

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Транспортные и технологические машины»

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальности 1-36 11 01  
«Инновационная техника для строительного комплекса  
(по направлениям)» очной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 625.08  
ББК 39.311-06-5  
С49

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Транспортные и технологические машины»  
«20» декабря 2022 г., протокол № 5

Составитель д-р техн. наук, проф. Л. А. Сиваченко

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. Е. Науменко

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальности 1-36 11 01 «Инновационная техника для строительного комплекса (по направлениям)» очной формы обучения.

Учебное издание

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

Ответственный за выпуск	И. В. Лесковец
Корректор	Т. А. Рыжикова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2023

## Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Основные свойства дорожно-строительных материалов.....	4
2 Лабораторная работа № 2. Исследование рабочего процесса валковой дробилки.....	9
3 Лабораторная работа № 3. Исследование рабочего процесса щековой дробилки.....	12
4 Лабораторная работа № 4. Исследование рабочего процесса грохота.....	15
5 Лабораторная работа № 5. Шаровая мельница.....	18
6 Лабораторная работа № 6. Исследование работы и определение мощности вибрационной мельницы.....	22
7 Лабораторная работа № 7. Исследование рабочего процесса смесителя принудительного действия.....	24
8 Лабораторная работа № 8. Определение экспериментальной характеристики вибраторов для уплотнения бетонных смесей.....	27
9 Лабораторная работа № 9. Изучение конструкции, принципа действия и определение основных параметров виброплощадки.....	31
10 Лабораторная работа № 10. Изучение конструкции, принципа действия и определение основных параметров шнекового питателя.....	35
11 Лабораторная работа №11. Изучение устройства и определение производительности моторных катков.....	39
12 Лабораторная работа № 12. Подбор оборудования для пневмотранспортирования бетонной смеси.....	44
Список литературы.....	48

# 1 Лабораторная работа № 1. Основные свойства дорожно-строительных материалов

**Цель работы:** изучение основных свойств дорожно-строительных материалов и получение практических навыков экспериментального определения некоторых из них на примере бетона и его компонентов.

## Теоретическая часть.

Строительные материалы – это основа строительства. Производство строительных материалов связано с добычей и переработкой огромного количества сырья (более 2 млрд т ежегодно). На всех этапах получения и обработки строительных материалов необходимы самые разнообразные машины. Для конструирования высокопроизводительных, экономичных и долговечных машин требуется хорошо знать свойства тех материалов, на которые эти машины будут воздействовать.

Основным строительным материалом является бетон, производство которого в нашей стране составляет около 800 млн т.

Бетон – искусственный камень, образованный путем объединения, равномерного распределения, уплотнения и последующего твердения смеси щебня (гравия), песка, цемента и воды, а нередко и специальных добавок. Раствор отличается от бетона тем, что крупность заполнителей превышает 5 мм.

При производстве бетона контролируют свойства отдельных компонентов, полученных смесей и изделий из них. Рассмотрим некоторые из этих свойств.

## Свойства отдельных компонентов бетона.

**Щебень.** Крупность. По крупности щебень делят на несколько фракций: 5...10, 10...20, 20...40, 40...70 мм.

Марка – это прочность образцов на сжатие. Различают следующие марки щебня (1200, 1000, 800, 600, 400, 300 кг/см<sup>2</sup>).

**Песок.** Модуль крупности песка определяют по формуле

$$M_K = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,83} + A_{0,315} + A_{0,14}}{100}, \quad (1.1)$$

где  $A_{2,5} \dots A_{0,14}$  – полные остатки на ситах с размерами 2,5...0,14 мм, %.

Пустотность песка характеризуется отношением объема пор к объему в насыпном состоянии. В доброкачественном песке пустотность не должна превышать 38 %.

**Цемент.** Тонкость помола определяют, как остаток на сите № 008 в процентах к первоначальной массе просеиваемой пробы по формуле

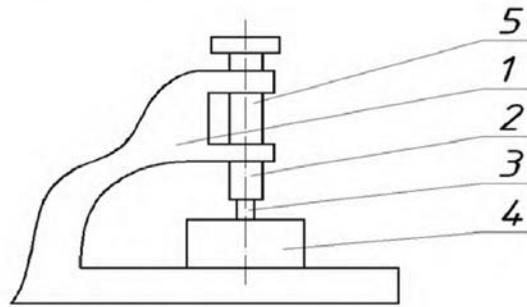
$$X_{008} = \frac{P_{008} \cdot 100}{P_0}, \quad (1.2)$$

где  $P_{008}$  – остаток на сите № 008, г;

$P_0$  – исходная навеска цемента, г.

### Нормальная густота и сроки схватывания цементного теста.

Нормальную густоту теста определяют с помощью прибора «Вика» (рисунок 1.1), который имеет станину 1, в которой вертикально перемещается стержень 2 с пестиком или иглами 3. На нижней части станины устанавливают кольцо 4 с тестом. Стержень снабжен указателем для отсчета перемещения его относительно шкалы 5, прикрепленной к станине. Шкала имеет цену деления 1 мм.



1 – станина; 2 – стержень; 3 – пестик или игла; 4 – кольцо; 5 – шкала

Рисунок 1.1 – Прибор «Вика»

Началом схватывания цемента считается время, прошедшее от начала затворения до того момента, когда игла не будет под тяжестью стержня доходить до основания станины на 1...2 мм. Концом схватывания считают время от начала его затвердения до момента, когда игла будет опускаться на тесто не более чем на 1 мм.

**Марка цемента.** Марка цемента – условная величина; показывает, что прочность при сжатии образцов из цементного раствора, приготовленных и испытанных в точном соответствии со стандартом, не ниже цифры, обозначающей марку (300, 400, 500, 550, 600, 700 кг/см<sup>2</sup>).

### Свойства бетонной смеси и раствора.

Бетонная смесь. Удобоукладываемость определяется посредством конуса (рисунок 1.2), подвижность – величиной осадки конуса в сантиметрах, которую измеряют сразу же после снятия формы.

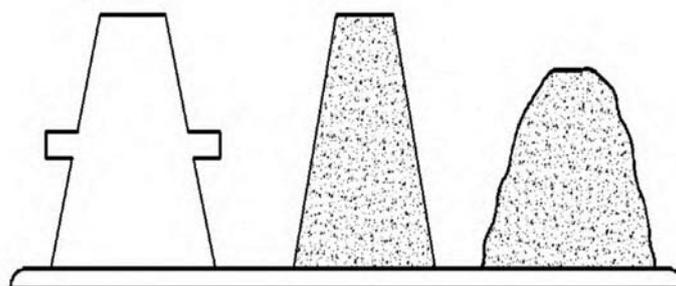


Рисунок 1.2 – Конус

Смеси бывают подвижные (осадка конуса – от 1...2 до 10...12 см и более) и жесткие, которые не дают осадки. Удобоукладываемость жесткой смеси определяют с помощью прибора Скрамтаева (рисунок 1.3).

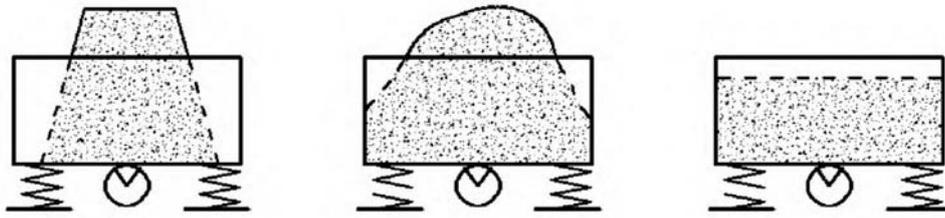
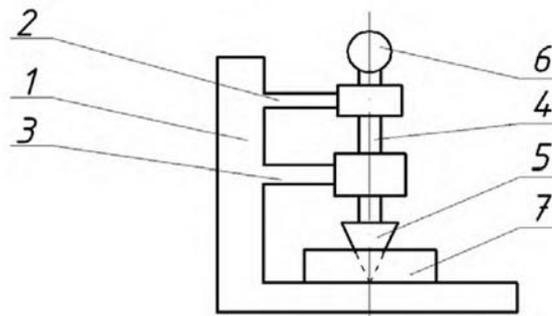


Рисунок 1.3 – Устройство Скрамтаева

В обычную металлическую форму для приготовления кубов размером  $20 \times 20 \times 20$  см помещают конус со смесью, вынимая последний, смесь подвергают вибрации на виброплощадке до тех пор, пока бетонная смесь не станет горизонтальной. Время вибрации принимают за меру жесткости (удобоукладываемости) смеси.

**Раствор.** Подвижность свежеприготовленного раствора характеризует его способность растекаться под действием сил тяжести. Подвижность определяют при помощи конуса СтройЦНИЛ (рисунок 1.4). На штативе 1 прибора закреплены держатели 2 и 3, в которых установлен скользящий стержень 4 с конусом 5. О подвижности раствора судят по величине погружения конуса в смесь.



1 – штатив; 2, 3 – держатели; 4 – стержень; 5 – конус; 6 – ручка стержня; 7 – сосуд

Рисунок 1.4 – Прибор СтройЦНИЛ

**Бетон.** Основным потребительским свойством бетона является его прочность на сжатие. Существуют три метода определения прочности бетона: испытание конструкции в натуральную величину (изготовление модели), вырезание образцов из конструкций и их испытание и изготовление отдельных образцов. Последний наиболее распространен.

Испытания образцов производят в соответствии с ГОСТ 10180–78. Прочность бетона определяют по формуле

$$R = a \cdot \frac{P}{F} \cdot K_w, \quad (1.3)$$

где  $a$  – масштабный коэффициент прочности в образцах;

$F$  – разрушающая нагрузка, Н;

$P$  – средняя площадь рабочего сечения образца, м<sup>2</sup>;

$K_W$  – поправочный коэффициент, учитывающий влажность образца.

Прочность бетона в серии образцов определяют по формуле

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, \quad (1.4)$$

где  $R$  – среднее значение прочности в серии образцов, Н/м<sup>2</sup>;

$R_i$  – среднее значение прочности отдельного образца, Н/м<sup>2</sup>;

$n$  – число образцов.

