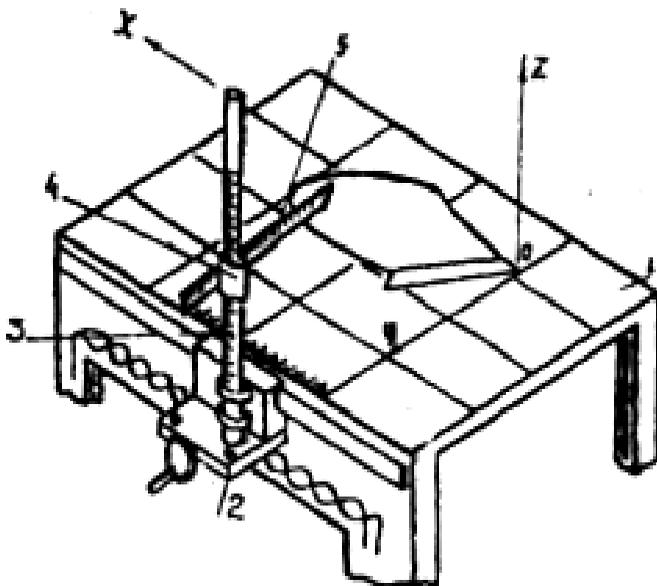


Рисунок 3.1 – Координатмер:

1 - плита горизонтальная; 2 - суппорт; 3 - стойка вертикальная; 4 - ползун; 5 - линейка горизонтальная

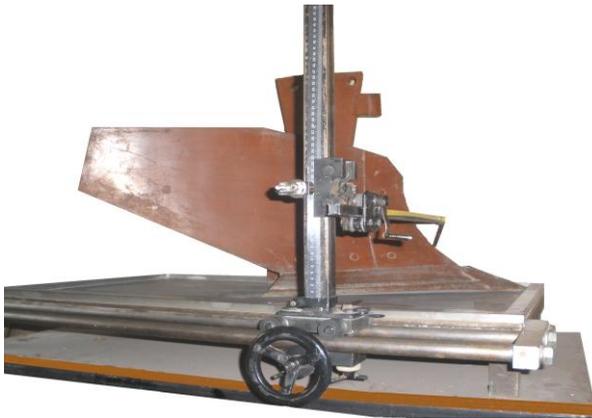


Рисунок 3.2 – Положение корпуса на координатомере

### Порядок выполнения работы

Нанести на рабочую поверхность корпуса следы горизонтальных секущих плоскостей через 25 мм на лемехе, через 50 мм на отвале и пронумеровать их римскими цифрами. Левые по ходу корпуса концы прямых считать точками 1, 2, 3 и так далее, а правые – 1, 2, 3 и т.д.

Совмещая конец горизонтальной линейки 5 с соответствующими точками, определить их координаты  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  и результаты занести в таблицу 3.1.

Построить на миллиметровой бумаге в масштабе 1:5 горизонтальную проекцию рабочей поверхности (рисунок 3.3).

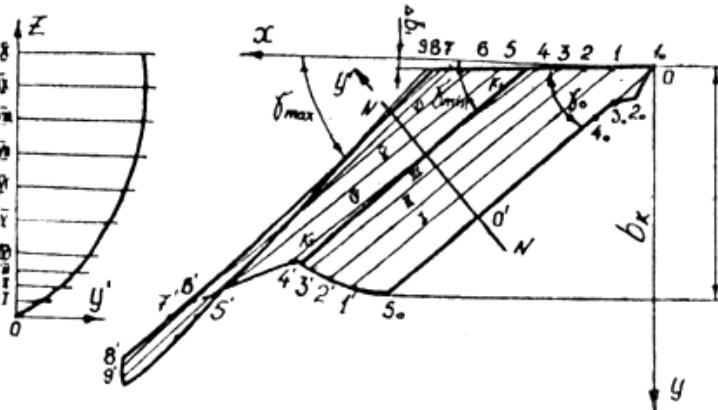


Рисунок 3.3 – Горизонтальная проекция и направляющая кривая рабочей поверхности корпуса

По горизонтальной проекции рабочей поверхности корпуса вычертить

лобовую и профильную проекции.

На горизонтальной проекции нанести сечения продольно-вертикальными и поперечно-вертикальными плоскостями.

По точкам пересечения следов продольно-вертикальных и поперечно-вертикальных плоскостей построить на лобовую проекцию кривые, доказывающие характер изменения углов  $\alpha$ , а на профильной проекции – кривые, показывающие характер изменения углов  $\beta$  [1, с. 282].

Определить углы наклона к стенке борозды лезвия лемеха  $\varphi_o$ , линии стыка лемеха с отвалом -  $\varphi_{\min}$  и последней образующей, лежащей на крыле отвала  $\varphi_{\max}$ , используя формулы:

$$tg \gamma_o = \frac{Y_{5_0}}{X_{5_0}}, \quad (3.1)$$

$$tg \gamma_{\min} = \frac{Y_{K_2}}{(X_{K_2} - X_{K_1})}, \quad (3.2)$$

$$tg \gamma_{\max} = \frac{(Y_{n_2} - Y_{n_1})}{(X_{n_2} - X_{n_1})}. \quad (3.3)$$

В последней формуле координаты точек, помеченные индексом n, соответствуют последней образующей крыла отвала.

