

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В АГРОБИЗНЕСЕ, ПРИРОДООБУ-  
СТРОЙСТВЕ И ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В.Н. Ожерельев

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к курсу лабораторных работ

Для студентов очного и заочного обучения по направлению бакалавриата

23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

Профиль: «Машины и оборудование природообустройства и дорожного  
строительства»

Квалификация – бакалавр

Брянск – 2018

УДК 625.08 (076)

ББК 39.311-06-5

О 45

Ожерельев, В. Н. Методические указания к курсу лабораторных работ для студентов очного и заочного обучения по направлению бакалавриата 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы, профиль: «Машины и оборудование природообустройства и дорожного строительства» / В. Н. Ожерельев. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. – 36 с.

Рецензент: к.т.н., доцент кафедры Технического сервиса В.В. Никитин.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института от 19 апреля 2018 года, протокол №9.

© Брянский ГАУ, 2018

© Ожерельев В.Н., 2018

## Оглавление

	Стр.
Введение	4
1. Экспериментальное определение механических свойств грунтов с помощью динамического плотномера	5
2. Экспериментальное определение коэффициента трения грунта по поверхностям рабочих органов	8
3. Экспериментальное определение угла внутреннего трения грунта	12
4. Экспериментальное определение напряжений сдвига между слоями глинистого грунта	17
5. Экспериментальное определение коэффициента сцепления пневматических колес с поверхностью площадки	20
6. Определение тягового сопротивления рабочего органа	23
7. Определение тангенциального усилия на рабочем органе фрезы для асфальтобетона.	27
8. Определение поперечного профиля дна массива грунта, разрыхленного зубьями рыхлителя	32
Литература	35

## **Введение**

В результате выполнения лабораторных работ обучающийся должен закрепить теоретические знания, полученные при посещении лекций и практических занятий. Наряду с этим, выполнение лабораторных работ позволяет реализовать специфические компетенции, которые затруднительно реализовать при проведении других видов учебных занятий. К ним в первую очередь, относятся:

ПК-6 способностью в составе коллектива исполнителей участвовать в разработке программ и методик испытаний наземных транспортно-технологических машин и их технологического оборудования.

ПК-7: способностью участвовать в разработке методов поверки основных средств измерений при производстве и эксплуатации наземных транспортно-технологических машин.

Таким образом, изучение дисциплины будет в полной мере соответствовать требованиям государственного образовательного стандарта.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1**

### **Экспериментальное определение механических свойств грунтов с помощью динамического плотномера**

**Цель работы** заключается в том, чтобы помочь обучающимся закрепить знания, полученные при освоении лекционного курса и выполнении расчетных заданий на практических занятиях. Кроме того, обучающиеся должны ознакомиться на практике с методикой измерения физико-механических свойств грунтов и методами статистической обработки полученных результатов.

В конечном итоге в результате выполнения лабораторной работы №1 обучающийся должен приобрести или расширить следующие компетенции:

ПК-6 способностью в составе коллектива исполнителей участвовать в разработке программ и методик испытаний наземных транспортно-технологических машин и их технологического оборудования.

ПК-7: способностью участвовать в разработке методов поверки основных средств измерений при производстве и эксплуатации наземных транспортно-технологических машин.

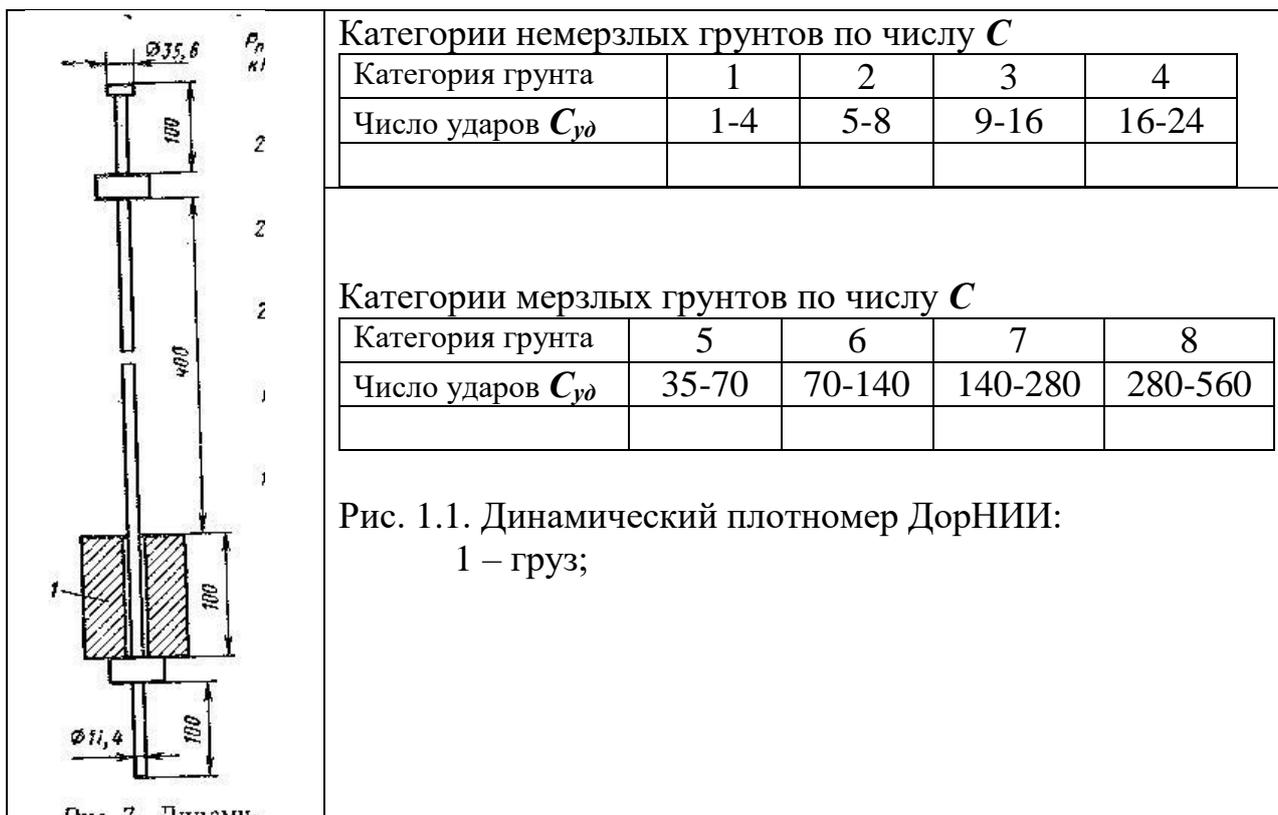
#### **Теоретическая часть**

При расчете энергоемкости взаимодействия рабочих органов с грунтом следует ориентироваться на конкретные физико-механические свойства последнего. Указанная проблема постоянно сопровождает практическую деятельность инженера при разработке строительных проектов, поскольку от категории грунта зависят не только производительность землеройных машин, их износ и затраты горючего, но и принципиальная возможность их применения. То есть, от категории грунта зависит технология его разработки, включая оптимальный состав и технические характеристики комплекса используемых машин.

Принято считать, что энергоемкость процессов резания грунта различными рабочими органами коррелирует с удельным сопротивлением вдавливания в него стального стержня. Поскольку в зону измерения включаются и мерзлые грунты, то вдавить в них стальной стержень возможно только динамическим способом, то есть – методом удара.

Для этой цели в ДорНИИ разработан динамический плотномер (рис. 1.1), который прост в конструкции и надежен в эксплуатации. Груз 1 массой 2,5 кг падает с высоты  $H=0,4$  м на буртик, производя за каждый удар работу, равную 10 Дж. Круглый наконечник площадью  $1 \text{ см}^2$  (диаметром 11,4 мм) внедряется от ударов в грунт на глубину 10 см. Число ударов ( $C_{уд}$ ), необходимое для заглубления наконечника на указанную глубину и является критерием отнесения грунта к той или иной категории по сопротивляемости разработке.

Первые четыре категории включают немерзлые грунты, четыре последних – мерзлые грунты.



**Оборудование и материалы:** плотномер конструкции ДорНИИ, учебный полигон для измерения.

## Порядок выполнения работы

1. На территории учебного полигона отметить десять точек, расположенных на расстоянии не менее пяти метров друг от друга.