Для пользования данной формулой необходимо, чтобы коэффициент вариации прочности образцов не превышал 15 %.

$$\frac{R_{i\max} - R_{icp}}{R_{icp}} \cdot 100 \% \leq 15 \% ; \quad (1.5)$$

$$\frac{R_{icp} - R_{i\min}}{R_{icp}} \cdot 100 \% \leq 15 \% . \quad (1.6)$$

### **Асфальтобетонные смеси.**

**Асфальтобетон** – монолит, полученный в результате уплотнения асфальтобетонной смеси, образуемой щебнем, песком, минеральным порошком и битумом (ГОСТ 9121–76, ГОСТ 9128–97, СТБ 1033–96).

В зависимости от структуры и содержания щебня асфальтобетонные смеси делятся на следующие типы: А – содержание щебня 50 %...65 %, Б – содержание щебня 35 %...50 %, В – содержание щебня 20 %...35 %, Г – песчаные, из дробленого песка с содержанием фракции 1,25...5,0 мм более 33 %, Д – песчаные из природного песка с содержанием фракций 1,25...5,00 мм более 14 %; пористые крупнозернистые асфальтобетоны для нижнего слоя покрытия с содержанием щебня 50 %...73 %.

По технологическим особенностям и марке применяемого вяжущего смеси разделяют на горячие, теплые и холодные. Горячие смеси приготавливают с применением вязких битумов марок БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130 и др. при температуре 120 °С...160 °С и уплотняют при температуре 90 °С...140 °С; теплые асфальтобетонные смеси – на основе вязких битумов марок БНД 200/300, БНД 130/200 и других при температуре 90 °С...140 °С и уплотняют при 70 °С...100 °С; холодные смеси готовят на жидких битумах марок СГ 70/130 и МГ 70/130 при температуре не ниже 5 °С.

### **Применяемое оборудование, приборы и материалы.**

Для определения основных свойств строительных материалов применяют

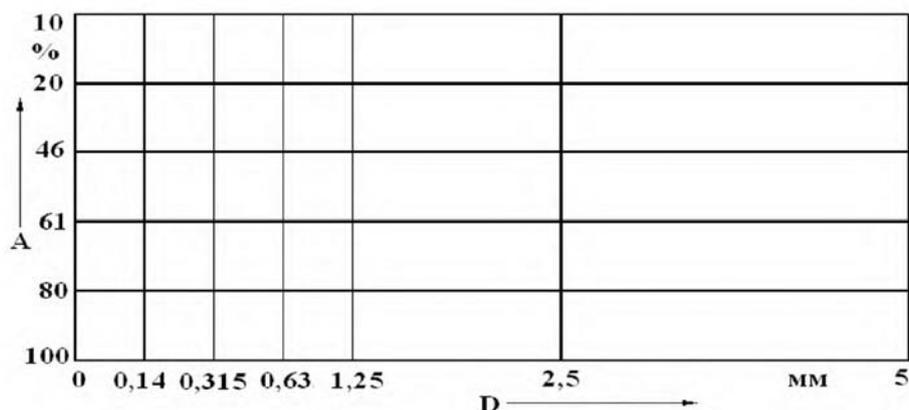
следующее оборудование: весы технические, пресс гидравлический, набор сит для песка, сито для цемента № 008, прибор «Вика», формы для образцов из цемента, емкость для смешивания цемента и бетонной смеси, линейку, секундомер.

### Порядок выполнения работы.

Работу выполняют в следующей последовательности: определяются свойства отдельных компонентов, бетонной смеси и раствора, а также изделий из бетона.

**Щебень.** Крупность щебня определяют путем просеивания его через сита с размерами отверстий 5, 10, 20 и 40 мм.

**Песок.** Модуль крупности песка определяют по формуле (1.1). Навеску песка массой 1 кг последовательно просеивают через сита с размерами 1,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,14. По результатам опыта строят график зернового состава песка (рисунок 1.5) и определяют модуль крупности. Результаты опытов заносят в таблицу 1.1.



A – полные остатки на ситах; D – размер ячейки сита

Рисунок 1.5 – График зернового состава песка

Таблица 1.1 – Результаты ситового анализа кварцевого песка

Размер ячеек сит, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
Полные остатки на ситах, %					

**Цемент.** Тонкость помола определяют по формуле (1.2) как остаток на сите № 008, выраженный в процентах от массы навески. Масса навески – 50 г, время просеивания – 5...7 мин. Тонкость помола считают удовлетворительной, если через сито № 008 проходит свыше 85 % массы навески.

Нормальную плотность цементного теста определяют с помощью прибора «Вика». Взвешивается навеска цемента в количестве 400 г, перемешивают с водой, заполняют кольцо и, опуская стержень массой 300 г с пестиком на конце в тесто, определяют его нормальную плотность, выраженную в отношении массы

воды к массе цемента.

Сроки начала и конца схватывания определяют с помощью прибора «Вика», заменив пестик иглой. Время, когда игла не доходит на 1...2 мм до основания кольца, – начало схватывания, когда не внедряется больше чем на 1 мм – конец. Для обычных цементов примерное начало схватывания 1,45...2,0 ч, конец – 4,5...6,0 ч.

### **Свойства бетонной смеси и раствора.**

**Удобоукладываемость.** Конус устанавливают на горизонтальную плиту, а его внутренние поверхности слегка смачивают, затем его в три слоя заполняют бетонной смесью, с обязательным штыкованием 25 раз каждого слоя металлическим стержнем диаметром 16 мм. Излишек смеси срезается линейкой, а конус осторожно поднимается вверх и устанавливается рядом с отформированной смесью. Определяют величину осадки конуса в сантиметрах посредством линейки.

**Подвижность** растворной смеси определяют посредством прибора СтройЦНИЛа. Заполняют сосуд раствором, который уплотняют штыкованием 25 раз стержнем диаметром 10... 12 мм. Установив сосуд на подставку штатива, острие конуса приводят в соприкосновение с поверхностью раствора. Снимают отсчет по шкале прибора. Затем дают возможность конусу свободно погружаться в раствор. По окончании процесса погружения снимают второй отсчет. Глубину погружения конуса в раствор вычисляют как разность второго и первого отсчетов.

### **Свойства изделий из бетона.**

Марка бетона. Приготавливают смесь, состоящую из щебня, песка, цемента и воды, и ею заполняют формы для трёх образцов с размерами каждой из них 100 × 100 × 100 мм и уплотняют. Формы с образцами остаются для твердения, а через 14 сут предварительно расформированные образцы взвешивают с целью определения их объёмной массы и подвергают разрушению на гидравлическом прессе. По формуле (1.3) определяют прочность на сжатие, по формулам (1.5) и (1.6) – коэффициент вариации прочности, по формуле (1.4) – прочность бетона в серии (3 шт.) образцов.

Результаты всех опытов заносят в отчет.

## **2 Лабораторная работа № 2. Исследование рабочего процесса валковой дробилки**

**Цель работы:** изучение конструкции валковой дробилки и исследование ее рабочего процесса, определение максимального угла захвата и усилий, действующих в элементах дробилки при ее работе, расчет и экспериментальное определение потребляемой мощности и степени измельчения.

### Теоретическая часть.

Валковая дробилка (рисунок 2.1) имеет два вращающихся с одинаковой скоростью гладких валка 1 и 2.

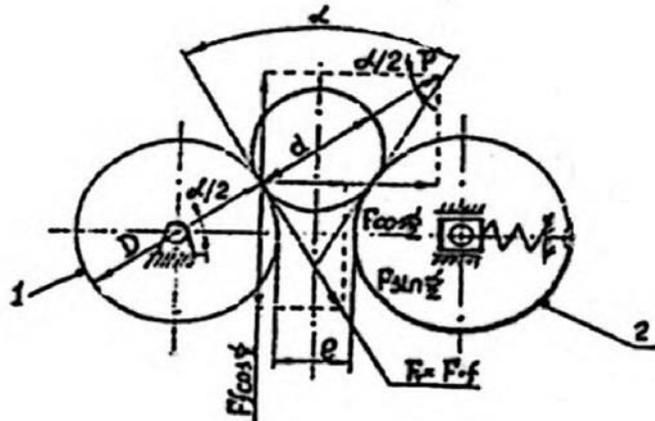


Рисунок 2.1 – Расчетная схема валковой дробилки

Изменение ширины выпускного отверстия  $e$  между валками осуществляется двумя регулировочными устройствами, каждое из которых состоит из двух боковых и одного среднего клиньев и регулировочного болта с гайкой и контргайкой. Механизмы установлены на раме между подшипниками валков. Для увеличения щели ослабляют контргайку и, вращая основную гайку, поднимают средний клин в вертикальной плоскости. При уменьшении щели клин требуется опустить, вращая гайку в обратную сторону.

Корпуса подвижного валка удерживаются от перемещения спиральными пружинами. Степень нажатия пружин регулируется болтом через упорную балку.

Вращение подвижному валку передается зубчатой парой с зубьями специального удлиненного профиля от неподвижного валка, связанного с электродвигателем, посредством клиноременной передачи.

Углом захвата  $\alpha$  называется угол, образованный касательными в точках соприкосновения куска материала с поверхностью валков.

Для нормальной работы валков необходимо, чтобы угол захвата был меньше двойного угла трения материала о поверхность валка  $\alpha \leq 2 \varphi$ .

Для дробилок с гладкой поверхностью валков куски материала, поступающие в дробилку, должны быть в 20 раз меньше диаметра валков. Это обстоятельство в значительной степени ограничивает применение валковых дробилок.

Усилие между валками (распорное усилие) определяют по формуле

$$F = 0,16K \cdot L_B \cdot D_B \cdot \sigma, \quad (2.1)$$

где  $L_B$  – длина валка, м;

$D_B$  – диаметр валка, м;

$\sigma$  – предел прочности дробимого материала, МПа;

$K$  – коэффициент, учитывающий недогрузку валков,  $K = 0,2 \dots 0,6$ .



### 3 Лабораторная работа № 3. Исследование рабочего процесса щековой дробилки

**Цель работы:** закрепление теоретических знаний по теории дробления каменных материалов, получение навыков теоретического расчета основных параметров дробилки согласно вариантам задания (таблица 3.1), практическое определение усилия дробления, степени дробления, производительности дробилки и потребляемой мощности.