Таблица 3.1 – Результаты измерений

Образующие характерные линии и точки	Номер	Координаты точек			$\gamma$
		X	Y	Z	
Лезвие лемеха*	1 <sub>0</sub>				
	2 <sub>0</sub>				
	3 <sub>0</sub>				
	4 <sub>0</sub>				
	5 <sub>0</sub>				
I	1				
	1'				
II	2				
	2'				
III	3				
	3'				
IV	4				
	4'				
Стык лемеха с отвалом	K <sub>1</sub>				
	K <sub>2</sub>				
V	5				
	5'				
И т.д. до n-й образующей					
Верхняя точка полевого обреза	A				
Переход от верхнего обреза к правому	B				
Наивысшая точка верхнего обреза	C				

\*Если лемех трапециевидальной формы, то достаточно измерить координаты двух точек лезвия (носка и конца).

По полученным значениям углов  $\gamma_0$ ,  $\gamma_{\min}$ ,  $\gamma_{\max}$  установить тип отвальной поверхности, используя таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Типы отвальных поверхностей

Тип отвальной поверхности	Значение углов, град		
	$\gamma_0$	$\gamma_0 - \gamma_{\min}$	$\gamma_{\max} - \gamma_0$
Культурная	40 – 45	1 – 3	2 – 8
Полувинтовая	35 – 40	2 – 4	8 – 15
Для скоростной вспашки	32 – 38	7	2

Определить конструктивную ширину захвата корпуса как  $B_K = Y_{5_0}$  (как для долотообразного лемеха) или  $B_K = Y_2$  (для трапециевидального лемеха) и подсчитать длину лезвия лемеха, как

$$l = \frac{l_K}{\sin \gamma_0} \quad (3.4)$$

Построить направляющую кривую, которая находится в вертикальной плоскости, перпендикулярной лезвию лемеха, и проходит через конец лезвия лемеха для полувинтовых поверхностей и на расстоянии  $2\frac{l}{3}$ , считая от носка корпуса, для культурных поверхностей.

Для построения направляющей кривой (см. рисунок 3.2) необходимо:

- провести след NN плоскости направляющей кривой на горизонтальную проекцию корпуса;
- провести координатные оси OZ и OY' (ось OY' лежит в плоскости, перпендикулярной лезвию лемеха, а начало координат O' находится на лезвии лемеха), на оси Z отложить высоту расположения образующих, а затем из полученных точек провести прямые, параллельные оси OY' (следы горизонтальных секущих плоскостей на плоскости N);
- измерить в направлении следа NN расстояния от лезвия лемеха до горизонтальных проекций образующих и отложить эти отрезки на соответствующих следах горизонтальных плоскостей в координатах Y'OZ;
- полученные точки соединить плавной линией, которая и будет искомой направляющей кривой.

Установить рабочую ширину захвата корпуса, учитывая, что  $B_p < B_k$ , так как на многокорпусных плугах корпуса устанавливают с перекрытием 20 – 40 мм. На отечественных плугах общего назначения устанавливают корпуса с рабочей шириной захвата 30, 35 и 40 см. С учетом этого величина перекрытия будет равна

$$\Delta B = B_K - B_P, \quad (3.5)$$

где за  $B_P$  принимается ближайшее к  $B_K$  одно из вышеуказанных значений рабочей ширины захвата.

Подсчитать, исходя из условия устойчивого оборачивания пласта, максимально возможную глубину пахоты исследуемым корпусом по выражению

$$a = \frac{B_P}{k}, \quad (3.6)$$

где  $a$  - глубина пахоты;

$k$  - коэффициент соотношения поперечного сечения поднимаемого корпусом пласта.

Критическое значение коэффициента  $k \approx 1,27$ . Для устойчивого оборота пласта необходимо принимать  $k$  больше критического значения (рекомендуется 1,30 – 1,35).

Результаты замеров и расчетов занести в таблицу 3.3.

Содержание отчета:

- Краткое содержание работы.
- Таблицы 3.1 и 3.2.
- Выполненные на миллиметровой бумаге в масштабе 1:5 проекции корпуса плуга с нанесенными основными линейными и угловыми размерами (согласно таблице 3.3), направляющая кривая и график изменения угла  $\gamma$  по оси Z (согласно таблице 3.1).

Таблица 3.3 – Параметры рабочей поверхности корпуса

$\gamma_0$ , град	$\gamma_{\min}$ , град	$\gamma_{\max}$ , град	Тип от- вальной поверхно- сти	$B_K$ м	$B_P$ м	$\Delta B$ м	$l$ м	Высота полевого обреза, мм	Высота корпуса, мм

### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Назвать основные свойства косоугольного клина.
2. Назвать разновидности клиньев и их взаимодействие с почвой.
3. Изобразить косоугольный клин и отметить характеризующие его углы.
4. Изобразить зависимость и изменения угла  $\gamma$  для культурной поверхности.
5. Изобразить зависимость изменения угла  $\gamma$  для полувинтовой поверхности.
6. Отметить особенность изменения угла  $\gamma$  рабочей поверхности предплужника.
7. Пояснить особенности полувинтовой и винтовой рабочих поверхностей в

отличие от культурной.