2. Произвести измерения, занеся результаты  $x_i$  в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – результаты измерения  $x_i$  сопротивляемости грунта вдавливанию стального стержня

Номер опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$ ( $C_{y\delta}$ )										

3. Найти среднее значение  $\bar{x}$  числа ударов  $C_{y\delta}$ .

4. Найти среднее квадратичное отклонение  $\sigma$  результатов опыта:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}.$$

5. Найти коэффициент вариации  $V$ .

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% .$$

6. Найти относительную погрешность измерения, считая, что абсолютная погрешность  $\Delta x = 1$ . То есть, при выполнении опыта один удар может быть «лишним», либо его недостает до полного заглубления стержня в грунт.

Тогда

$$s_{\bar{x}} = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\% .$$

7. Сделать вывод о принадлежности грунта к одной из восьми стандартных категорий.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### Экспериментальное определение коэффициента трения грунта по поверхностям рабочих органов

**Цель работы.** Определение динамического и статического коэффициентов трения грунта по поверхности рабочего органа.

#### Теоретическая часть

При взаимодействии грунта с поверхностью рабочего органа возникает внешнее трение скольжения. В приближенных расчетах принято считать, что сила трения  $F$  пропорциональна силе нормального давления  $N$ . Таким образом, коэффициентом трения скольжения принято считать указанный коэффициент пропорциональности  $f$ , то есть:

$$F = f \cdot N \quad (2.1)$$

С другой стороны, коэффициент трения может быть определен как

$$f = \operatorname{tg} \varphi \quad (2.2)$$

где  $\varphi$  – угол между направлением результирующей силы нормального давления грунта на рабочую поверхность и силой трения и направлением силы нормального давления (рис. 2.1).

Следует иметь в виду, что величина коэффициента трения покоя и движения отличаются друг от друга, поэтому методики их определения также различны. Динамический коэффициент целесообразно определять, пользуясь прибором академика В.А. Желиговского (рис. 2.1). Каретка, установленная под углом  $\alpha$  к направлению перемещения  $V$  и снабженная образцом материала рабочего органа 2, контактирует с образцом грунта 3, в результате чего

коробочка или кассета с грунтом перемещается в абсолютном движении по направлению  $R$ , которое фиксируется на листе бумаги 1. Тогда искомый коэффициент должен быть определен из соотношения перемещения грунта параллельно поверхности материала 2 ( $x$ ) и его перемещению по нормали к исходному положению ( $y$ ). Для упрощения расчета принимают  $y = 100$  мм.

То есть 
$$f = \operatorname{tg} \varphi = x/100 \quad (3).$$

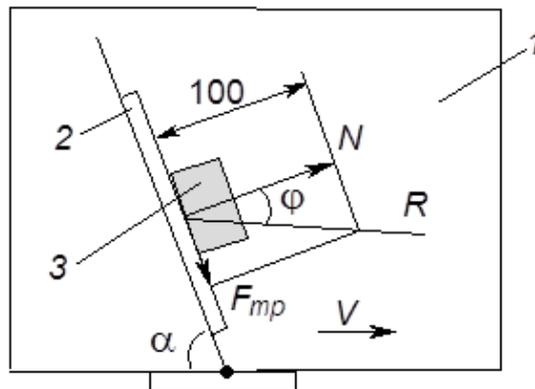


Рис. 2.1. Принципиальная схема определения коэффициента трения скольжения

Для определения коэффициента трения покоя достаточно иметь поверхность из соответствующего материала, угол наклона которой при этом можно изменять до тех пор, пока образец грунта не начинает скользить вниз (рис. 2.2).

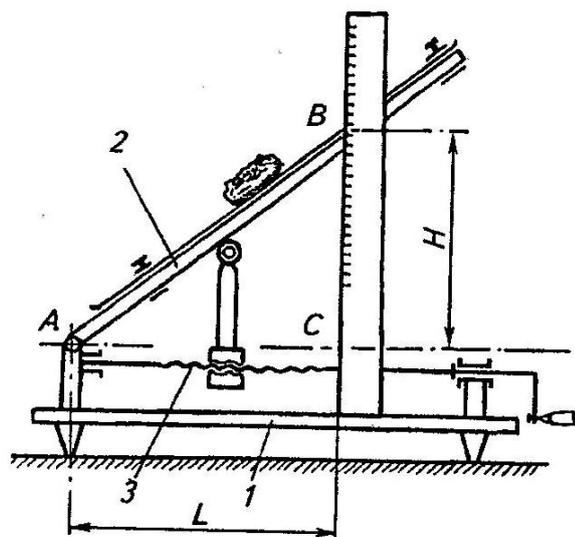


Рис. 2.2 Принципиальная схема прибора для определения коэффициента трения покоя

После этого коэффициент трения будет найден по формуле

$$F_{\text{ти}} = \operatorname{tg}\beta_i = H_i/L \quad (2.3).$$

### Порядок выполнения работы

При определении трения скольжения.

1. Изучить теоретическую часть.
2. На приборе Желиговского закрепить пластинку испытываемого материала и лист бумаги.
3. Установить каретку (линейку, подвижную часть прибора) под углом  $\alpha < \pi - \varphi_c$  ( $\varphi_c$  – ориентировочный (ожидаемый) угол трения скольжения).
4. Заполнить каретку (коробочку) исследуемым материалом и подвести ее к пластине.
5. Отметить исходное положение на бумаге и плавным движением переместить каретку вперед по направлению  $V$ .
6. Отметить траекторию движения грунта и, отложив от исходного положения перпендикулярно к пластине 100 мм, выполнить расчет искомого коэффициента по формуле 3.
7. Вычислить угол трения по формуле  $\varphi = \operatorname{arctg}f_c$ .
8. Повторить замер пятикратно и внести результаты в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты опытов по определению коэффициента трения скольжения

Трущаяся пара	№ опыта	$\alpha$ град	$x$ мм	$f_{ci}$	$f_{cp}$	$\varphi$ град
	1					
	2					
	...					
	5					

9. Сделать вывод о результате опыта.

#### Определение коэффициента трения покоя

1. Закрепить пластинку исследуемого материала.
2. Уложить на нее исследуемый образец грунта.
3. Плавно увеличить угол наклона до начала процесса скольжения грунта вниз.
4. Зафиксировать величины  $H$  и  $L$ .
5. Рассчитать коэффициент трения покоя.
6. Повторить опыт в пятикратной повторности, заносая результаты в таблицу 2.2

Таблица 2.2 – Результаты опытов по определению коэффициента трения покоя скольжения

Трущаяся пара	№ опыта	$L$ мм	$H$ мм	$f_{Pi}$	$f_{Pcp}$	$\varphi_{Pi}$ град
	1					
	2					
	...					
	5					

7. Определить угол трения покоя  $\varphi_{Pi} = \arctg f_{Pi}$ .
8. Сделать вывод о степени дифференциации величин углов трения скольжения и трения покоя.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### Экспериментальное определение угла естественного откоса и коэффициента внутреннего трения грунта

**Цель работы.** Определение угла естественного откоса и коэффициента внутреннего трения сыпучего материала (песка).

#### Теоретическая часть

Угол  $\alpha$  (рис.3.1), образованный плоскостью естественного откоса насыпного грунта с горизонтальной плоскостью, называют углом естественного откоса. Его величина зависит как от подвижности частиц грунта, так и от состояния опорной поверхности. Чем большей подвижностью обладают частицы грунта, тем меньше угол  $\alpha$ .