Таблица 3.1 – Исходные данные

Вариант	$D_{CB}$ , мм	$d_{CB}$ , мм	Материал	$\sigma$ , МПа	$E$ , $10^2$ МПа
1	200	70	Мрамор	120..140	565..700
2	180	75	Известняк мягкий	40..60	350..500
3	160	60	Гранит мелкозернистый	180..200	600..700
4	140	70	Гранит крупнозернистый	120..140	515..700
5	120	30	Кварц	180..200	600..700
6	100	40	Песчаник	50..80	340..500
7	80	30	Диабаз	190..250	612..780
8	60	30	Доломит	50..80	340..500
9	180	40	Базальт	200..300	660..970
10	140	40	Порфир	150..270	680..800

#### Теоретическая часть.

К основным параметрам щековых дробилок относят угол захвата  $\alpha$  между неподвижной и подвижной дробящими плитами, самую выгодную частоту вращения эксцентрикового вала  $n$ ,  $c^{-1}$ , производительность дробилки  $Q$ ,  $m^3/ч$ , требуемую мощность двигателя  $P$ , кВт.

Объемная гипотеза Кирпичева-Кика основана на известной формуле теории упругости, дающей абсолютную величину работы деформации  $A$ , МДж:

$$A = \frac{\sigma_0^2 \cdot V}{2E} = \frac{\pi \cdot \sigma^2 \cdot (D_{CB}^2 - d_{CB}^2) \cdot b}{12E}, \quad (3.1)$$

где  $\sigma$ ,  $E$  – предел прочности и модуль упругости дробимого материала, МПа (см. таблицу 3.1);

$D_{CB}$  – средневзвешенный размер материала до дробления, м;

$d_{CB}$  – средневзвешенный размер выходного материала, м;

$b$  – ширина камеры дробления, м (рисунок 3.1).

Усилие дробления  $F$ , кН, определяется по формуле

$$F = \frac{2A}{S_0}, \quad (3.2)$$

где  $S_0$  – ход подвижной щеки в месте приложения силы  $F$ , мм.

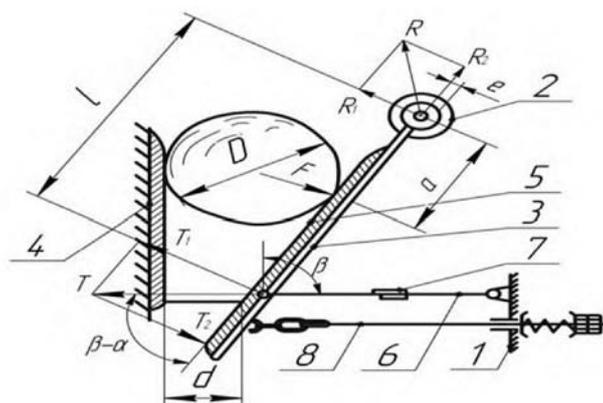


Рисунок 3.1 – Расчетная схема для определения опытного значения усилия дробления

### Используемое оборудование, приборы и материалы.

Лабораторный стенд выполнен на базе щековой дробилки СМ-165 со сложным движением щеки.

Основой дробилки является станина 1, на которой в роликовых подшипниках установлен эксцентриковый вал 2. На одном конце вала расположен маховик, а на противоположном - шкив. В средней части вала крепят подвижную щеку 3. Внутренние боковые поверхности станины защищены от изнашивания. С помощью клиньев на станине крепится неподвижная дробящая плита 5, а подвижная щека 3 закрепляется на ней накладками с помощью болтов. Для поддержания подвижной щеки 3 в рабочем положении и передачи усилий на дробление материала служит распорная плита 6, являющаяся также предохранительным устройством от перегрузок при попадании недробимых материалов, а на поверхности наклеены тензодатчики 7.

Крупность дробления регулируют изменением зазора  $b$  между дробящими плитами клиновым регулировочным устройством, состоящим из двух клиньев и винта.

Для замыкания и удержания подвижной щеки 3 и распорной плиты 6 служит замыкающее устройство 8 с пружиной. Привод осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу.

### Порядок выполнения работы.

После изучения теоретической части и безопасных приемов работы необходимо выполнить экспериментальную часть в следующей последовательности:

- включить осциллограф, тензоусилитель и другую регистрирующую аппаратуру;

- используя комплект тензометрической аппаратуры, мерную линейку, известный дробимый материал, тарировочный график установленного тензометрического моста, измерить размеры камня  $D_{ср}$  до дробления и определить по таблице его прочностные показатели  $E$  (см. таблицу 3.1);

- определить усилие дробления по формуле (3.2);

- установить размер выпускного отверстия нужной величины;
- записать рабочий процесс дробления на осциллограмму и замерить размеры щебня после дробления и значения потребляемой мощности;
- определить максимальное значение усилия  $T$ , Н, в распорной плите по формуле

$$T = K_M \cdot \Delta, \quad (3.3)$$

где  $\Delta$  – отклонение шлейфа, мм;

$K_M$  – коэффициент масштаба, Н/мм;

- определить опытное значение усилия дробления  $F_{оп}$ , Н:

$$F_{оп} = \frac{T \cdot L \cdot \sin(\beta - \alpha)}{a}, \quad (3.4)$$

где  $L$ ,  $a$  – расстояния, определяемые замером на дробилке согласно рисунку 3.1;

$\beta$  – угол между распорной плитой и вертикалью, обычно  $\beta = 83^\circ$ ;

$\alpha$  – угол захвата,  $\alpha = 18^\circ \dots 22^\circ$ ;

- определить напряжения оп, Па, возникающие в распорной плите,

$$\sigma_n = \frac{T}{S \cdot \varphi}, \quad (3.5)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения распорной плиты, м<sup>2</sup>;

$\varphi$  – коэффициент продольного изгиба,  $\varphi = 0,4 \dots 0,7$ .

Принять материал для изготовления распорной плиты с учетом  $K_{зан}$ .

Производительность  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч, щековой дробилки с учетом ее параметров определяют по формуле

$$Q = \frac{3600b \cdot n \cdot \mu \cdot d_{cp} \cdot S_0}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (3.6)$$

где  $n$  – частота вращения эксцентрикового вала, с<sup>-1</sup>;

$\mu$  – коэффициент, учитывающий разрыхление материала при дроблении,  $\mu \approx 0,4$ .

Мощность  $P$ , кВт, приводного электродвигателя рассчитывают по формуле

$$P = \frac{\sigma^2 \cdot Q \cdot (i - 1)}{2,4E \cdot \eta_d \cdot \eta_{II}}. \quad (3.7)$$

где  $\eta_{II}$  – КПД дробилки,  $\eta_{II} \approx 0,2 \dots 0,3$ ;

$\eta_d$  – КПД привода,  $\eta_d = 0,9$ .

Результаты теоретических и экспериментальных данных заносятся в таблицу 3.2. При получении заведомо неверных значений опыт повторить несколько раз.

Таблица 3.2 – Теоретические и экспериментальные значения

Параметры	Размерность	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
$D_{CP}$	м			
$d_{CP}$	м			
$\sigma_{сж}$	МПа			
$E$	МПа			
$F$	кН			
$F_{оп}$	кН			
$\sigma_{п}$	МПа			

### Содержание отчета.

В отчете приводятся данные, полученные экспериментальным путем и рассчитанные теоретически: расчетные схемы, осциллограмма рабочего процесса, замеренные величины и определенные усилия теоретических и опытных значений усилий дробления, напряжений в распорной плите, мощности двигателя и производительности. Анализируются причины расхождения между теоретическими и экспериментальными значениями данных и дается заключение.

## 4 Лабораторная работа № 4. Исследование рабочего процесса грохота

**Цель работы:** изучение конструкции вибрационного грохота, определение эффективности грохочения, производительности, теоретической и опытной мощности двигателя.

### Теоретическая часть.

Сортировка (грохочение) – операция разделения по крупности кусковых и сыпучих материалов с помощью жестких поверхностей с отверстиями; процесс, эффективность которого оценивается по формуле

$$E = \frac{c - d \cdot (100 - c)}{c}, \quad (4.1)$$

где  $E$  – эффективность грохочения, %;

$d$  – процентное отношение (по массе) зерен нижнего сорта, не прошедших сквозь сито, к материалу верхнего сорта;

$c$  – процентное отношение (по массе) зерен нижнего сорта в исходном материале.

На практике эффективность грохочения для вибрационных грохотов определяется на основе эмпирических зависимостей с учётом эталонного значения эффективности грохочения. Для производительности, не превышающей расчетную, она принимается постоянной:

$$E = e \cdot k'_1 \cdot k'_2 \cdot k'_3, \quad (4.2)$$

где  $e$  – эталонное значение эффективности грохочения (при средних условиях), равное для виброгрохотов горизонтальных и наклонных соответственно: для щебня – 0,89 % и 0,86 %, для гравия – 0,91 % и 0,87 %;

$k'_1$  – коэффициент, учитывающий угол наклона грохота (для наклонных грохотов) (таблица 4.1);

$k'_2$  – коэффициент, учитывающий содержание частиц нижнего класса  $C_H$ , %, в исходном материале (таблица 4.2);

$k'_3$  – коэффициент, учитывающий содержание частиц меньше половины отверстия сита в нижнем классе зерен, размер которых  $C_{0,5H}$ , % (см. таблицу 4.2).

Таблица 4.1 – Значения коэффициента  $k'_1$

$\alpha$ , град	12	15	18	21	24
$k'_1$	1,03	1,02	1,00	0,96	0,88

Таблица 4.2 – Значения коэффициентов  $k'_2$  и  $k'_3$

$C_H, C_{0,5H}$ , %	20	30	40	50	60	70	80
$k'_2$	0,86	0,9	0,94	0,97	1,00	1,015	1,02
$k'_3$	0,9	0,94	0,98	1,00	1,01	1,02	1,03

На процесс грохочения при одновальной схеме (рисунок 4.1) оказывает влияние направление вращения вала вибратора. При прямом вращении частицы материала перемещаются быстрее по поверхности сита и меньшее число раз соприкасаются с ней, при обратном – картина меняется.

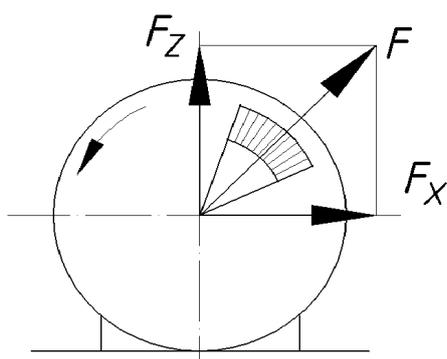


Рисунок 4.1 – Схема сил одновального дебалансного вибровозбудителя

Наличие двойного дебаланса (вибровозбудитель направленного действия) позволяет сообщать подвижной раме грохота (коробу) колебания в направлении, перпендикулярном плоскости вращения осей валов вибратора, но в противоположных направлениях с переменной амплитудой (рисунок 4.2).