8. Отметить технологические особенности культурной, полувинтовой и винтовой рабочих поверхностей.

9. Пояснить процесс развития рабочей поверхности плоского клина в криволинейную рабочую поверхность.

10. Отметить технологические свойства и классификацию применяемых рабочих поверхностей.

11. Изобразить схему сил, действующих на почвенную частицу при взаимодействии с клином.

12. Пояснить влияние угла установки рабочей грани клина на его работу.

13. Пояснить на примере методики определения угла крошения.

14. Пояснить на примере методики определения угла оборота.

15. Пояснить особенности рабочих поверхностей скоростных корпусов.

16. Назвать способы уравнивания вертикальных составляющих сил реакции почвы на корпус.

17. Назвать способы уравнивания поперечных составляющих сил реакции почвы на корпус.

#### **Работа 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ПОДЪЕМА НАВЕСНОГО ПЛУГА**

Навесные и полунавесные плуги и другие машины и орудия агрегатируются с тракторами через навесную систему. Навесная система (Рис.4.1) обеспечивает управление плугом и передачи ему тяговое усилие трактора для выполнения вспашки.

В зависимости от требований к выполнению технологического процесса различают две схемы настройки механизма навески трактора: 1 - схема трехточечного механизма навески (Рис. 4.2); 2 - схема двухточечного механизма навески (Рис. 4.3). Трехточечную схему механизма навески рекомендуется при работе трактора с навесными машинами большой ширины захвата и требующие движение без поперечных колебаний. Двухточечную схему навески следует применять при работе с навесными плугами или другими машинами, имеющими длинную базу.

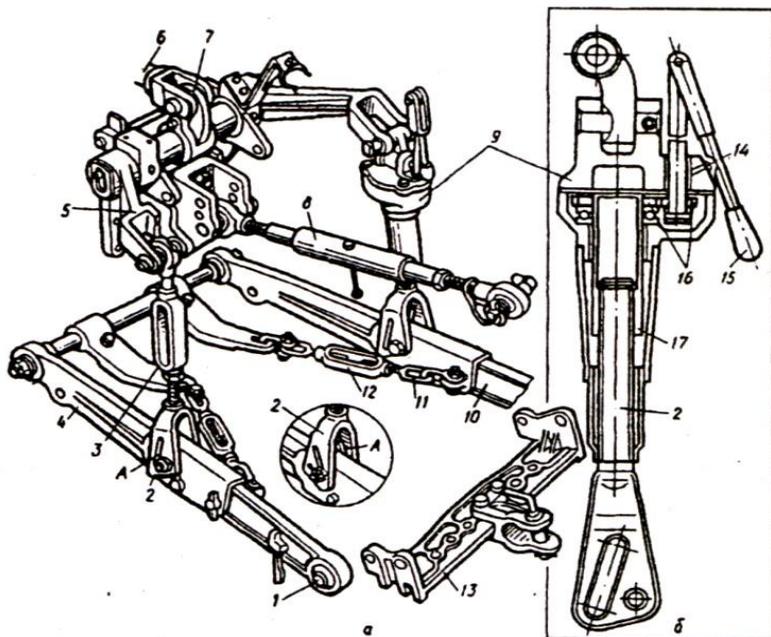


Рисунок 4.1 - Заднее навесное устройство универсально-пропашных тракторов: а – устройство; б – регулируемый раскос; 1 – сферический (шаровой) шарнир; 2 – вилка раскоса; 3 – левый раскос; 4 – продольная тяга; 5 – подъемный рычаг; 6 – шток гидроцилиндра; 7 – поворотный рычаг; 8 – центральная тяга; 9 – редуктор регулируемого раскоса; 10 – удлинитель; 11 – ограничительная цепь; 12 – стяжка цепи; 13 – прицепное устройство; 14 – масленка; 15 – рукоятка; 16 – шестерни; 17 – труба раскоса.

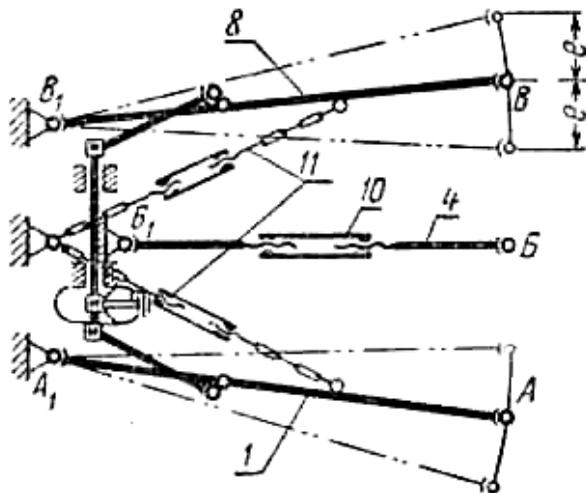
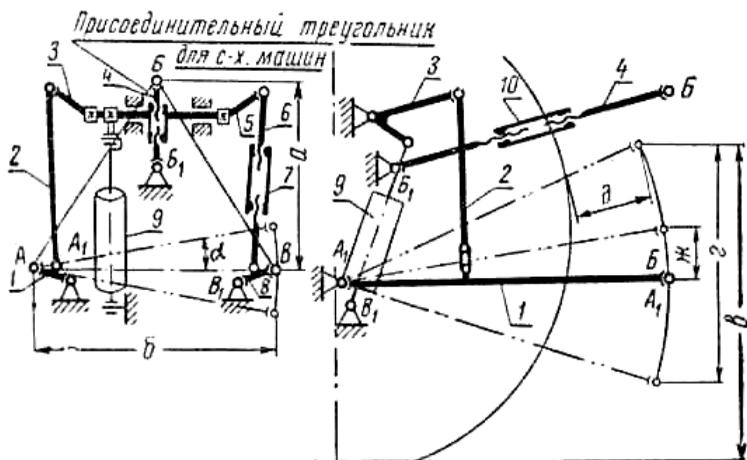