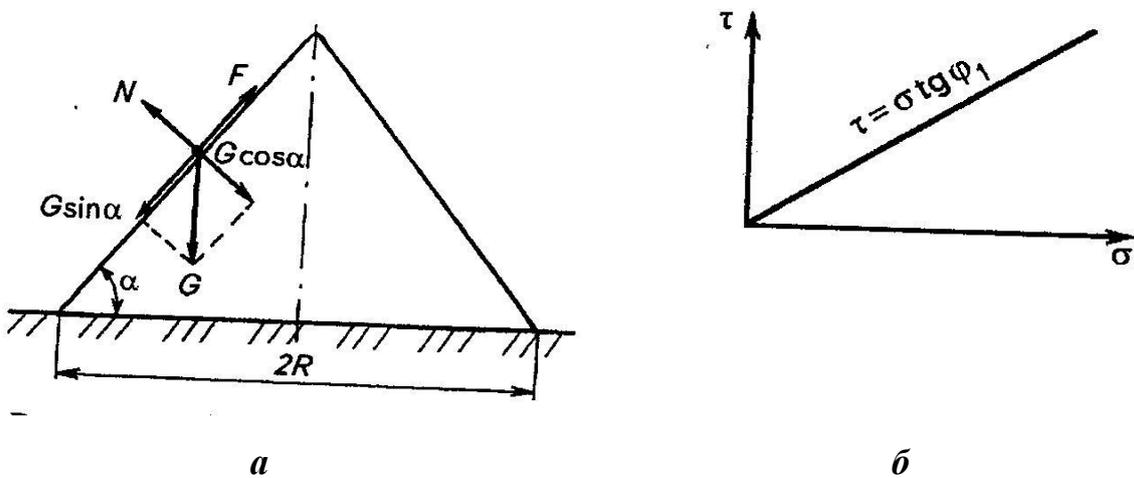


Рис. 3.1. Определение коэффициента внутреннего трения сыпучего материала: а – схема сил, действующих на частицу; б – взаимозависимость предельных напряжений

Коэффициент  $f_1$  внутреннего трения сыпучих материалов и малосвязных грунтов равен тангенсу угла естественного откоса. Любая частица на поверхности откоса (рис. 3.1а) находится в равновесии, если выполняется условие

$$G \sin \alpha = G \cos \alpha * \operatorname{tg} \varphi_1, \quad (3.1)$$

где  $\varphi_1$  – угол внутреннего трения сыпучего материала.

Следовательно,  $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi_1$ .

Для идеальных сыпучих сред в механике грунтов принято считать, что имеет место закон пропорциональности  $\tau = \sigma * \operatorname{tg} \varphi_1$  (рис. 3.1б).

Отсюда коэффициент внутреннего трения может быть определен по формуле

$$f_1 = \operatorname{tg} \varphi_1 = \tau / \sigma, \quad (3.2)$$

где  $\tau$  – предельное касательное напряжение, Па;

$\sigma$  – нормальное напряжение, Па.

Для идеальных сыпучих материалов коэффициент внутреннего трения  $\operatorname{tg} \varphi_1$  равен коэффициенту сопротивления сдвигу, который может быть определен на приборе (рис. 3.2) опытным путем.

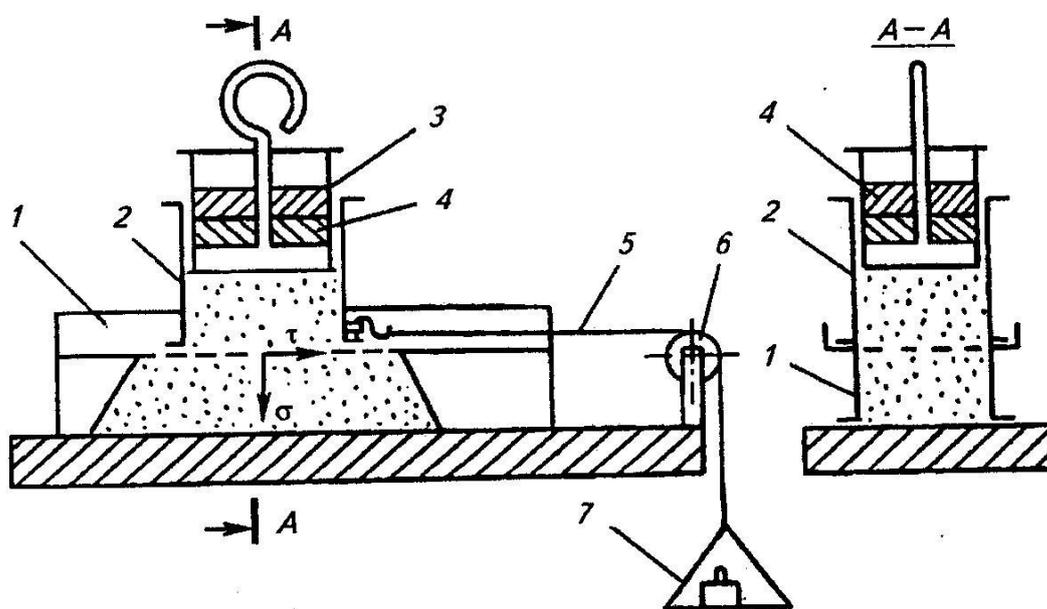


Рис. 3.2. Схема прибора для определения сопротивления сдвигу:

1 – неподвижный желоб; 2 – подвижная коробка; 3 – рамка; 4 – грузы;

5 – шнур; 6 – блок; 7 – чашка разновесов

В результате опыта нормальное напряжение определяется следующим образом (Па)

$$\sigma = G/S + h\gamma g, \quad (3.3)$$

$G$  – вес рамки и груза, Н;

$S$  – площадь сечения коробки, м<sup>2</sup>;

$h$  – высота слоя материала в коробке, м;

$\gamma$  – объемная масса грунта, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Касательное напряжение может быть найдено следующим образом (Па)

$$T = (P - W)/S, \quad (3.4)$$

где  $P$  – тяговое усилие, Н;

$W$  – сопротивление движению коробки без сыпучего материала, Н.

### Оборудование и приборы

Линейка, набор разновесов, прибор для определения угла естественного откоса (рис. 3.3) и сопротивления сдвигу (рис. 3.2).

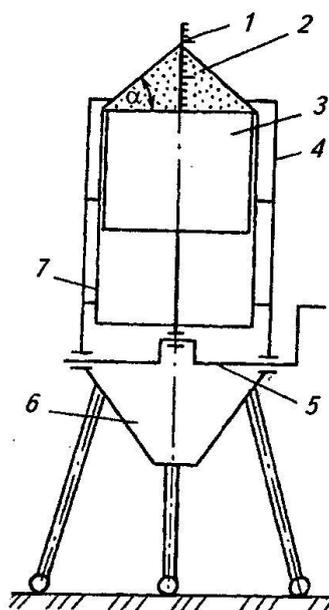


Рис. 3.3. Схема прибора для определения угла естественного откоса сыпучего материала:

1 – линейка-указатель;

2 – насыпной грунт; 3 – поршень;

4 – наружный цилиндр;

5 – кривошипный вал;

6 – круговой лоток;

7 – внутренний цилиндр

Прибор для определения угла естественного откоса работает следующим образом. Материал засыпают во внутренний цилиндр 7, когда поршень опущен в нижнее положение. При медленном вращении рукоятки кривошипного вала 5 поршень поднимается вверх и вытесняет сыпучий материал из внутреннего цилиндра, вследствие чего он ссыпается вдоль стенок наружного цилиндра 4 и через круговой лоток 6 поступает в размещенную под ним емкость. В верхнем положении поршня на его горизонтальной площадке образуется насыпь материала 2, контур которой ограничен линиями, расположенными под углом естественного откоса  $\alpha$ .

При использовании прибора, изображенного на рис. 3.2, сыпучим материалом заполняют желоб 1 до уровня направляющих. Затем на них устанавливают коробку 2, не имеющую дна, и наполняют ее наполовину тем же сыпучим материалом. На сыпучий материал устанавливают рамку 3 с грузом 4. На чашку 7, соединенную с коробкой 2 через блок 6 шнуром 5, постепенно укладывают гири до тех пор, пока коробка не начнет перемещаться по направляющим. Собственное сопротивление коробки перемещению определяют заранее, аналогичным образом. Напряжения вычисляют по формулам (3.3) и (3.4).

### Порядок выполнения работы

1. Определить искомые параметры грунта (песок), приняв заданную поверхность стальной. Повторность опытов пятикратная. Результаты записать в таблицу 3.1 и вычислить их среднее арифметические значения.