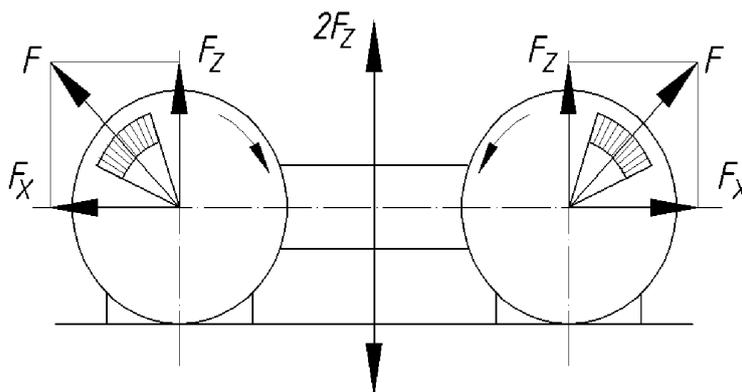


Рисунок 4.2 – Схема сил двухвального дебалансного вибровозбудителя

Мощность, необходимая для работы вибрационного грохота,

$$P_{дв} = 4\pi^3 \cdot n^3 \cdot m_{д} \cdot r_{д} \cdot d_{в} \cdot f / \eta, \quad (4.3)$$

где  $f$  – приведенный коэффициент трения вала подшипников: для подшипников скольжения  $f = 0,6...0,1$ ; для шарикоподшипников  $f = 0,001...0,004$ ; для роликоподшипников  $f = 0,0025...0,01$ ;

$m_{д}$  – масса дебаланса грузов, т;

$n$  – частота эксцентрикового вала,  $c^{-1}$ ;

$r_{д}$  – расстояние от оси вращения вала до центра тяжести дебаланса, м;

$d_{в}$  – диаметр цапфы вала под подшипник, м;

$\eta$  – КПД привода,  $\eta = 0,8...0,9$ .

Значения параметров вибрационного грохота берутся из инструкции по эксплуатации.

Производительность виброгрохотов определяют по формуле

$$Q_T = K \cdot S \cdot q \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3. \quad (4.4)$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от вида сортируемого материала;

$S$  – площадь сита,  $m^2$ ;

$q$  – удельная производительность  $1 m^2$  сита, зависящая от размера ячеек,  $m^3 / (m^2 \cdot ч)$ ;

$k_1$  – коэффициент, учитывающий мокрый способ грохочения;

$k_2$  – коэффициент, зависящий от содержания зерен нижнего сорта в исходном материале;

$k_3$  – коэффициент, зависящий от содержания в нижнем сорте зерен, размер которых меньше  $1/2$  размера ячейки сита.

Материал, способ грохочения и коэффициенты  $q$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  берутся из таблицы 4.3.

Таблица 4.3 – Значения коэффициентов  $q$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ 

Параметры	Размерность	Значение									
		3	5	7,5	10	20	30	40	60	80	100
$d$	мм	3	5	7,5	10	20	30	40	60	80	100
$q$	$\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	2,5	4	6	10	21	28	36	48	60	83
$k_1$		3,4	3	2,6	2,1	1,5	1,1	1	1	1	1
Содержание зерен нижнего сорта в материале	%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
$k_2$		0,58	0,66	0,76	0,84	0,92	1	1,08	1,17	1,25	
Содержание в нижнем классе зерен 1/2 ячейки	%	10	30	30	40	50	60	70	80	90	
$k_3$		0,63	0,72	0,82	0,91	1,0	1,09	1,6	1,26	1,37	
Вариант		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Материал		Гравий $K = 1$					Щебень $K = 0,8$				
Способ грохочения		М	С	м	С	М	С	М	С	М	
<i>Примечание</i> – М – мокрый; С – сухой способ грохочения											

### Используемое оборудование и приборы.

Вибрационный грохот, ваттметр П-501, набор сит, мерная емкость, весы.

Порядок выполнения работы:

- определить теоретическую мощность, необходимую для работы вибрационного грохота, по формуле (4.3);
- объяснить расхождение теоретической и опытной мощностей;
- определить производительность вибрационного грохота по формуле (4.4);
- результаты теоретических и экспериментальных данных занести в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты эксперимента

$S$ , $\text{м}^2$	$d_c$ , мм	$Q$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	$Q_T$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	$P_\Sigma$ , кВт	$P_T$ , кВт	$\varepsilon$ , %

## 5 Лабораторная работа № 5. Шаровая мельница

**Цель работы:** изучение устройства и принципа действия барабанных мельниц с шаровой загрузкой, определение кинетики процесса помола и расчета основных параметров мельницы.

### Состав и устройство модели.

В производстве цемента, керамики и стекла для грубого и тонкого помола

материалов широко применяют шаровые мельницы. Принцип действия шаровых мельниц основан на измельчении материала ударом и частично истиранием свободнопадающих мелющих тел во вращающемся барабане.

Модель (рисунок 5.1) состоит из приводного электродвигателя 7, планетарного редуктора 2, кинематически связанного с барабаном 3 посредством муфты 4. Крутящий момент передается на цапфы барабана, которые опираются на подшипниковые опоры 5, 6, связанные общей рамой с приводом.

С помощью пускового устройства 7 приводной электродвигатель 7, приводит во вращение барабан 3 через муфту 4 и редуктор 2 с понижением частоты вращения.

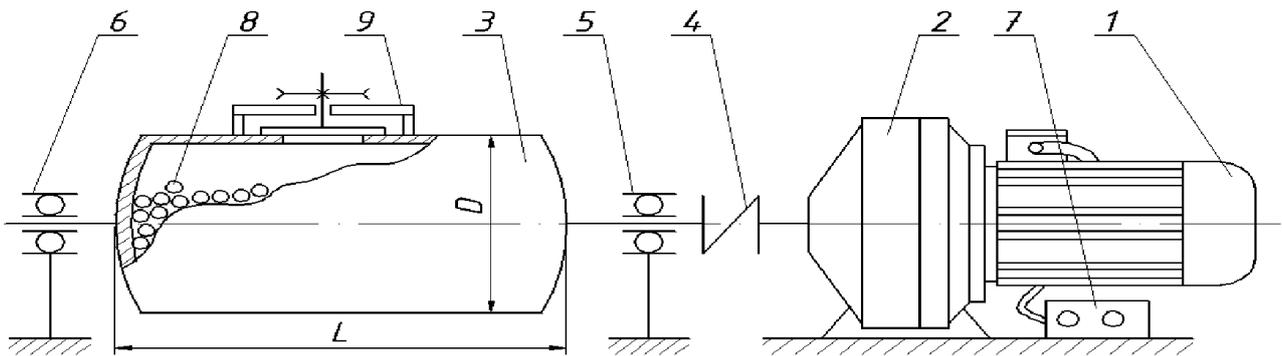


Рисунок 5.1 – Схема шаровой мельницы

### Теоретические положения и пример расчета мельницы.

Частоту вращения барабана  $n$ ,  $\text{с}^{-1}$ , определяют по формуле

$$n = \frac{2 \cdot (5\varphi + 2)}{15 \sqrt{D_0}}, \quad (5.1)$$

где  $\varphi$  – коэффициент заполнения мельницы шарами,  $\varphi = 0,28 \dots 0,34$ ;

$D_0$  – внутренний диаметр барабана, м.

Для расчета производительности определяют объем камеры измельчения  $V$ ,  $\text{м}^3$ , по формуле

$$V = \frac{\pi \cdot D_0^2 \cdot L_0}{4}, \quad (5.2)$$

где  $L_0$  – внутренняя длина барабана, м.

Массу мелющих тел  $m_{ш}$ , т, рассчитывают по формуле

$$m_{ш} = \varphi \cdot \mu \cdot \rho_{мет} \cdot V, \quad (5.3)$$

где  $\mu$  – коэффициент пустотности загрузки,  $\mu = 0,5 \dots 0,6$ ;

$\rho_{мет}$  – плотность мелющих тел,  $\rho_{мет} = 7,8 \text{ т/м}^3$ .

Производительность  $Q_P$ , т/ч, определяют по формуле

$$Q_P = 6,45V \cdot \sqrt{D_0} \cdot \left(\frac{m_{ш}}{V}\right)^{0,8} \cdot q \cdot K, \quad (5.4)$$

где  $q$  – удельная производительность мельницы на 1 кВт полезной мощности (может рассчитываться как отношение  $m_{з.п}/t$ ); для цементного клинкера и кварца обычно  $q = 0,03...0,06$  т/ч;

$K$  – коэффициент тонины помола, зависящий от остатка на сите № 008 (таблица 5.1).

Мощность двигателя привода барабанной мельницы с учетом массы измельчаемого материала (принимается обычно  $m_M = 0,14m_{ш}$ )  $P$ , кВт, определяют по формуле

$$P = \frac{0,45\pi \cdot g \cdot D_0 \cdot m_M \cdot n}{\eta_{л}}, \quad (5.5)$$

где  $\eta_{л}$  – КПД привода.

Таблица 5.1 – Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Тонкость помола, $A_{008}, \%$	5	7	9	11	13	15	17	19	20	7	8	10
$K$	0,77	0,86	0,91	1,04	1,13	1,21	1,29	1,37	1,42	0,86	0,89	1,01

### Используемое оборудование, приборы и материалы.

Отбор проб для изучения кинетики измельчения осуществляется через некоторые равные промежутки времени. Масса пробы из-за малости объема измельчаемого материала не должна превышать 50 г.

Крупность загружаемого материала к диаметру шара не должна превышать соотношения  $D_M/D_{ш} = 0,1$ .

Мощность, потребляемая электродвигателем, фиксируется общим ваттметром П-501. При измерении мощности предел измерений ваттметра должен подбираться таким, чтобы использовалось не менее 2/3 шкалы прибора.

В связи с тем, что однофазный прибор используют для измерения мощности в трехфазной сети, его показания необходимо умножить на поправочный коэффициент  $\sqrt{3} = 1,73$ .