Рисунок 4.2 - Схема трехточечного механизма навески:

1 и 2 – левая и правая продольные тяги; 2 и 6 – левый и правый раскосы; 3 и 5 – левый и правый подъемные рычаги; 4 – центральная тяга; 7 – регулировочное устройство; 9 – силовой цилиндр; 10 – регулировочное устройство центральной тяги; 11 – блокировочные цепи.

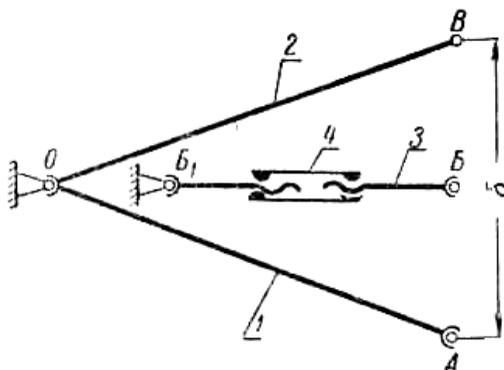


Рисунок 4.3- Схема двухточечного механизма навески:

1 и 2 – левая и правая продольные тяги; 3 – центральная тяга; 10 – регулировочное устройство центральной тяги.

Размеры звеньев механизма навески и их положение существенно влияют на процессы заглупления и перевода плуга в транспортное положение, а также на возникающие усилия в его звеньях. Поэтому при агрегатировании плуга или другой сельскохозяйственной машины с трактором целесообразно обеспечить оптимальный режим работы навесной системы т.е. равные значения усилия в штоке гидроцилиндра в начале и в конце процесса перевода его из рабочего в транспортное положение. Такой режим работы навесной системы обеспечивает оперативный перевод плуга или машины в транспортное положение, работу навесной системы без перегрузки и уменьшению сил в его звеньях. С этой целью при агрегатировании конкретной марки плуга по данным инструкции устанавливают определенную длину левого раскоса навесной системы, что обеспечивает оптимальный режим её работы. Горизонтальность рамы плуга в поперечной плоскости настраивают регулируемым раскосом. В продольной плоскости горизонтальность рамы плуга устанавливают изменением длины центральной тяги механизма навески.

### **Задание для выполнения лабораторной работы**

#### **Вопросы входного контроля**

1. Рассказать правила настройки плуга на заднюю глубину пахоты.
2. Назначение и устройство гидронавесной системы трактора.
3. Дать понятие рычага Жуковского.
4. Как регулируется горизонтальность рамы в поперечно-вертикальной плоскости?
5. Как регулируется горизонтальность рамы в продольно-вертикальной плоскости?
6. Какие функции выполняет опорное колесо?

**Общие сведения.** Размеры звеньев механизма навески и их положение существенно влияют на процессы заглупления и перевода плуга в транспортное положение, а также на усилия в звеньях. Определение усилий в звеньях механизмов навески удобно производить графоаналитическим способом. Для этого необходимо вычертить в масштабе схему механизма с действующими на него силами и построить повернутый на  $90^\circ$  план скоростей точек, в которых приложены эти силы. Затем, составив условия равновесия плана скоростей под действием внешних сил относительно его полюса ( $\sum M_p = 0$ ), определить неизвестные силы.

**Содержание работы.** Определить графоаналитическим методом усилие в штоке гидроцилиндра навески при подъеме навесного плуга.

**Оборудование и инструмент.** Лабораторная установка с однокорпусным навесным плугом, оборудованная гидравлическим механизмом подъема и манометром; рулетка, линейка, угольник, угломер.

**Порядок выполнения работы.** Поднять плуг в заданное преподавателем положение и установить под носок лемеха деревянный брусок соответствующего размера.

Определить размеры звеньев и их положение согласно рисунку 4.1. Результаты замеров занести в таблицу 4.1.