Таблица 3.1 – Опытные данные определения угла естественного откоса песка

Опорная поверхность	№ опыта	$\alpha$ , град	$\alpha_{cp}$ , град	$tg\alpha$
Сталь	1			
	...			
	5			

2. Определить коэффициент внутреннего трения песка без дополнительных грузов *Повторность опыта определения коэффициента внутреннего трения трехкратная.*

Таблица 3.2 – Определение коэффициента внутреннего трения песка без дополнительных грузов (площадь сечения коробки  $S = \dots?$ )

№ опыта	$h, \text{ м}$	$P, \text{ Н}$	$W, \text{ Н}$	$\sigma, \text{ Па}$	$\tau, \text{ Па}$	$\text{tg } \varphi_1$
1						
2						
3						

3. Определить коэффициент внутреннего трения песка с дополнительными грузами. *Повторность опыта определения коэффициента внутреннего трения трехкратная.*

Таблица 3.3 – Определение коэффициента внутреннего трения песка с дополнительными грузами

№ опыта	Груз $G, \text{ Н}$	$h, \text{ м}$	$P, \text{ Н}$	$W, \text{ Н}$	$\sigma, \text{ Па}$	$\tau, \text{ Па}$	$\text{tg } \varphi_1$
1	10						
2	10						
3	10						
1	20						
2	20						
3	20						
1	30						
2	30						
3	30						
1	40						
2	40						
3	40						

Проанализировать, зависит ли значение  $\varphi_1$  от нагрузки? Сравнить значения  $\alpha$  и  $\varphi_1$ , приведенные в таблицах 3.1, 3.2 и 3.3. Выводы сформулировать и записать.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### Экспериментальное определение напряжений сдвига между слоями глинистого грунта

**Цель работы.** Заключается в освоении обучающимися методики определения физико-механических свойств грунтов, а также в получении навыков работы с оборудованием и приборами, обработке опытных данных. Полученные в результате сведения будут способствовать лучшему восприятию обучающимися основных положений теории взаимодействия рабочих органов землеройно-транспортных машин со связными грунтами.

#### Теоретическая часть

Все связные грунты, которые преобладают как объекты воздействия рабочих органов землеройных машин, являются пластической средой, разрушаемой от касательных напряжений  $\tau$  сдвига. При этом параметрами сдвига, определяющими прочность грунта, принято считать сцепление  $C_0$  и угол внутреннего трения  $\varphi$ , которые входят в известную формулу Кулона

$$\tau = C_0 + \sigma \operatorname{tg}\varphi = C_0 + \sigma f, \quad (4.1)$$

где  $\sigma$  – нормальное напряжение к площадке сдвига;

$C_0$  – удельная сила сцепления грунта;

$f$  – коэффициент внутреннего трения.

Наиболее распространен метод определения указанных параметров связного грунта в лабораторных условиях в односрезных приборах с подвижной кареткой (рис. 4.1).

Испытанию на срез (сдвиг) подвергаются образцы грунта, выполненные в виде прямого цилиндра диаметром не менее 70 мм и высотой не менее 1/3 и не более 1/2 диаметра. Верхняя обойма догружается дополнительным грузом, а сдвигающее усилие должно нарастать со скоростью не более 0,01 мм/мин. Для обеспечения указанного режима воздействия целесообразно сдвигающее усилие обеспечивать путем постепенного увеличения силы тя-

жести (веса  $G$ ) емкости с песком, соединенной с подвижной обоймой прибора шнуром, перекинутым через блок.

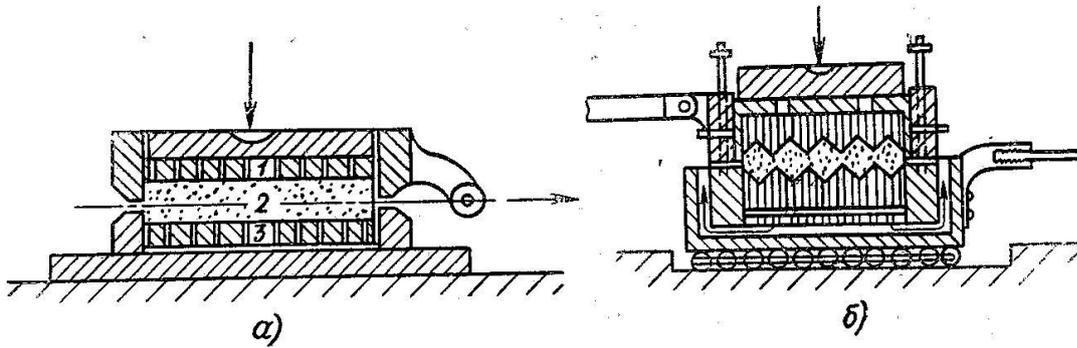


Рис. 4.1. Схема приборов для испытания грунтов на сдвиг:  
а – с верхней подвижной обоймой; б – с верхней и нижней подвижными  
обоймами;

### Порядок выполнения работы

Для определения величин  $tg\varphi$  и  $C_0$  следует производить сдвиг не менее чем при трех различных значениях  $\sigma_i$

$$\sigma_i = P_i / F, \quad (4.2)$$

где  $P_i$  – вертикальная нагрузка на образец грунта, Н;

$F$  – площадь среза образца,  $m^2$ .

Последовательность выполнения работы следующая.

1. Заранее заготовить двенадцать образцов грунта, обеспечивая по четыре повторности для каждой величины вертикального давления на образец.

2. Подобрать три груза, обеспечивающие величину  $\sigma_1 = 10 \cdot 10^4$ ,

$$\sigma_2 = 20 \cdot 10^4 \text{ и } \sigma_3 = 30 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

3. Провести двенадцать опытов, занося их результаты в таблицу 4.1.

4. Определить средние значения касательного напряжения  $\tau_{cp}$  для каждого уровня варьирования величины  $\sigma_i$ .

5. По средним значениям  $\tau_{cp}$  построить диаграмму сдвига грунта по

формуле Кулона  $\tau = f(\sigma)$  (рис. 4.2). Использовать методику построения трендов в программе Excel.

Таблица 4.1 – Результаты опытов испытания грунта на сдвиг

№ опыта	Вертикальная нагрузка $P$ , Н	$\sigma_i$ $10^4$ Па	Сдвигающая сила $G$ , Н	$\tau_i$ $10^4$ Па
1				
2				
3				
4				
Среднее				$\tau_{cp1}$
5				
6				
7				
8				
Среднее				$\tau_{cp2}$
9				
10				
11				
12				
Среднее				$\tau_{cp3}$

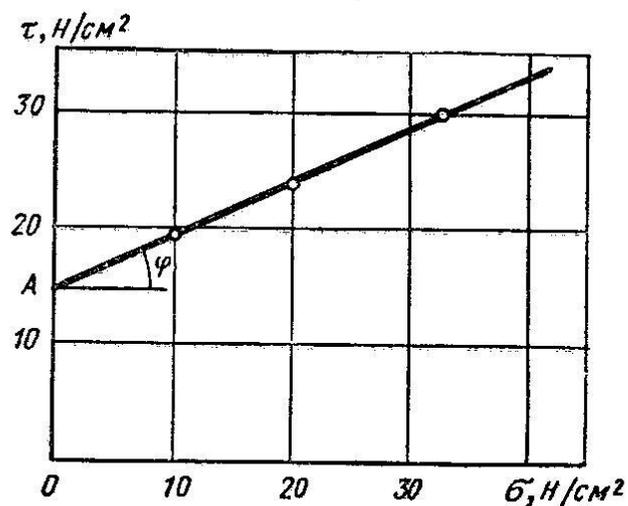


Рис. 4.2. Диаграмма сдвига грунта по формуле Кулона

6. По наклону линии тренда определить угол внутреннего трения  $\varphi$ ;
7. По высоте точки A на диаграмме (рис. 4.2) определить величину удельной силы сцепления грунта  $C_0$ .
8. Зафиксировать результаты в отчете.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### Экспериментальное определение коэффициента сцепления пневматических колес с поверхностью площадки

**Цель работы.** Усвоение обучающимися основных принципов, понятий и закономерностей, определяющих расчет тяговых усилий, развиваемых землеройными и другими дорожно-строительными машинами.

#### Теоретическая часть

Тяговое усилие  $P_m$ , развиваемое самоходными машинами, зависит от величины силы нормального давления на опорную поверхность и коэффициента сцепления контактирующего с ней движителя. То есть

$$P_m = G_в * \cos \alpha * \varphi_{сц} , \quad (5.1)$$

где  $G_в$  – вес машины, ее рабочего оборудования, транспортируемого грунта или иного материала, а также догружающей вертикальной нагрузки со стороны рабочих органов, приходящийся на мост ведущих колес (для гусеничного движителя и при исполнении всех мостов ведущими – суммарный вес машины и рабочего оборудования);

$\alpha$  – угол уклона площадки;

$\varphi_{сц}$  – коэффициент сцепления движителя с поверхностью площадки.

Величина коэффициента сцепления зависит как от типа движителя, так и от характера поверхности. Для колесных тракторов она варьируется в пределах от 0,1 ... 0,3 (глубокая грязь) до 0,8 ... 0,9 (сухой асфальт). Для гусеничных тракторов пределы варьирования величины коэффициента сцепления следующие: 0,3 ... 0,5 (глубокая грязь) и 0,8 (сухой асфальт).