Таким образом, значение экспериментально определенной мощности вычисляют по формуле

$$N_{э} = z \cdot n \cdot \sqrt{3}. \quad (5.6)$$

где  $n$  – число делений показания;

$z$  – цена деления шкалы на данном режиме,  $z = \frac{V_{II} \cdot A_{II}}{n_m}$ ;

$n_m$  – число делений на шкале прибора;

$V_{II}$  – предел измерения по напряжению, В;

$A_{II}$  – предел измерения по току, А.

### Порядок выполнения работы.

После тщательного изучения теоретических положений данной лабораторной работы, получения задания от преподавателя и выполнения расчетов основных параметров мельницы необходимо выполнить экспериментальную часть работы в следующей последовательности:

– загрузить барабан мельницы на расчетную степень заполнения камеры измельчения  $m_{ш}$ ;

– загрузить измельчаемый материал с учетом максимальной исходной крупности  $m_{ш} = 1...2$  кг;

– загерметизировать люк загрузки и произвести измельчение с контролем потребляемой мощности и остатка на сите с помощью П-501, РП-5;

– данные экспериментов занести в таблицу 5.2;

– определить массу готового материала за время измельчения;

– определить энергоемкость процесса помола  $q$ , Вт·ч/кг.

Таблица 5.2 – Результаты экспериментальных исследований

Опыт	$t$ , с	$P$ , Вт	$A_{008}$ , %	$m_m$ , КГ	$M_{г.п.}$ , кг	$q$ , Вт·ч/кг
1	60					
2	120					
3	180					
4	240					
5	300					

### Содержание отчета.

В отчете приводятся данные, полученные путем теоретического расчета основных параметров и полученные экспериментальным путём. Табличные значения экспериментальных и теоретических исследований приводятся с последующими выводами. Делается заключение о сходимости полученных результатов.

Отчет должен содержать схему модели мельницы, таблицу и график экспериментальных исследований, теоретические расчеты и др.

## 6 Лабораторная работа № 6. Исследование работы и определение мощности вибрационной мельницы

**Цель работы:** изучение принципа действия вибромельниц, методики расчета мощности, необходимой для привода вибромельниц.

### Устройство лабораторной мельницы.

Применение вибрационных мельниц для сверхтонкого помола имеет ряд преимуществ по сравнению с обычными шаровыми мельницами:

- скорость измельчения значительно выше, чем у обычных мельниц;
- удельный расход энергии на 20 % меньше, чем у шаровой мельницы;
- размеры вибромельниц гораздо меньше размеров мельниц других типов той же производительности.

Лабораторная вибромельница (рисунок 6.1) гирационного типа состоит из электродвигателя 7, на валу которого с обеих сторон установлены эксцентрики. На эксцентрики посредством подшипников 2 установлены кронштейны 3 с помольными камерами 4. Угол установки помольной камеры в кронштейне 3 может изменяться от 0° до 90°.

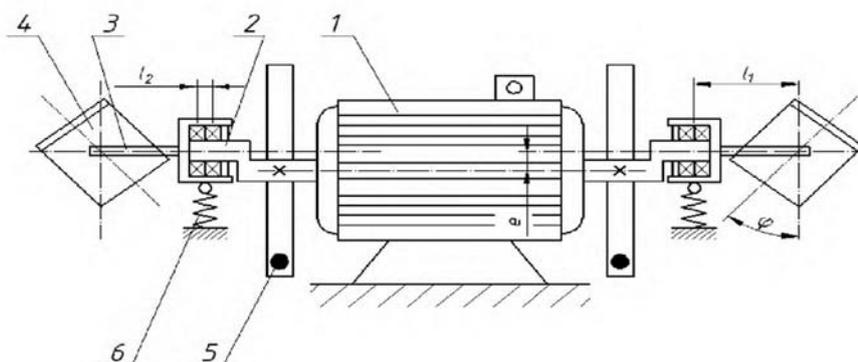


Рисунок 6.1 – Лабораторная вибромельница

Для уравновешивания вибромельницы на валу электродвигателя рядом с эксцентриками установлены маховики с противовесами 5.

Реактивный момент подшипников 2 на кронштейне 3 компенсируется с помощью упругих элементов 6.

### Определение мощности, потребляемой мельницей.

Мощность, потребляемую мельницей, определяют по формуле

$$P = P_{ЗАГР} + P_{ВИБР} + P_{П} + P_{ЗВ}, \quad (6.1)$$

где  $P_{ЗАГР}$  – мощность, расходуемая на движение загрузки, Вт;

$P_{ВИБР}$  – мощность, необходимая на поддержание вибрации, Вт;

$P_{П}$  – мощность, теряемая в упругой опоре, Вт;

$P_{ЗВ}$  – мощность, теряемая на звуковое излучение, Вт.

Мощность, расходуемую на движение загрузки, определяют по формуле

$$P_{ЗАГР} = \frac{1}{2m \cdot \alpha^2 \cdot \omega^3 \cdot K_P}, \quad (6.2)$$

где  $m$  – масса загрузки, состоящая из шаров и измельчаемого материала ( $m_{ш} = 1,6$  кг,  $m_m = 0,3$  кг) в каждой камере;

$\alpha$  – амплитуда колебаний, м;

$\omega$  – частота вращения вибровозбудителя,  $c^{-1}$ ;

$K_P$  – коэффициент мощности, при  $\varphi = 45^\circ$   $K_P = 0,95 \dots 0,97$ .

Мощность на трение в подшипниках вибратора определяют по формуле

$$P_{ВИБР} = A_{ТР} \cdot \omega = f \cdot m_u \cdot \omega^3 \cdot a \cdot \pi \cdot d \cdot (e_1 / e_2). \quad (6.3)$$

где  $A_{ТР}$  – работа сил трения за оборот, Дж;

$f$  – коэффициент трения качения;

$m_u$  – масса помольной камеры с загрузкой,  $m_u = (m_k + k^3 \cdot m)$ , где  $m_k = 1,4$  кг;

$k^3$  – коэффициент присоединения загрузки,  $k^3 = 0,25 \dots 0,4$ ;

$d$  – диаметр внутреннего кольца подшипника, м;

$e_1$  – величина консоли крепления камеры на кронштейне, м;

$e_2$  – расстояние между двумя подшипниками, м.

Потери мощности в упругой опоре  $P_n$  и  $P_{зв}$  на излучение звука составляют менее 1 % от общих потерь и поэтому не учитывают.

### **Используемое оборудование.**

Тахометр, весы аналитические, индикатор, штангенциркуль, ваттметр, секундомер, пневморассеиватель РП-5 с ситом  $A_{008}$ .

### **Порядок проведения лабораторной работы.**

После включений вибромельницы и выхода ее на установившийся режим снимаются показания ваттметра, опыты повторяются при разных углах установки помольных камер.

### **Оформление отчета.**

В отчете проводятся сопоставление результатов теоретического расчета и данных из эксперимента, анализ влияния массы загрузки  $m$ , амплитуды колебаний  $\alpha$ , угла установки помольных камер  $\varphi$  на потребляемую мощность. Оформленный отчет представляется к защите.

## 7 Лабораторная работа № 7. Исследование рабочего процесса смесителя принудительного действия

**Цель работы:** определение качества смешивания, производительности и потребляемой мощности смесителя.

**Используемое оборудование.** Одновальный лабораторный смеситель, линейка, мерная емкость, весы, пробоотборник, набор сит, лабораторный конус № 1.

### Общие сведения.

Смешивание – один из основных процессов строительного производства, имеющий своей целью получить из нескольких материалов однородную смесь, обладающую новыми свойствами по сравнению с исходными свойствами компонентов.

При смешивании частицы компонентов перемещаются в объеме смесителя относительно друг друга под воздействием импульсов, передаваемых смешиваемой среде рабочими органами. Из всех видов смешивания наиболее распространено механическое, осуществляемое в смесителях гравитационного и принудительного действия.

Смесители принудительного действия являются наиболее перспективными машинами, т. к. позволяют получать смеси любой консистенции за короткое время.

Основной параметр смесителей циклического действия – емкость замеса, смесителей непрерывного действия – производительность.

Смесители принудительного действия выпускаются двух видов: с горизонтальными смесительными валами и корытообразным корпусом (лотковые) и с вертикальными смесительными валами и цилиндрическим чашеобразным корпусом (тарельчатые).

### Теоретическая часть. Определение потребляемой мощности.

В общем случае момент, необходимый для вращения лопасти (рисунок 7.1), определяют по формуле

$$M = \int_{r_в}^{r_н} k \cdot r \cdot b \cdot d \cdot r = k \cdot b \cdot \frac{(r_н^2 - r_в^2)}{2}, \quad (7.1)$$

где  $k$  – коэффициент сопротивления движению лопасти;

$b$  – проекция ширины лопасти на плоскость, перпендикулярную направлению движения, м;

$r_н, r_в$  – радиусы наружной и внутренней кромок лопасти, м.

Для смесителей с горизонтальными валами, имеющих лопасти одинакового размера, мощность двигателя  $N$ , кВт, определяют по следующим формулам:

$$N = \frac{M \cdot \omega \cdot z \cdot \varphi}{1000\eta}, \quad (7.2)$$

$$N = \frac{\omega \cdot k \cdot b \cdot (r_n^2 - r_g^2) \cdot z \cdot \varphi}{2000\eta}, \quad (7.3)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вала, рад/с;

$z$  – число лопастей;

$\eta$  – КПД привода;

$\varphi$  – коэффициент, учитывающий степень нагружения лопастей в смеси (для лотковых смесителей его можно принять равным 0,5).