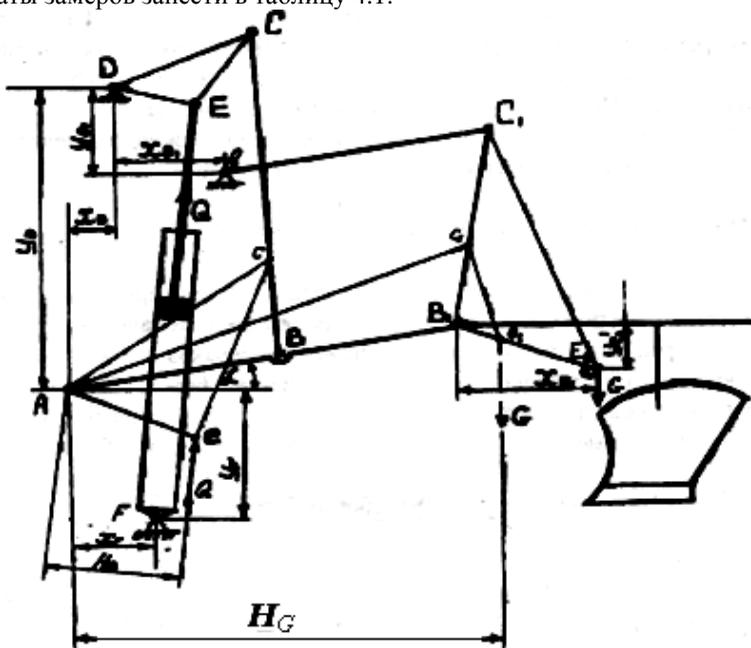


Рисунок 4.1 – Схема определения усилия в штоке гидроцилиндра

Таблица 4.1 – Исходные данные

Измеряемая величина	AB	AB <sub>1</sub>	BC	CD	DE	EF	B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	$\alpha$
Значение, мм									
Измеряемая величина	X <sub>D</sub>	Y <sub>D</sub>	X <sub>D1</sub>	Y <sub>D1</sub>	X <sub>F</sub>	Y <sub>F</sub>	X <sub>E1</sub>	Y <sub>E1</sub>	G, H
Значение, мм									

На листе миллиметровой бумаги (формат А3) в масштабе 1:5 построить схему навесного плуга. Построить наложенный на схему плуга план скоростей, повернутый на 90°. За полюс плана скоростей принять точку А.

Если принять масштаб плана скоростей равным  $\omega$ , то скорости точек В и В<sub>1</sub> будут представлены отрезками АВ и АВ<sub>1</sub>. Скорость точки С можно определить, решая графически следующие уравнения:

$$\begin{aligned}\overline{V}_C &= \overline{V}_B + \overline{V}_{CB}, \\ \overline{V}_C &= \overline{V}_D + \overline{V}_{CD}\end{aligned}\quad (4.1)$$

Так как  $\overline{V}_{CB} \perp BC$  и  $\overline{V}_{CD} \perp CD$ , то для определения скорости точки С на повернутом на 90° плане следует из точки А провести прямую, параллельную CD, до пересечения с BC. Отрезок AC будет представлять скорость точки С. Для нахождения скорости точки Е на отрезке AC построить треугольник, подобный  $\Delta CDE$ .

Скорость точки С<sub>1</sub> определяют аналогично скорости точки С. Для определения скорости точки Е<sub>1</sub> соединить её с точками В<sub>1</sub> и С<sub>1</sub> и на стороне В<sub>1</sub>С<sub>1</sub> построить треугольник, подобный  $\Delta B_1C_1E_1$ .

Поместить в точки е и е<sub>1</sub> силы Q и G. Пользуясь правилом рычага Н.Е. Жуковского, определить Q:

$$Q = \left( \frac{H_G}{H_Q} \right) \cdot G, \quad (4.2)$$

где H<sub>G</sub> и H<sub>Q</sub> – плечи сил G и Q относительно полюса плана скоростей.

Масса плуга задается преподавателем.

Опустить плуг, убрать брусок. Поднять плуг в заданное положение и записать показания манометра. По давлению в гидросистеме рассчитать усилие Q', развиваемое гидроцилиндром:

$$Q' = P \cdot F, \quad (4.3)$$

где F - площадь гидроцилиндра.

Сравнить полученное значение с расчетным:

$$\varepsilon_Q = \frac{Q' - Q}{Q} 100\% \quad (4.4)$$

Результаты занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Параметры режима работы механизма навески

Определяемая величина	P, МПа	Д, мм	F, мм <sup>2</sup>	Q', Н	ε <sub>Q</sub> , %
Значение					

### Содержание отчета

Содержание работы.

Результаты замеров (см. таблицу 4.1).

Схема механизмов плуга и рычага Жуковского.

Расчеты произвести для трех положений: а) при ходе штока  $O_{MM}$  (рабочее положение); б) при ходе штока 0,5 выхода (середина подъема); в) при полном выходе штока (конец подъема). По результатам построить график

$$Q = \gamma(h_{шт})$$

Результаты экспериментального определения усилия, развиваемого гидроцилиндром, и сравнение его с расчетным (см. таблицу 4.2).

### Вопросы выходного контроля

1. Назвать условие равновесия навесного плуга.
2. Сущность применения рычага Жуковского для определения усилий в механизме навески.
3. Для чего и в каком масштабе строится план положений механизма навески?
4. Пояснить зависимость между графиком изменения усилий на штоке гидроцилиндра подъема навески и её регулировками.
5. С какой целью определяется усилие на штоке гидроцилиндра в разных положениях подъема?
6. На что влияет место крепления опорного колеса?
7. Показать схемой направление действия силы на обод колеса при смятии почвы.