#### Приборы и оборудование

Тележка с пневматическими колесами и возможностью их фиксации в заторможенном состоянии, динамометр, дополнительные грузы.

## Порядок выполнения работы

1. Взвесить порожнюю тележку, зафиксировать ее колеса в заторможенном состоянии и установить на ровную поверхность асфальтированной площадки.

2. Догрузить тележку мешком с песком весом 20 кг.

3. С помощью динамометра переместить тележку с заторможенными колесами по площадке и зафиксировать максимальное показание прибора.

Опыт выполнить в трехкратной повторности.

4. Повторить опыт с догрузкой 40 и 60 кг.

5. Выполнить вторую серию опытов на площадке с бетонным покрытием.

6. Результаты занести в таблицы 5.1 и 5.2.

7. Определить значения коэффициента сцепления в каждой повторности опыта по формуле (5.2)

$$\varphi_{сц} = P_m / (G_m + G_{зр}), \quad (5.2)$$

где  $G_m$  – вес порожней тележки, Н;

$G_{зр}$  – вес дополнительного груза, Н.

8. Определить среднее значение  $\varphi_{сц\ ср}$  в каждом опыте.

9. Определить, являются ли отличия в величине коэффициента  $\varphi_{сц\ ср}$  значимыми при различной величине дополнительного нагружения тележки  $G_{зр}$  (превышает ли различие 5% от максимального значения)?

10. Определить, являются ли отличия в величине коэффициента  $\varphi_{сц\ ср}$  значимыми при опытах на площадках с различными покрытиями?

11. Сделать выводы и объяснить полученный результат.

12. Изобразить схему опыта и оформить отчет.

Таблица 5.1 – Результаты опытов по определению величины коэффициента  $\varphi_{сц}$  на асфальтированной площадке

№ опыта	$G_{зр}, Н$	$P_t, Н$	$\varphi_{сц}$	$\Delta\varphi_{сц\ ср}, \%$
1				
2				
3				
среднее				
4				
5				
6				
среднее				
7				
8				
9				
среднее				

Таблица 5.2 – Результаты опытов по определению величины коэффициента  $\varphi_{сц}$  на бетонированной площадке

№ опыта	$G_{зр}, Н$	$P_t, Н$	$\varphi_{сц}$	$\Delta\varphi_{сц\ ср}, \%$
1				
2				
3				
среднее				
4				
5				
6				
среднее				
7				
8				
9				
среднее				

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

### Определение тягового сопротивления рабочего органа

**Цель работы.** Обучающиеся должны твердо уяснить, что усилие на рабочих органах землеройных машин зависит не только от категории грунта (определяется по методике, изложенной в лабораторной работе №1), но и от ряда других факторов, связанных с геометрическими параметрами рабочих органов.

#### Теоретическая часть

Если ориентироваться на рациональную формулу В.П. Горячкина, то сопротивление пласта почвы (грунта) деформации пропорционально площади его поперечного сечения. Аналогичной исходной гипотезы придерживается и теория взаимодействия с грунтом рабочих органов землеройных машин. Однако реальные значения удельного сопротивления варьируются в больших пределах. Так, при работе на грунтах III категории максимальное значение коэффициента удельного сопротивления копанию и рыхлению  $k_{уд}$  для рыхлителя достигает 0,44 МПа, тогда как для скрепера только 0,2 МПа.

Действительно, если исходить из одинаковой площади поперечного сечения стружки (рис. 6.1), то при уменьшении ее высоты ( $h$ ) и одновременном росте длины режущей кромки ( $l$ ) сила сопротивления  $P$  резко уменьшается (рис. 6.1). Отчасти это обусловлено тем, что при чрезмерном росте глубины хода рабочего органа степень блокирования стружки максимальна и при достижении критической глубины ( $h_{кр}$ ) процесс крошения прекращается вовсе.

Положительно влияет (до определенной степени) на величину удельного сопротивления и наличие на режущей кромке дополнительных рыхлящих зубьев (рис. 6.2). При оптимальном соотношении параметров величина удельного сопротивления может быть уменьшена на 40% (рис. 6.3).

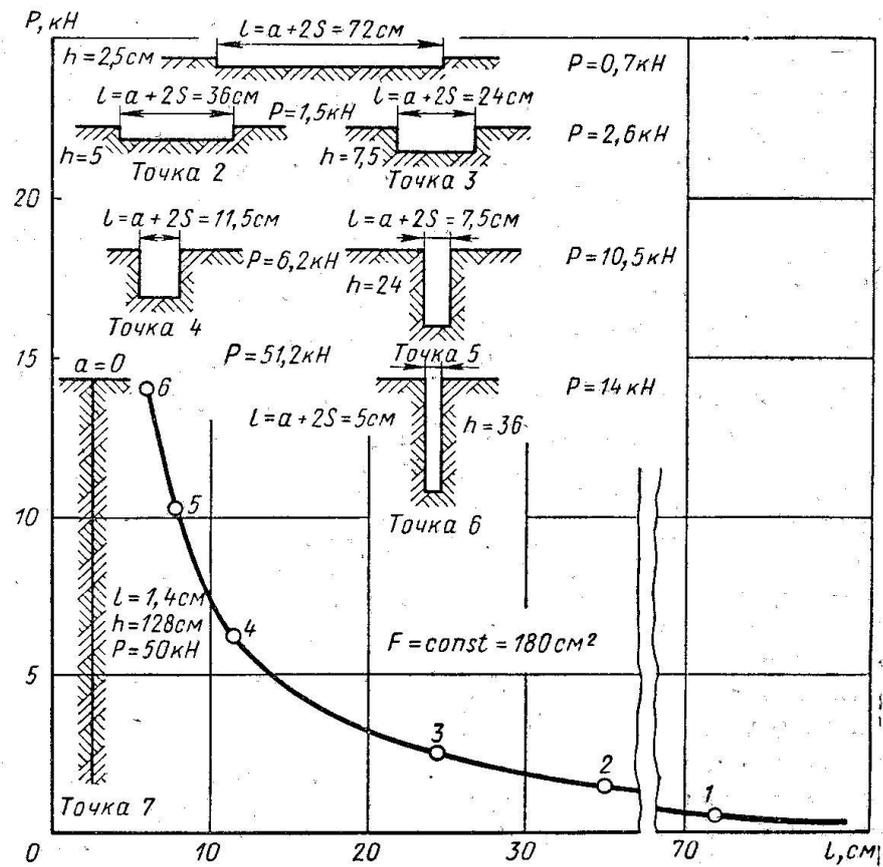


Рис. 6.1. Зависимость усилия резания от длины горизонтальной режущей кромки при снятии стружки с постоянным сечением  $F = 500 \text{ см}^2$

Таблица 6.1 – Изменение усилия резания в зависимости от степени блокирования стружки

№ схемы	Схема	Количество откры- тых стенок	Длина горизонтального профиля, м					
			0,22		0,39		0,90	
			$P_{p'}$ кН	%	$P_{p'}$ кН	%	$P_{p'}$ кН	%
1		0	$\frac{3,0}{7,0}$	$\frac{100}{100}$	$\frac{3,1}{7,4}$	$\frac{100}{100}$	$\frac{5,3}{12,5}$	$\frac{100}{100}$
2		1	$\frac{1,9}{4,5}$	$\frac{64}{64}$	$\frac{2,7}{5,5}$	$\frac{74}{75}$	$\frac{4,8}{11,3}$	$\frac{91}{91}$
3		2	$\frac{1,1}{2,4}$	$\frac{37}{34}$	$\frac{1,9}{4,1}$	$\frac{53}{56}$	$\frac{4,2}{10,0}$	$\frac{80}{79}$