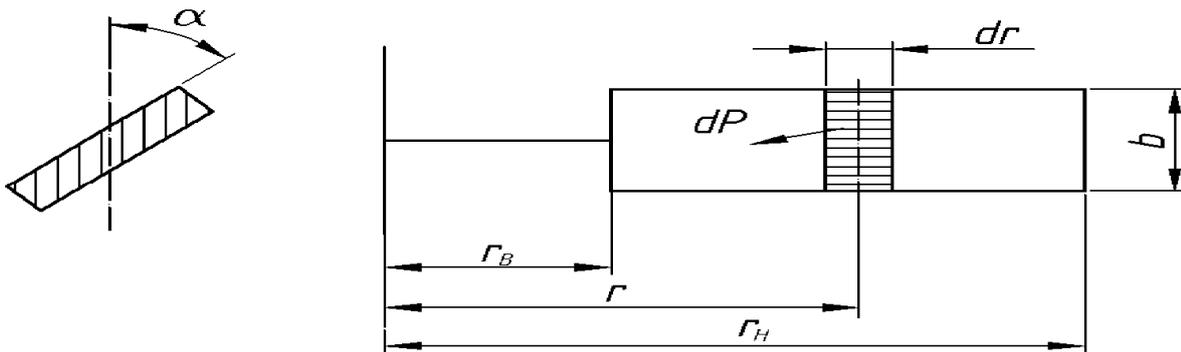


Рисунок 7.1 – Схема к расчету мощности привода принудительных смесителей

Таблица 7.1 – Формулы расчета коэффициента сопротивления тяжелой бетонной смеси

Вид бетонной смеси	Осадка конуса, см	Жесткость	Зависимость коэффициента сопротивления $k$ , кПа, от средней линейной скорости лопастей $V_{cp}$ , м/с
Жесткая	0	2...18	$k = 28,5 + 4,88V_{cp}^2 + 1,21V_{cp}$
Малоподвижная	0...2	4...12	$k = 25,7 + 4,88V_{cp}^2 - 1,51V_{cp}$
Подвижная	4...6	–	$k = 20,9 + 4,88V_{cp}^2 - 7,24V_{cp}$
Весьма подвижная	10...12	–	$k = 20,5 + 4,88V_{cp}^2 - 11,79V_{cp}$
Литая	>15	–	$k = 20,1 + 4,88V_{cp}^2 - 14,02V_{cp}$

**Определение качества смешивания.** Степень смешивания является своего рода показателем эффективности смешивания и может быть использована для оценки интенсивности перемешивания.

Для расчета степени смешивания на основе анализа взятых проб применяются различные формулы. Чаще всего используется формула Хиксона и Тени

$$I = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{X_n}, \quad (7.4)$$

где  $n$  – число взятых проб;

$X_1, X_2$  – относительная концентрация взятых проб (масса исходных компонентов).

$$X_i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{i0}}; \quad \Phi_i < \Phi_{i0};$$

$$X_i = \frac{1 - \Phi_i}{1 - \Phi_{i0}}; \quad \Phi_i > \Phi_{i0},$$

где  $\Phi_i, \Phi_{i0}$  – объемные или весовые доли анализируемого компонента в объеме  $i$ -й пробы и во всем смесителе соответственно.

Качественное приготовление бетонной смеси на этапе смешивания оценивают опосредованно с помощью осадки корпуса. При этом смешивание считается хорошим, когда колебания осадки корпуса для проб смеси, взятых из различных объемов корпуса смесителя, составляют не более 1 см. Основным показателем качества бетона является его прочность на сжатие  $R_{сж}$ , т. е. марка бетона. Для определения марки бетона из приготовленной смеси формируют образцы в виде кубиков и производят их разрушение на прессе. Кубы до разрушения должны выстоять 28 сут.

Прочность бетона  $\bar{R}$  в серии образцов оценивают по формуле

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, \quad (7.5)$$

где  $\bar{R}$  – среднее значение прочности бетона серии образца;

$R_i$  – значение прочности отдельного образца;

$n$  – число образцов.

Формула применяется в тех случаях, когда коэффициент вариации прочности бетона не превышает 15 %.

### Определение производительности.

Производительность смесителей циклического действия определяют по формуле

$$\Pi = \frac{V_3 \cdot z}{1000}, \quad (7.6)$$

где  $V_3$  – емкость смесителя (по выходу готовой смеси), л;

$z$  – число циклов в час,  $z = 3600/T$ .

Время одного цикла

$$T = t_1 + t_2 + t_3, \quad (7.7)$$

где  $t_1$  – время загрузки, с;  
 $t_2$  – время смешивания, с;  
 $t_3$  – время выгрузки, с.

Производительность смесителя непрерывного действия рассчитывают по формуле

$$P = 3600F \cdot v_{oc} \quad (7.8)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения материала в смесителе, м<sup>2</sup>;  
 $v_{oc}$  – скорость осевого перемещения материала, м/с.

### Порядок выполнения работы.

Работа выполняется звеньями по три-четыре человека в каждом.

По формулам (7.1) и (7.2) аналитически определить потребляемую мощность и производительность, производя необходимые замеры конструктивных параметров, и построить график зависимости потребляемой мощности от угла установки лопастей. Сделать вывод.

## 8 Лабораторная работа № 8. Определение экспериментальной характеристики вибраторов для уплотнения бетонных смесей

**Цель работы:** изучение устройства и принципа работы поверхностного и глубинного вибраторов, правил эксплуатации и техники безопасности при работе с ними; расчет основных параметров вибратора в соответствии с заданным вариантом (таблица 8.1).

Таблица 8.1 – Варианты заданий с исходными данными

Вариант	Поверхностный вибратор			Глубинный вибратор		
	Масса вибратора $m$ , кг	Возмущающая сила $P$ , кН	Площадь основания плиты $F$ , м <sup>2</sup>	Наружный диаметр корпуса $d_k$ , мм	Тип Вибровозбудителя	Толщина вибрируемого слоя $h$ , м
1	12	2	0,4	25	Планетарный с внутренней обкаткой	0,30
2	16	6	0,6	30		0,30
3	20	10	0,8	38		0,30
4	28	14	1,0	45		0,35
5	32	16	1,1	50		0,35
6	36	18	1,2	54	Планетарный с наружной обкаткой	0,35
7	40	20	1,3	60		0,35
8	51	22	1,4	65		0,40
9	64	26	1,6	70		0,40
10	80	30	1,8	80		0,40

### Теоретическая часть.

Режим вибрационного уплотнения характеризуется амплитудой и частотой колебаний, продолжительностью вибрирования и мощностью, необходимой для вибрирования бетонной смеси.

Оптимальная частота колебаний зависит от размера частиц и подвижности бетонной смеси. Для смесей с крупными фракциями заполнителей необходима более низкая частота колебаний с наибольшей амплитудой, а для смесей с мелкими – наиболее высокая частота с меньшей амплитудой. Вибратор состоит из вибровозбудителя (вибрационного механизма), рабочего органа и амортизаторов. Электромеханические вибровозбудители по конструктивному исполнению бывают дебалансные, планетарные и бегунковые. Дебалансный вибровозбудитель состоит из корпуса, в котором запрессован статор асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором. Вал электродвигателя установлен на шарикоподшипниках, последние смазываются консистентной смазкой, вытекание которой ограничивают лабиринтные уплотнения. На консольных частях вала размещены подвижные и неподвижные части дебалансов. Изменяя их расположение относительно друг друга, можно получить четыре различных статических момента массы дебалансов и соответственно четыре значения возмущающей силы.

Статический момент массы дебалансов определяется по формуле

$$m_0 \cdot r_0 = \frac{3600P}{\omega^2}, \quad (8.1)$$

где  $m_0$  – масса дебалансов, кг;

$r_0$  – радиус вращения центра масс дебалансов, м;

$P$  – возмущающая сила, Н;

$\omega$  – угловая скорость вращения дебалансов, с.

Амплитуда колебаний вибратора

$$A = \frac{m_0 \cdot r_0}{m + m_1}, \quad (8.2)$$

где  $m$  – масса вибратора, кг (см. таблицу 8.1);

$m_1$  – масса плиты, т (принять  $m_1 = 0,5 \dots 1,1$ ).

В дебалансных вибраторах ненаправленного действия вектор центробежной силы  $P$  вращается с угловой скоростью  $W$ , а проекция этого вектора на ось  $x$  изменяется по гармоническому закону

$$P_x = P \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (8.3)$$

где  $P_x$  – возмущающая сила, Н.

Амплитудное значение возмущающей силы равно центробежной силе:

$$P = m \cdot r \cdot \omega^2, \quad (8.4)$$

где  $P$  – амплитудное значение возмущающей силы, Н;  
 $m$  – масса дебаланса, кг;  
 $r$  – радиус вращения центра тяжести дебаланса, м;  
 $\omega$  – угловая скорость вращения,  $\text{с}^{-1}$ .

Если вибровозбудитель закрепить в центре рабочей площадки, получают поверхностный вибратор (рисунок 8.1), техническую производительность которого определяют по формуле

$$\Pi = \frac{3600F \cdot h}{t_1 + t_2}, \quad (8.5)$$

где  $\Pi$  – производительность уплотнения бетонной смеси,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $F$  – площадь контакта,  $\text{м}^2$ ;  
 $h$  – глубина проработки, м;  
 $t_1$  – продолжительность вибрирования на одном месте, с;  
 $t_2$  – продолжительность перестановки вибратора, с.

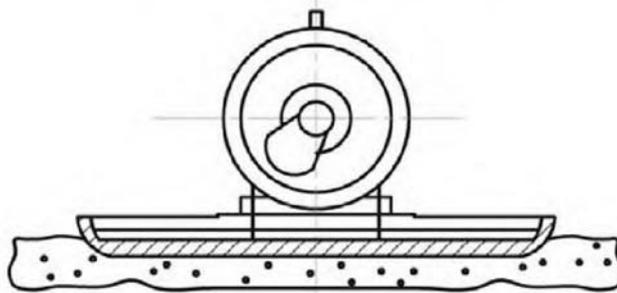


Рисунок 8.1 – Поверхностный вибратор

Планетарный вибровозбудитель находит применение в бесподшипниковых вибростержневых глубинных вибраторах (рисунок 8.2).

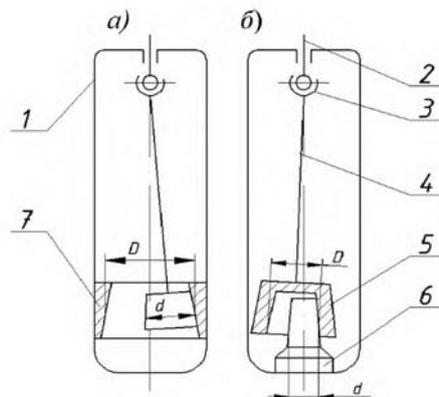


Рисунок 8.2 – Планетарный вибровозбудитель

Различают вибровозбудители с наружной и внутренней обкаткой. В первом случае дебаланс обкатывается своей наружной поверхностью внутри кольца; во втором - пустотелый бегунок обкатывается своей внутренней поверхностью

вокруг стержня.