## Работа 5. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗВЕНА ЗУБОВОЙ БОРОНЫ

### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Назвать типы зубовых борон и отметить их назначение.
2. Назвать агротребования к боронованию и зубовым боронам.
3. Рассказать устройство и конструктивные особенности зубовых борон.
4. Перечислить способы агрегатирования зубовых борон.
5. Назвать типы рабочих органов зубовых борон и отметить их конструктивные особенности.
6. Объяснить процесс работы зуба бороны: *a* – круглого, *b* – квадратного, *в* – овального, *г* – в виде стрелчатой лапки, *д* – ножевидного, *e* – пружинного.

**Общие сведения.** Жесткие зубовые бороны применяют преимущественно для рыхления верхних слоев почвы после вспашки или культивации, разрушения глыб и корки, уничтожения сорняков, а также для заделывания семян и удобрений при разбросном посеве. Бороны бывают легкие, средние и тяжелые. Это деление определяется нагрузкой на зуб от массы бороны. Основные параметры зубовых борон приведены в таблице 5.1, а основные формы зубьев – на рисунке 5.1.

При расстановке зубьев на раме бороны необходимо учитывать следующие требования:

- каждый зуб должен проводить самостоятельную борозду;
- борозды по всей ширине захвата должны находиться на равных одна от другой расстояниях;
- для обеспечения устойчивого хода бороны сила тяги должна проходить через след центра тяжести.

Таблица 5.1 – Основные параметры зубовых борон

Тип бороны	Междурядье $a$ , мм	Глубина хода, мм	Нагрузка на 1 зуб $q, Н$	Тяговое сопротивление на 1 зуб $P_0, Н$	Расстояние между рядами зубьев, мм		Длина зуба, мм	Сечение зуба
					$h$	$h_1$		
Тяжелая	50-75	75-125	16-20	40-50	300-450	150-300	150-300	Квадратное
Средняя	40-55	40-75	12-15	20-25	250-350	150-250	100-200	Квадратное
Легкая	25-35	20-40	6-10	10-15	200-300	100-200	100-150	Круглое

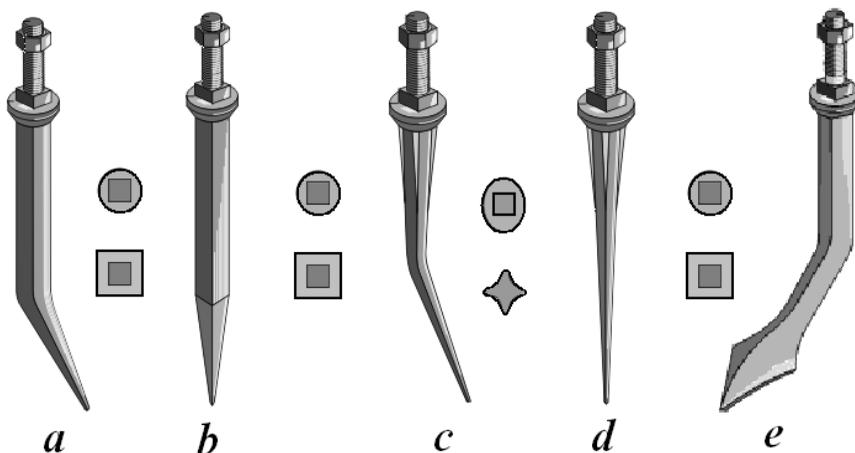


Рисунок 5.1 – Формы зубьев:

а) и б) – квадратные; в) – овальный; д) – конусный; е) – стрелчатая лапка

## Задание для выполнения лабораторной работы

**Содержание работы.** Построить схемы размещения зубьев и условия равновесия звена зубовой бороны типа «зигзаг» (рис 5.2), определить форму рамы, конструктивные и технологические параметры звена бороны.

Исходные данные:  $a$  – ширина междуурядья;  $M$  – количество поперечных планок;  $N$  – количество продольных планок;  $R$  – количество ходов основного винта;  $h$  – расстояние между поперечными планками;  $q$  – нагрузка на 1 зуб;  $P_0$  – тяговое сопротивление 1 зуба;  $l$  – длина 1 зуба. Варианты исходных данных приведены в таблице 5.2.

**Порядок выполнения.** Приведенные выше требования к положению зубьев могут быть выполнены при размещении их на развертке многоходового винта (основного и дополнительного) в точках пересечения винтовых линий с образующими цилиндра, расположенными на одинаковом расстоянии друг от друга. Для построения зубового поля необходимо следующее.



Рисунок 5.2 – Звено зубовой бороны «зигзаг»

На листе миллиметровой бумаги (формат А4) нанести образующие 1-1, 2-2 и т.д. в количестве  $(M+1)$ , расположив их на расстоянии  $h$  друг от друга (рисунок 5.3).

Определить шаг винта

$$b = M \cdot a \quad (5.1)$$

Определить ход основного винта

$$t = b \cdot k \quad (5.2)$$

Определить число ходов дополнительного винта

$$k_1 = M - k \quad (5.3)$$

Определить ход дополнительного винта

$$t_1 = b - k \quad (5.4)$$

На образующей 1-1 отложить отрезки  $AB = t$  и  $BC = t_1$ , разделив их на соответствующую количество частей, равных  $b$ .