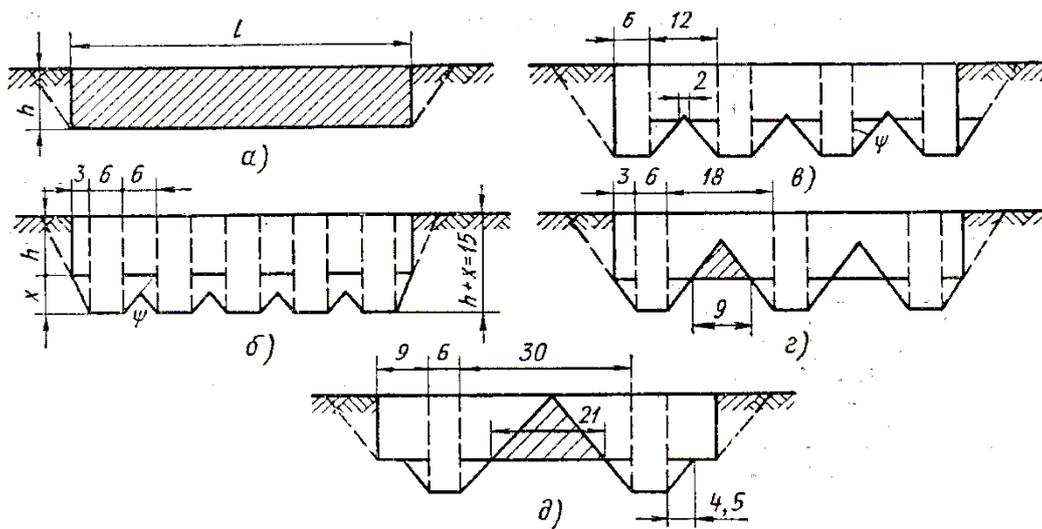


Рис. 6.2. Схема работы зубьев при различной их расстановке на режущей кромке:

*a* – ковш без зубьев; *б* – при  $a' = b'$ ; *в* – при  $a' = 2b'$ ; *г* – при  $a' = 3b'$ ; *д* – при  $a' = 5b'$

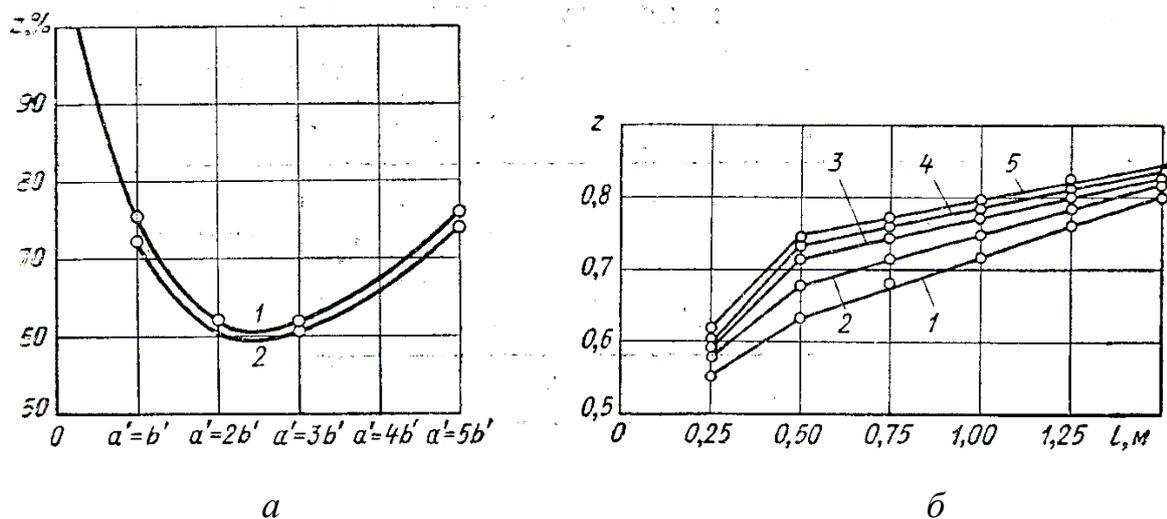


Рис. 6.3. Зависимость величины коэффициента  $z$  от параметров рабочего органа: *a* – от расстояния  $a'$  между смежными зубьями; *б* – от длины горизонтального профиля;

1 –  $h = 0,25$ ; 2 –  $h = 0,20$ ; 3 –  $h = 0,15$ ; 4 –  $h = 0,10$ ; 5 –  $h = 0,05$  м

## Порядок выполнения работы

1. При заданной толщине стружки  $h$  и площади поперечного сечения  $F=500 \text{ см}^2$  определить длину горизонтальной режущей кромки.
2. По графику (рис. 6.1) определить силу сопротивления резанию  $P$ .
3. Определить удельное сопротивление резанию  $k_{y\partial} = P / F$ .
4. Определить величину  $k_{y\partial}$  для случаев полублокированного и свободного резания, по таблице 6.1, используя метод интерполяции.
5. Изобразить в подходящем масштабе поперечное сечение стружки и разместить на горизонтальной режущей кромке необходимое число рыхлящих зубьев  $n$ , исходя из заданной ширины  $b'$ .
6. Используя полученный рисунок, вычислить соотношение  $a'/b'$  и по графику (рис. 6.3а) определить величину  $z$ .
7. Определить окончательное значение  $k_{y\partial}^o$  по формуле

$$k_{y\partial}^o = k_{y\partial} \frac{z}{100}.$$

8. Повторить расчет для случаев полублокированного и свободного резания.
9. Сформулировать выводы по работе.

Таблица 6.2 – Исходные данные к выполнению работы

Последняя цифра № зачетной книжки	Глубина $h$ , мм	Предпоследняя цифра № зачетной книжки	Число зубьев $n$	Ширина зуба, $b'$ мм
1	150	1	2	50
2	160	2	3	60
3	120	3	4	55
4	100	4	2	60
5	90	5	3	55
6	70	6	4	50
7	80	7	3	58
8	110	8	2	65
9	140	9	3	57
0	130	0	4	54

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

### Определение тангенциального усилия на рабочем органе фрезы для асфальтобетона

**Цель работы.** Ознакомиться с перспективной технологией удаления изношенного асфальтобетонного покрытия дороги и установить основные причины высокой энергоемкости процесса, а также выявить способы уменьшения энергозатрат.

#### Теоретическая часть

Фреза для асфальтобетона представляет собой барабан с приводом, на котором, как правило, по спирали (или по нескольким спиралям встречного направления) размещены резцы (рис. 7.1). Фрезерование осуществляется «снизу-вверх», а резцы снабжены твердосплавными наконечниками и отклонены от радиального направления на угол  $\alpha$  порядка  $45 \dots 60^\circ$ .

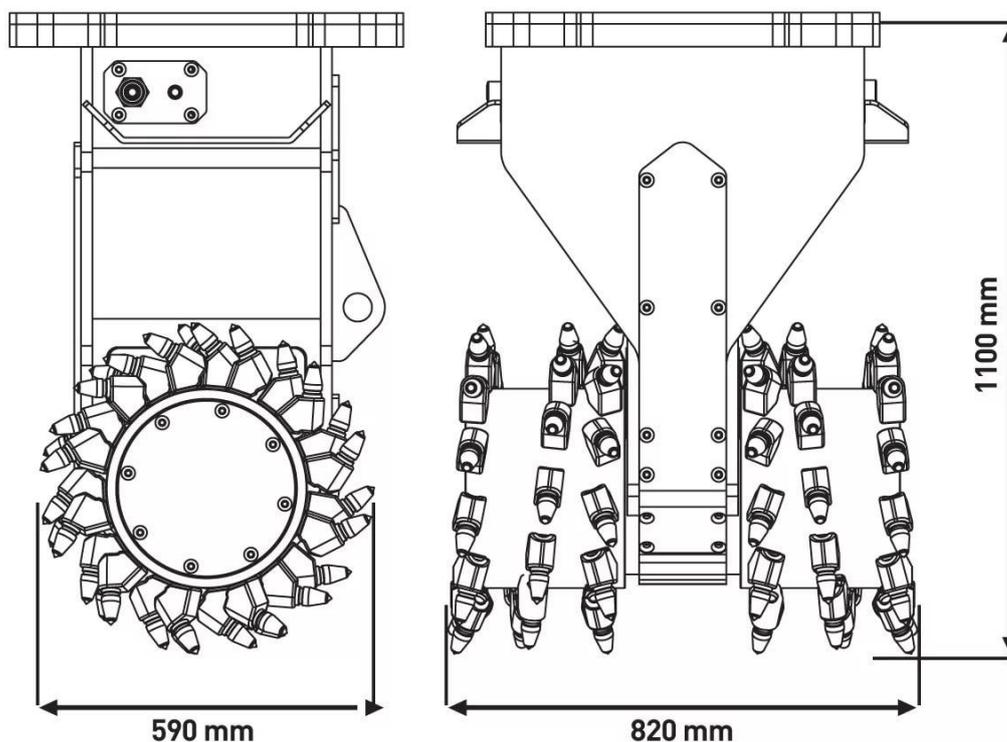


Рис. 7.1. Принципиальная схема барабана фрезы для асфальтобетона

Высокая энергоемкость холодного фрезерования обусловлена тем, что резец должен не только дробить гудроновую основу покрытия, но и частично

раскалывать каменистые включения, прочность которых на порядок выше, что ведет к увеличению эмпирических коэффициентов пропорциональности  $K_1$  и  $K_p$  в формуле (1) расчета тангенциального усилия  $P_m$ , по мере увеличения размеров минеральных зерен ( $D_c$ ) (табл. 7.1).