Техническую производительность глубинного вибратора определяют по формуле

$$P_{об} = \frac{3600\pi \cdot R^2 \cdot h \cdot k}{t_1 + t_2}, \quad (8.6)$$

где  $R$  – радиус действия вибратора, м (принять равным 5...7 значениям наружного диаметра корпуса (см. таблицу 8.1));

$h$  – толщина вибрируемого слоя бетона, м;

$k$  – коэффициент перекрытия зон действия вибратора (принять  $k = 0,65$ );

$t_1 + t_2$  – продолжительность вибрирования на одном месте и время перестановки вибратора соответственно, с (принять  $t_1 = 30$ ,  $t_2 = 1...5$ ).

Число колебаний корпуса вибратора  $\omega$  зависит от соотношения радиусов бегунка  $r = \frac{d}{2}$  и беговой дорожки  $R = \frac{D}{2}$  (см. рисунок 8.2) и определяется по следующим формулам:

– для вибровозбудителя с внутренней обкаткой

$$\omega_B = \frac{\omega \cdot R}{R - r}, \quad (8.7)$$

– для вибровозбудителя с наружной обкаткой

$$\omega_H = -\frac{\omega \cdot k}{R - r}, \quad (8.8)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения гибкого вала.

Знак «-» в формуле показывает, что вращение бегунка и его обкатка происходят в различных направлениях.

Начертить график зависимости  $\omega$  от  $\frac{R}{r}$ ,  $1 \leq \frac{R}{r} \leq 3$ .

При заданной частоте вращения вала электродвигателя число обкатываний бегунка с внешней обкаткой

$$n_1 = \frac{d \cdot n_0}{D - d}, \quad (8.9)$$

а при обкатке бегунка вокруг центрального стержня

$$n_2 = \frac{D \cdot n_0}{D - d}. \quad (8.10)$$

где  $n_1$ ,  $n_2$  – частоты колебаний, колебаний/мин;

$D$  – диаметр внешней обкатываемой поверхности, м;

$d$  – частота вращения электродвигателя, мин<sup>-1</sup>.

При малой разнице диаметров  $D$  и  $d$  частота колебаний достигает 300...350 Гц.

### **Порядок выполнения работы.**

1 После изучения теоретической части, конструкции вибровозбудителей и безопасных приемов работ с ручными вибраторами измерить при помощи ваттметра потребляемую мощность поверхностных и глубинных вибраторов.

Произвести замер частоты вынужденных колебаний с помощью тензометрического вибрографа при работе глубинного вибратора в уплотненной среде и на воздухе.

По результатам непосредственных замеров габаритных размеров рабочего оборудования и дебалансов вибровозбудителей в соответствии с теоретическими зависимостями определить расчетным путем возмущающую силу, частоту колебаний и производительность поверхностных и глубинных вибраторов.

2 Во избежание несчастных случаев запрещается:

- начинать работу, не убедившись в исправности вибратора, прочности крепления к нему токоподводящего кабеля и надежности заземления корпуса или источника питания;

- начинать работу при неисправном, натянутом или скрученном токоведущем кабеле;

- производить какой-либо вид ремонта, чистку, смазку и т. и. при включенном вибраторе;

- работать электрическими ручными вибраторами без резиновых сапог и перчаток.

3 Отчет оформляется индивидуально в следующей последовательности:

- схемы включения вибраторов в сеть;

- конструкции вибровозбудителей;

- теоретическая часть;

- методика измерений и результаты вычислений основных параметров;

- сопоставление полученных результатов с технической характеристикой серийных вибровозбудителей.

## **9 Лабораторная работа № 9. Изучение конструкции, принципа действия и определение основных параметров виброплощадки**

**Цель работы:** изучение конструкции и принципа работы виброплит и вибротрамбовок, изучение правил эксплуатации и техники безопасности при работе с вибромашинами, расчёт основных параметров виброплит и вибротрамбовок, определение результатов уплотнения дорожно-строительных материалов.

### **Теоретическая часть.**

Вибрационные плиты применяются для уплотнения грунтов, гравийно-щебёночных и асфальтобетонных смесей. Они могут быть:

- по способу перемещения – ручными, самопередвигающимися и навесными;
- по характеру колебаний – с круговыми и направленными одночастотными и поличастотными колебаниями;
- по виду привода возбудителя колебаний – механическими, гидравлическими и электрическими.

Наибольшее распространение в дорожном строительстве имеют самопередвигающиеся вибрационные плиты с механическим приводом возбудителя колебаний от двигателя внутреннего сгорания.

Ручные вибрационные плиты применяются на объектах с небольшим объёмом работ в стеснённых условиях, в том числе обратных засыпок.

Самодвижущиеся вибрационные плиты эффективно применять для уплотнения дорожно-строительных материалов в небольшом объёме работ, в труднодоступных местах и там, где нерационально использование других уплотняющих средств.

Поверхность контакта виброплит с уплотняемым материалом представляет собой плоскость. Возможность уплотнения виброплитой того или иного вида дорожно-строительного материала определяется её массой (весом).

В настоящее время наибольшее распространение получили виброплиты массой 60...500 кг, с частотой колебаний 45...100 Гц, возмущающей силой 5...50 кН и мощностью привода 2,5...8,0 кВт. Ширина уплотняемой полосы колеблется от 0,4 до 1,0 м.

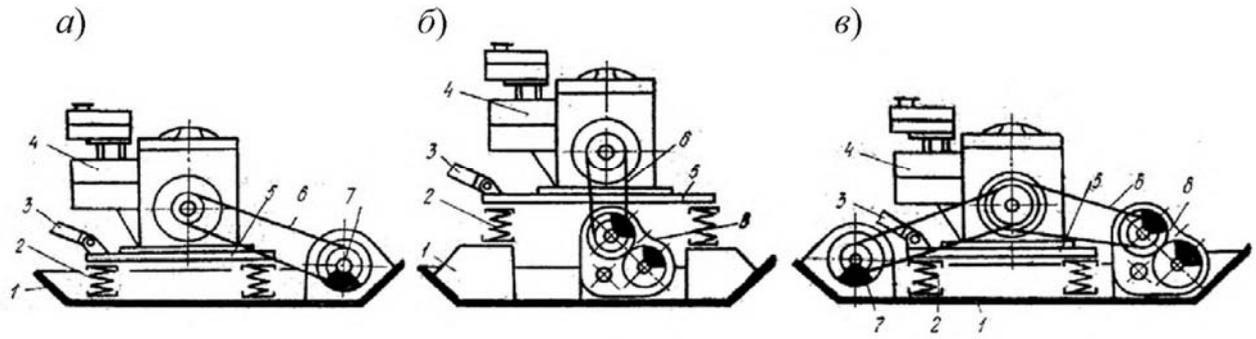
Самодвижущиеся виброплиты состоят из рабочей (опорной) плиты, на которой закреплены один или два вибровозбудителя колебаний и установлена на упругих амортизаторах опорная рама с приводным двигателем, соединённым с вибровозбудителем при помощи клиноременной передачи.

Самопередвижение виброплиты происходит за счёт горизонтальной составляющей возмущающей силы в результате смещения вибровозбудителя круговых колебаний относительно центра её тяжести (рисунок 9.1) или наклона от вертикали суммарной возмущающей силы вибровозбудителя направленных колебаний.

Установка опорной рамы на упругих амортизаторах предохраняет двигатель и трансмиссию от колебаний рабочей плиты.

В качестве упругих амортизаторов используются пружины или резино-металлические элементы.

Режим вибрационного уплотнения характеризуется амплитудой колебаний, частотой колебаний, продолжительностью вибрирования (числом проходов вибротрамбовки по одному следу) и мощностью необходимой для уплотнения материала. Оптимальная частота колебаний зависит от физикомеханических свойств и влажности уплотняемого материала.



*a* – круговыми; *б* – направленными; *в* – поличастотными; 1 – плита; 2 – упругие амортизаторы; 3 – рукоятка управления; 4 – двигатель; 5 – опорная рама; 6 – клиноременная передача; 7 – вибровозбудитель круговых колебаний; 8 – возбудитель направленных колебаний

Рисунок 9.1 – Самодвигающиеся вибрационные плиты с колебаниями

Статический момент массы дебалансов определяется по формуле

$$m_0 r_0 = \frac{3600 \cdot P}{\omega^2}, \quad (9.1)$$

где  $m_0$  – масса дебалансов, кг;

$r_0$  – радиус вращения центра масс дебалансов, м;

$P$  – возмущающая сила, Н;

$\omega$  – угловая скорость вращения дебалансов,  $\text{с}^{-1}$ .

Амплитуда колебаний вибратора

$$A = \frac{m_0 r_0}{m + m_1}, \quad (9.2)$$

где  $m$  – масса вибратора, кг;

$m_1$  – масса плиты, кг.

В дебалансных вибраторах ненаправленного действия вектор центробежной силы  $P$  вращается с угловой скоростью  $\omega$ , а проекцию этого вектора на ось  $x$  изменяется по гармоническому закону

$$P_x = P \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (9.3)$$

где  $P_x$  – возмущающая сила, Н.

Амплитудное значение возмущающей силы равно центробежной силе

$$P = m \cdot r \cdot \omega^2, \quad (9.4)$$

где  $P$  – амплитудное значение возмущающей силы, Н;

$m$  – масса дебаланса, кг;

$r$  – радиус вращения центра тяжести дебаланса, м;  
 $\omega$  – угловая скорость вращения, с<sup>-1</sup>.

Если вибровозбудитель закрепить на центре рабочей площадки, то получим виброплиту (поверхностный вибратор), техническая производительность которой определяется по формуле

$$P = F \cdot h \frac{3600}{t_1 + t_2}. \quad (9.5)$$

где  $P$  – производительность уплотнения виброплитой;

$F$  – площадь контакта виброплиты с поверхностью уплотняемого материала;

$h$  – глубина проработки, м;

$t_1$  – продолжительность вибрирования на одном месте, с;

$t_2$  – продолжительность перестановки виброплиты, с.

### Используемое оборудование.

Для проведения лабораторной работы необходимы ящик с грунтом, плотномер (ударник) ДОРНИИ, виброплита VP2050Aw.

**Сфера применения.** Виброплита служит для уплотнения грунта и используется в садовом и ландшафтном, подземном, дорожном строительстве, а также при укладке тротуарной плитки.