Из точки В восстановить перпендикуляр ВД в точку Д пересечения его с образующей 1' - 1' и соединить точку Д с точками А и С. Прямые АД и СД представляют развертку винтовых линий основного и дополнительного винтов. Вправо и влево от точки Д провести ряд наклонных прямых, параллельных АД и СД и удаленных друг от друга на расстоянии  $b$ . Общая ширина зубового поля при этом должна быть не менее  $(N+1)$ . Зубовое поле, построенное на  $M+1$  образующих, представляет полную развертку винта, в которой верхняя образующая 1' - 1' повторяет 1 - 1. Поэтому  $M$  планок должны быть расположены на  $M$  образующих.

Таблица 5.2 – Исходные данные для проектирования звена зубовой борны

Вариант	Тип борны	k	M	N	h, мм	a, мм	q, Н/зуб	Po, Н/зуб	Z, мм
1	Легкая	3	5	4	200	25	9	12	100
2	Легкая	2	5	5	300	35	8	10	100
3	Тяжелая	3	5	5	325	50	18	45	150
4	Тяжелая	2	5	4	375	60	20	50	200
5	Средняя	3	5	5	250	40	12	22	140
6	Средняя	2	5	4	275	45	15	25	175
7	Легкая	3	5	6	300	25	7	12	125
8	Легкая	2	5	6	275	30	8	15	150
9	Средняя	3	5	5	275	40	14	24	175
10	Средняя	2	5	4	300	50	13	25	200
11	Тяжелая	3	5	4	450	75	20	45	250
12	Тяжелая	2	5	5	400	70	18	47	275
13	Легкая	3	5	6	300	30	9	15	125
14	Легкая	2	5	5	250	25	10	15	100
15	Средняя	3	5	5	350	45	13	21	125
16	Тяжелая	2	5	5	400	55	20	45	300
17	Тяжелая	3	5	4	450	70	17	48	250
18	Легкая	2	5	6	275	25	8	12	120
19	Легкая	3	5	5	225	30	10	14	125
20	Тяжелая	2	5	4	425	60	16	45	250
21	Тяжелая	3	5	5	400	55	18	49	225
22	Средняя	2	5	6	325	50	15	24	175
23	Средняя	3	5	5	300	40	14	23	200
24	Легкая	2	5	6	300	25	6	11	130
25	Легкая	3	7	5	250	30	7	14	140
26	Тяжелая	3	7	5	400	50	20	50	200
27	Тяжелая	5	7	4	350	60	18	45	225
28	Легкая	4	7	6	250	25	7	12	125
29	Легкая	2	7	5	275	30	9	15	150
30	Средняя	3	7	6	250	40	12	20	150

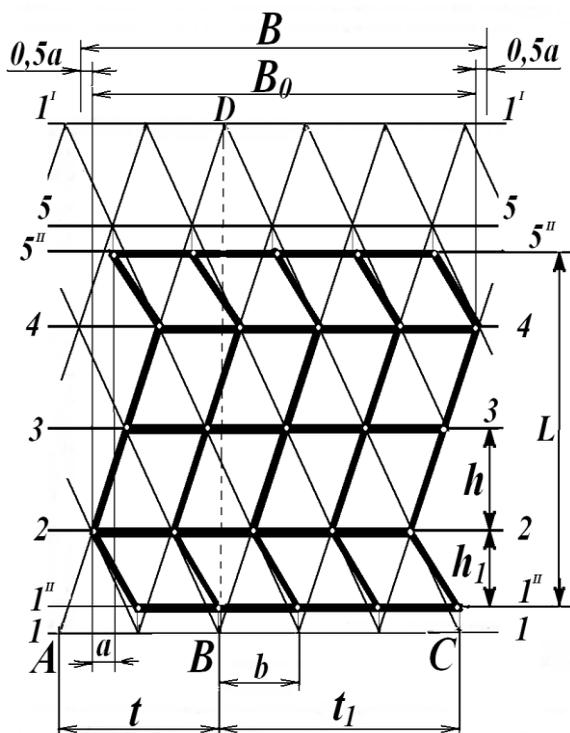


Рисунок 5.3 – Схема размещения зубьев

Построить контур звена бороны, располагая среднюю часть продольных зигзагообразных планок между 2-й и 4-й образующими *только* вдоль развертки винта с меньшим ходом. Для проверки правильности выбора формы звена необходимо спроектировать на образующую 1 – 1 все точки пересечения поперечных планок с одной из продольных, т.е. точки, в которых должны быть закреплены зубья бороны. Если по одному следу проходит только один зуб и все бороздки удалены друг от друга на одинаковые расстояния, равные между собой  $a$ , то форма звена соответствует поставленным требованиям. Зубья на крайних поперечных планках не склонны к забиванию растительными остатками. Поэтому для уменьшения габаритов бороны они могут быть приближены к средним до расстояния  $h_1$  (см. таблицу 5.1). Для этого необходимо провести дополнительные образующие 1'' – 1'' и 5'' – 5'' на расстоянии  $h_1$  (см. рисунок 5.3) и спроектировать на них точки расположения зубьев с 1-й и 5-й образующих. Таким образом, зубья, расположенные на крайних планках, оказываются смещенными с развертки винтовой линии.