Таблица 7.1. - Расчетные данные для определения силы резания и раскалывания минеральных зерен асфальтобетона

№	Тип асфальтобетона	$K_1$	$K_p$	$D_c$ мм	$\sigma_{\text{раск}}$ МПа
1	Песчаный	0,61	0,013	4,9	1,5-10
2	Мелкозернистый	0,70	0,11	10,5	1,5-8,5
3	Среднезернистый	0,78	0,15	12,7	1,5-9

$$P_m = K_1 \sigma F_{II} + K_p B D_c \sigma_{\text{раск}} \operatorname{tg} \varphi, \quad (7.1)$$

где  $\sigma = p_0 \operatorname{tg} \varphi + C_0$  - сопротивление материала пластической деформации, МПа;

$F_{II}$  – площадь поперечного сечения деформируемого материала, м<sup>2</sup>;

$p_0 = (0,00012 \dots 0,00026)$  - нормальное давление разрушенной части материала на соответствующей занимаемой площади покрытия, МПа;

$C_0 = (0,1 \dots 0,18)$  – внутреннее сцепление материала при температуре 50 – 70<sup>0</sup>С, МПа;

$\varphi$  – угол внутреннего трения материала;

$B$  – ширина захвата фрезы, м;

При нагревании покрытия минеральные зерна большой твердости могут не раскалываться, а вдавливаясь в гудроновую основу. За счет этого должна существенно уменьшаться энергоемкость фрезерования (рис. 7.2). При этом скорость подачи также влияет на энергоемкость процесса. При повышении скорости машины до  $V=20-25$  м/мин, даже при высоких значениях температурной среды ( $T=60-65^0\text{C}$ ), начинают проявляться раковины скола. Разуплотнение и сдвиг прилегающей к режущему элементу части массива

вязко-пластичной среды уменьшается, возрастает сопротивление смятию. В условиях скорости подачи  $V=40-50$  м/мин, раскалывание минеральных зерен принимает интенсивный характер. В таких условиях характер процесса резания (наряду с другими показателями) в значительной степени зависит от физико-механических свойств минеральных зерен. Такой характер процесса объясняется тем, что скорость подачи превышает скорость распространения волны разрушения в материале.

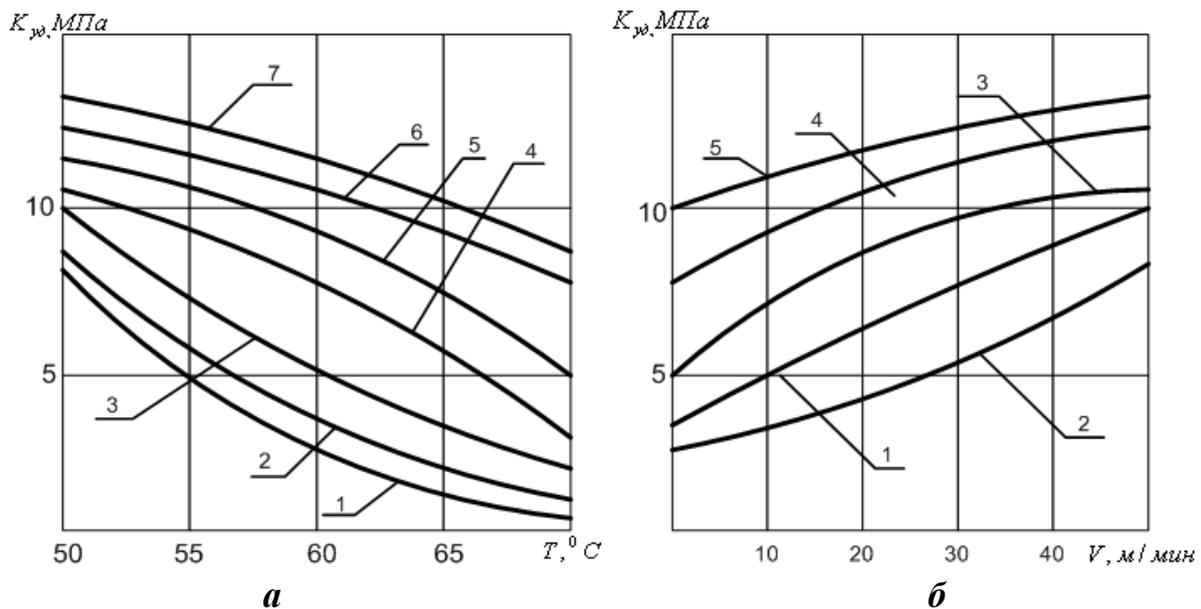


Рис. 7.2. Зависимость энергоемкости фрезерования асфальтобетона от его температуры  $T$  (а) и подачи  $V$  (б):

- а) 1 -  $V=5$ м/мин; 2 -  $V=10$  м/мин; 3 -  $V=15$ м/мин; 4 -  $V=20$ м/мин;  
 5 -  $V=30$ м/мин; 6 -  $V=40$ м/мин; 7 -  $V=50$ м/мин;  
 б) 1 -  $T=50^{\circ}\text{C}$ ; 2 -  $T=55^{\circ}\text{C}$ ; 3 -  $T=60^{\circ}\text{C}$ ; 4 -  $T=65^{\circ}\text{C}$ ; 5 -  $T=70^{\circ}\text{C}$

Таким образом, воспользовавшись графиками, приведенными на рис. 7.2, можно определить удельное сопротивление фрезерованию подогретого покрытия  $K_{y\partial}$ , а тангенциальное усилие вычислить по формуле

$$P_{m2} = K_{y\partial} F , \quad (7.2)$$

где  $F$  – суммарная площадь поперечного сечения срезаемой стружки асфальтобетона,  $\text{м}^2$ .

## Порядок выполнения работы

1. Воспользовавшись данными (в частности, величиной  $k_{y\partial}$ ), приведенными в таблице 7.2, определить тангенциальное усилие  $P_{m1}$  для случая фрезерования холодного асфальтобетона, для чего выполнить следующие промежуточные вычисления

1.1 – Поскольку представленный в таблице 7.2 коэффициент  $k_{y\partial}$  характеризует энергозатраты, необходимые для измельчения одного м<sup>3</sup> дорожного покрытия, определим мощность, потребляемую фрезерным барабаном, через объем материала, измельченного за секунду. То есть

$$N = W \cdot k_{y\partial} = \frac{Bhvk_{y\partial} 10^3}{60\eta} \text{ кВт}, \quad (7.3)$$

где  $B$  – ширина захвата (длина барабана, м;

$W$  – производительность фрезы м<sup>3</sup>/с;

$h$  – глубина фрезерования, м;

$v$  – подача (скорость поступательного перемещения фрезы) м/мин;

$\eta = 0,85$  – КПД привода фрезерного барабана.

1.2. – Рассчитать скорость резания (окружную скорость по концам резцов) по формуле:

$$V_p = \frac{\pi D n}{60} \text{ м/с}, \quad (7.4)$$

где  $D$  – диаметр фрезерного барабана по концам резцов, м;

$n$  – частота вращения фрезерного барабана, мин<sup>-1</sup>.

1.3. – Определить тангенциальную силу на барабане по формуле

$$P_{m1} = N/V_p \text{ кН} \quad (7.5).$$

2. Определить тангенциальную силу  $P_{m2}$  при фрезеровании подогретого асфальтобетонного покрытия, для чего выполнить следующие промежуточные действия.

2.1. – По графику (рис. 7.2 а) определить величину коэффициента удельного сопротивления подогретого покрытия фрезерованию  $K_{уд}$ . При отсутствии точного совпадения параметров использовать метод интерполяции.

2.2. – Вычислить суммарную площадь поперечного сечения стружки, срезаемой всеми резцами за секунду

$$F = \frac{W}{V_p} = \frac{Bh\nu}{60\nu_p} \text{ м}^2. \quad (7.6)$$

2.3. – Подставить результат в формулу (7.2) и найти величину тангенциальной силы на барабане фрезы при фрезеровании подогретого асфальтобетонного покрытия.

3. Сопоставить результаты и сделать выводы.

Таблица 7.2 - Исходные данные для расчета фрезы

Последняя цифра № зач. книжки	Параметры			Предпоследняя цифра № зач. книжки	Параметры			
	Температура асфальтобетона, T <sup>0</sup> C	Рабочая подача фрезы $\nu$ , м/мин	Глубина фрезерования $h$ , мм		Частота вращения барабана	Диаметр барабана $D$ , мм	Энергоемкость фрезерования холодного асфальта $K_{уд}$ , МВт/м <sup>3</sup> *с	Ширина захвата барабана $B$ , мм
1	65	10	150	1	200	800	6	800
2	67	9	125	2	185	825	6,5	750
3	69	8,5	180	3	210	785	5,8	600
4	62	7,5	200	4	180	910	5,9	550
5	64	8	220	5	175	900	6,2	450
6	66	8,2	135	6	195	885	6,1	850
7	67	9,2	125	7	220	750	6,5	900
8	69	10,5	140	8	210	780	6,4	1000
9	65	8	165	9	195	810	6,3	950
0	64	7,6	130	0	180	890	6,9	650

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

### Определение поперечного профиля дна массива грунта, разрыхленного зубьями рыхлителя

**Цель работы.** Закрепить на практике знания о характере деформации грунта рабочими органами рыхлителя. Усвоить основные термины, понятия и определения, касающиеся указанного технологического процесса.

#### Теоретическая часть

При перемещении рыхлителя зона деформации грунта выходит за пределы ширины рабочего органа  $b_n$  (рис. 8.1). Скол и деформация грунта распространяется в обе стороны от рабочего органа под углом  $\theta$  к горизонту. Величина угла  $\theta$  зависит от физико-механических свойств грунта.

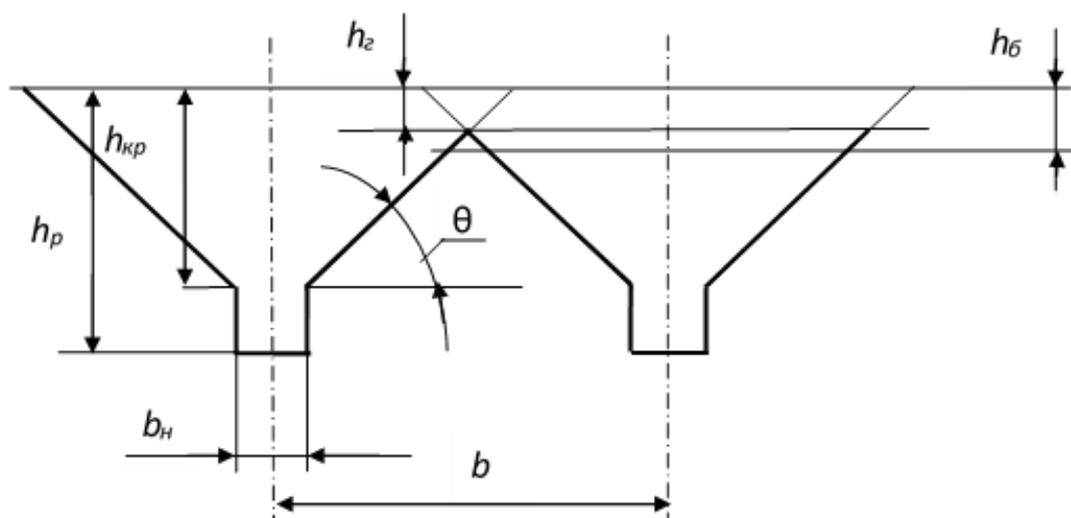


Рис. 8.1. Поперечный профиль дна массива грунта, подвергнутого воздействию зубьев рыхлителя

Указанный процесс бокового рыхления грунта происходит до определенной (критической) глубины  $h_{кр}$ , величина которой зависит от ширины рабочего органа  $b_n$ . При этом следует иметь в виду, что, как правило,  $h_{кр} = (2,5 \dots 4) b_n$ : для ориентировочного расчета можно принять, что

$$h_{кр} = 4b_n \quad (8.1).$$

Работа рыхлителя является подготовительной операцией для последующего использования бульдозера. Поэтому его рабочие органы должны быть размещены на таком расстоянии  $b$  друг от друга, чтобы при установке лопаты бульдозера на заданную глубину  $h_б$  вершина гребня не разрыхленного грунта между зубьями рыхлителя  $h_2$  не находилась на глубине более, чем

$$h_2 = 0,8 h_б \quad (8.2).$$

### Порядок выполнения работы

1. По заданным индивидуальным параметрам рыхлителя по формуле (1) найти критическую глубину рыхления  $h_{кр}$ .
2. В масштабе 1:5 построить поперечное сечение дна массива грунта, подвергнутого воздействию зубьев рыхлителя, как это изображено на рис. 8.1.
3. По формуле (8.2) найти приемлемое значение  $h_2$ .
4. По построенной схеме (с учетом масштаба) определить фактическую глубины залегания вершины гребня не разрыхленного грунта  $h_{2ф}$ .
5. Сопоставив расчетное  $h_2$  и фактическое  $h_{2ф}$  значение глубины залегания вершины гребня не разрыхленного грунта сделать вывод о необходимости (или отсутствии таковой) изменения расстановки рабочих органов, то есть корректировки расстояния  $b$  между ними.

**Внимание.** При расчете и построении округлять величины до трех знаков после запятой или до миллиметра.

Таблица 8.1 - Исходные данные для расчета рыхлителя

Последняя цифра № зачетной книжки	Параметры		Предпоследняя цифра № зачетной книжки	Параметры		
	Глубина резания $h_p$ , м	Ширина наконечника $b_{пв}$ , мм		Угол скола грунта $\theta$ , градусов	Глубина хода отвала бульдозера $h_{б}$ , м	Расстояние между зубьями $b$ , м
1	0,48	100	1	41	0,14	0,74
2	0,45	85	2	44	0,15	0,52
3	0,4	72	3	44	0,14	0,42
4	0,37	65	4	41	0,13	0,48
5	0,3	70	5	43	0,14	0,41
6	0,35	75	6	42	0,17	0,42
7	0,4	110	7	42	0,2	0,72
8	0,5	88	8	44	0,18	0,51
9	0,4	105	9	44	0,2	0,62
0	0,48	64	0	41	0,17	0,4

## Литература основная

1. Машины для земляных работ: конструкция, расчет, потребительские свойства: в 2 кн. Кн. 1. Экскаваторы и землеройно-транспортные машины: учебное пособие для вузов / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев. Р.Г. Данилов и др.; под общ. ред. В.И. Баловнева. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. 411 с.
2. Машины для земляных работ: конструкция, расчет, потребительские свойства: в 2 кн. Кн. 2. Погрузочно-разгрузочные и уплотняющие машины: учебное пособие для вузов / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев. Р.Г. Данилов и др.; под общ. ред. В.И. Баловнева. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. 464 с.
3. Конспект лекций по дисциплине «Теория наземных транспортно-технологических машин».

## Литература дополнительная

1. Машины для земляных работ: учебник / Н.Г. Гаркави, В.И. Аринченков, В.В. Карпов и др.; под ред. Н.Г. Гаркави. М.: Высш. школа, 1982. 335 с.
2. Гоберман Л.А. Основы теории, расчета и проектирования строительных и дорожных машин: учебник для техникумов. М.: Машиностроение, 1988. 464 с.
3. Гальперин М.И., Домбровский Н.Г. Строительные машины: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. школа, 1980. 344 с.
4. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ: учебное пособие для вузов. М.: Машиностроение, 1975. 424 с.

Учебное издание

Виктор Николаевич Ожерельев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к курсу лабораторных работ

Для студентов очного и заочного обучения по направлению бакалавриата

23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

Профиль: «Машины и оборудование природообустройства

и дорожного строительства»

Квалификация – бакалавр

Редактор Павлютина И.П.

---

Подписано в печать 05.05.2018 г. Формат А5.

Усл. печ. л.2,09. Тираж 25 экз. Изд. №.6081.

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