Определить конструктивные размеры звена. Конструктивную ширину захвата можно определить по зависимости

$$B_o = (Z - 1) \cdot a, \quad (5.5)$$

где  $Z = MN$  - число зубьев.

Ширина захвата В бороны будет  $B = B_o + a$ .

Длина L звена бороны

$$L = \frac{h + h_1}{2} (M - 1) \quad (5.6)$$

Для устойчивого хода необходимо, чтобы линия тяги проходила через след центра тяжести бороны (рисунок 5.4). Это условие обеспечивается при

$$\alpha = \arctg(2l/L) \quad (5.7)$$

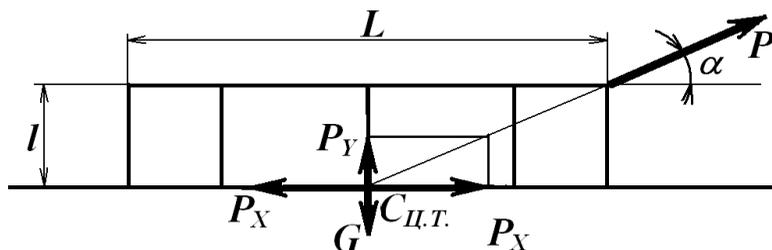


Рисунок 5.4 – Схема определения равновесия зубовой бороны

Тогда требуемая нагрузка на зуб будет обеспечена при массе звена бороны

$$G = q \cdot z + P_o \cdot z \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (5.8)$$

Содержание отчета.

Содержание работы.

Исходные данные с указанием варианта.

Расчеты, необходимые для проектирования звена.

Контур звена бороны со всеми промежуточными построениями (на листе миллиметровой бумаги формата А4).

Определение основных параметров звена бороны ( $B_o$ ,  $B$ ,  $L$ ,  $\alpha$ ,  $G$ ) и схемы действия сил (см. рисунок 5.4).

#### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Пояснить процесс взаимодействия зуба бороны с почвой.
2. Перечислить основные требования, предъявляемые к зубovým боронам.
3. Изложить методику построения зубового поля и дать его характеристику.
4. Объяснить процесс настройки зубовой бороны для равномерного хода зубьев по глубине.
5. Назвать способы регулирования глубины обработки зубowymi боронами.
6. Пояснить основные свойства бороны.
7. Объясните, почему у звена бороны две ширины.

### **Список основной литературы**

1. Капустин В.П. Сельскохозяйственные машины : Учебное пособие / В.П. Капустин, Ю.Е. Глазков – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. – 280с. (Высшее образование: Бакалавриат). (ЭБС Инфра-М).
2. Капустин В.П. Сельскохозяйственные машины. Настройка и регулировка [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.П. Капустин, Ю.Е. Глазков. - Тамбов : Изд-во Тамб. Гос. Ун-та. 2010. – 196 с.

### **Список дополнительной литературы**

1. Максимов И.И. Практикум по сельскохозяйственным машинам / И.И. Максимов, И.И. Максимов. – Санкт-Петербург, Москва, Краснодар. 2015. – 416с.
2. Бельтюков Л.П. Сельскохозяйственные машины: теория, расчет, конструкция, использование / Л.П. Бельтюков, Н.А. Вахрушеев, А.С. Ерешко, В.Г. Шурупов. – зерноград.: АЧГАА. 2013.- 680с.
3. Клёнин Н.И. Сельскохозяйственные машины/ Н.И. Клёнин, С.Н. Киселев, А.Г. Левшин. – М.: КолосС, 2008. – 816с.
4. Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины./ В.М. Халанский, И.В. Горбачев. - М.: КолосС, 2006. – 624с.
5. Кленин Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины/ Н. И. Кленин, В.А. Сакун – М.: КолосС, 1994. – 751с..
6. Кленин Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины/ Н.И. Кленин, В.А. Сакун – М.: КолосС, 1980. - 671с.

## Содержание

Введение.....	2
Строение и фазовый состав почвы .....	4
Обработка результатов измерений .....	14
Работа 1. Определение твердости и коэффициента объемного смятия почвы .....	16
Работа 2. Определение коэффициентов трения скольжения и покоя сельскохозяйственных материалов по различным поверхно- стям.....	22
Работа 3. Определение основных характеристик отвальной поверхности плужного корпуса.....	30
Работа 4. Определение усилия подъема навесного плуга.....	42
Работа 5. Проектирование звена зубовой бороны.....	48
Библиографический список.....	54

Составитель: **Головатюк Виктор Антонович**

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ**  
**ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ МАШИНЫ**

Методические указания  
к лабораторно-практическим занятиям

Печатается в авторской редакции  
Компьютерная верстка:

Подписано к печати 31 октября 2023 г.  
Объем 3,5 уч.-изд.л.      Формат 60x841/16  
Тираж 30 экз.      Изд. №52.      Заказ №

Отпечатано в мини-типографии Инженерного института НГАУ  
630039, Новосибирск, ул. Никитина, 147.