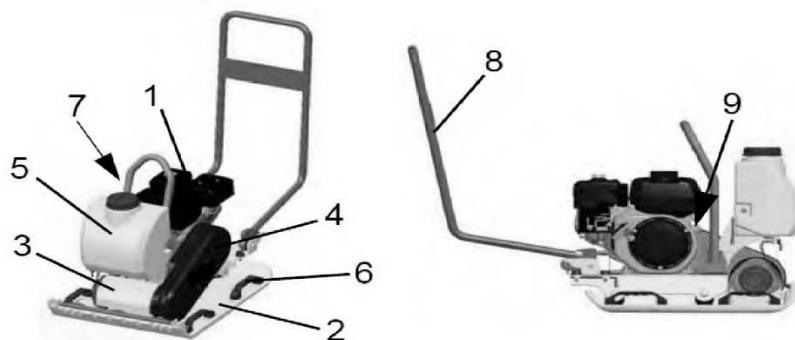
**Краткое описание.** Виброплита представляет собой машину для уплотнения грунта.

Вибрация, требуемая для уплотнения, обеспечивается эксцентриком, неподвижно соединенным с плитой основания (таблица 9.1, рисунок 9.2).

Двигатель привода представляет собой четырёхтактный бензиновый двигатель, запускается посредством шнурового стартера, всасывает воздух для горения топлива через воздушный фильтр сухого типа и имеет воздушное охлаждение.

Таблица 9.1 – Техническая характеристика VP2050Aw

Параметр	Единица измерения	Числовое значение
Центробежная сила виброплиты	кН	20
Число колебаний	Гц	98
	мин <sup>-1</sup>	5800
Площадь обрабатываемой поверхности	м <sup>2</sup> /ч	870
Ширина уплотнения	мм	503
Номинальная мощность	кВт	3,6
Рабочая масса	кг	110
Номинальное число оборотов двигателя	мин <sup>-1</sup>	3600
Значение вибрации	м/с <sup>2</sup>	3Д



1 – двигатель привода; 2 – плита основание; 3 – эксцентрик; 4 – защита клинового ремня; 5 – водяной бак; 6 – рукоятка; 7 – заводская табличка; 8 – рукоять управления; 9 – выключатель двигателя

Рисунок 9.2 – Компоненты вибрационной плиты VP2050Aw

### Порядок выполнения работы.

1 После изучения теоретической части, конструкции виброплиты VP2050Aw и безопасных приёмов работы с ручными вибромеханизмами произвести уплотнения грунта в грунтовой ёмкости.

2 Произвести уплотнения и замерить плотность грунта в зависимости от числа проходов виброплиты по одному следу.

3 По результатам уплотнения построить график зависимости плотности  $\gamma(c)$  от числа проходов виброплиты  $n$ .

## 10 Лабораторная работа № 10. Изучение конструкции, принципа действия и определение основных параметров шнекового питателя

**Цель работы:** изучение конструктивных особенностей, принципа действия шнекового питателя, ознакомление с методикой расчета производительности и потребляемой мощности шнекового питателя.

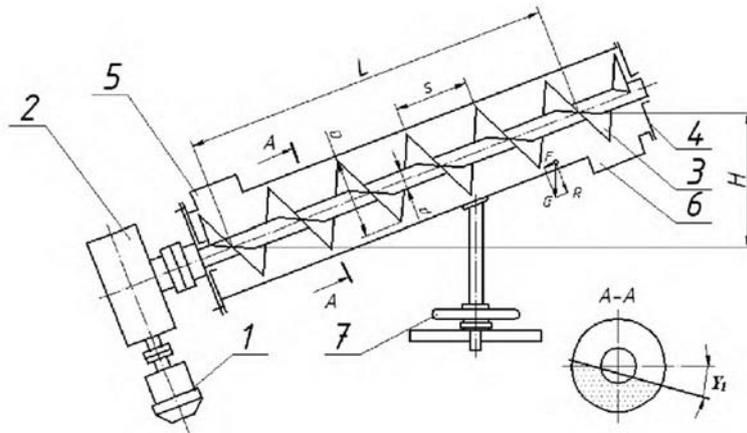
**Оборудование, приборы и инструменты:** шнековый питатель с переменным углом установки; секундомер; тахометр; линейка измерительная, 1000 мм; кусочки материала.

**Конструктивные особенности и принцип действия шнекового питателя.**

Шнековый питатель (конвейер) – это устройство, непрерывно перемещающее материал посредством вращающегося в неподвижном кожухе (корпусе) винта, называемого шнеком (рисунок 10.1).

Шнековые винтовые питатели нашли широкое применение в установках, выполняющих функции транспортирования в сочетании с технологическими

операциями. В зависимости от угла наклона  $\beta$  оси шнека к горизонту их подразделяют на горизонтальные ( $\beta = 0$ ), пологонаклонные ( $0 < \beta < 30$ ), крутонаклонные ( $30 < \beta < 60$ ), вертикальные ( $60 < \beta < 90$ ). Выпускают шнеки тихоходные и быстроходные; стационарные и передвижные.



1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – шнек; 4 – корпус; 5 – загрузочный патрубок; 6 – разгрузочный патрубок; 7 – устройство для изменения угла наклона

Рисунок 10.1 – Кинематическая схема винтового питателя

Корпус шнека изготавливают из трубы или листовой стали толщиной 3...5 мм. В промышленности строительных материалов встречаются шнеки следующих конструкций:

- сварные, в которых вал шнека изготовлен из трубы с приваренными к ней цапфами и винтовой поверхностью по длине трубы (вала);

- литые из отбеленного чугуна с большой сопротивляемостью износу.

В зависимости от целевого назначения питателя предусматривают шнеки:

- со сплошной винтовой поверхностью, использующиеся для перемещения мелко кусковых и сыпучих материалов;

- лопастные, состоящие из установленных на валу по винтовой линии лопастей, которые при транспортировке рыхлят и перемешивают материал;

- фасонные с вырезами по наружной кромке винтовой поверхности, предназначенные для перемещения слежавшихся масс.

В корпусе питателя укреплены подшипники, на которые опирается вал шнека. На конце вала, где воспринимаются осевые нагрузки, возникающие при транспортировании материала в горизонтальных питателях, устанавливают упорный и радиальный подшипники. В наклонных питателях этот подшипниковый узел воспринимает еще и составляющую массу шнека. Другой конец вала опирается на радиальный подшипник.

Материал, поступающий через загрузочный патрубок 5 в корпус 4, перемешивается в нем при помощи шнека 3, вращающегося подобно гайке винта, удерживаемого от проворачивания силами трения. Сила трения материала о внутреннюю поверхность корпуса питателя возникает в результате действия инерционных сил, вызванных вращением шнека, и массы транспортируемого

материала. Если сила прижатия и связанная с ней сила трения о внутреннюю поверхность корпуса будут достаточно велики, то окружная скорость частиц материала будет меньше окружной скорости винтовой поверхности. Благодаря разности этих скоростей материал начнет перемещаться вдоль корпуса питателя.

### Основные расчетные формулы.

Характерная особенность горизонтальных и пологонаклонных винтовых транспортеров состоит в том, что угол поворота свободной поверхности слоя перемещаемого материала не превышает угол естественного откоса материала в движении:

$$Y_1 \leq Y \approx 0,7Y_0, \quad (10.1)$$

где  $Y_1$  – угол поворота свободной поверхности слоя материала (см. рисунок 10.1);

$Y$  – угол естественного откоса материала в движении;

$Y_0$  – угол естественного откоса материала в покое (таблица 10.1).

Учитывая это положение, производительность шнекового питателя определяют по формуле

$$Q = \frac{3600\pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot v_T \cdot \gamma \cdot c \cdot \psi}{4}, \quad (10.2)$$

где  $D$  – наружный диаметр шнека, м;

$d$  – диаметр вала шнека, м;

$v_T$  – теоретическая скорость транспортирования материала вдоль корпуса шнека,  $v_T = S \cdot n$ ;

$n$  – частота вращения шнека,  $c^{-1}$ ;

$\gamma$  – насыпная плотность материала,  $t/m^3$  (см. таблицу 10.1);

$c$  – коэффициент, учитывающий проскальзывание материала относительно шнека;

$\psi$  – коэффициент заполнения корпуса питателя материалом,  $\psi = 0,2 \dots 0,4$ .

Таблица 10.1 – Углы естественного откоса для различных материалов

Материал	Угол естественного откоса	Угол внутреннего трения	Коэффициент трения материала о корпус питателя	Насыпная плотность материала, $t/m^3$
Песок	30...35	32	0,4	1,65
Гравий	40...45	40...45	0,8...1,0	1,5...1,9
Щебень	40...45	40...45	0,63	1,8...2,0
Гипс	30...35	-	0,65	1,4
Известь	45...50	45...50	-	1,7...1,8
Цемент	30...40	30...40	0,65	1,3...1,6
Земля	30...40	35...40	0,9...1,0	1,2...1,4
Глина	40...45	40...45	0,7...0,9	1,0...1,5

В шнековых питателях материал перемещается поступательно, вдоль оси шнека, поэтому затраты мощности на преодоление сил трения и перемещения материала у горизонтальных и пологонаклонных питателей меньше, чем у вертикальных и крутонаклонных.

Силу тяжести материала, находящегося в корпусе шнека, определяют по формуле

$$G = \frac{\pi(D^2 - d^2) \cdot \gamma \cdot \psi \cdot L \cdot g}{4}, \quad (10.3)$$

где  $L$  – путь транспортирования материала, м;  
 $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

Нормальная и осевая составляющие силы тяжести материала

$$R = G \cdot \cos \beta; \quad P = G \cdot \sin \delta, \quad (10.4)$$

где  $\beta$  – угол установки питателя к горизонту.

Силу трения материала о корпус шнека рассчитывают по формуле

$$T = R \cdot f, \quad (10.5)$$

Продольные силы, действующие на шнек, определяют следующим образом:

$$P + T = \frac{\pi(D^2 - d^2) \cdot \gamma \cdot (H + (L \cdot \cos \beta \cdot f)) \cdot g}{4}, \quad (10.6)$$

где  $H$  – высота подъема материала, м;

$f$  – коэффициент трения материала о корпус питателя (см. таблицу 10.1).

Мощность привода шнекового питателя

$$N = \frac{k \cdot (P + T) \cdot D_0 \cdot n \cdot \operatorname{tg}(\alpha_0 + \delta)}{2000 \eta_{np}}, \quad (10.7)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий сопротивление при движении материала внутри корпуса,  $k = 3,5 \dots 4$ ;

$D_0$  – средний диаметр шнека,  $D_0 = 2/3 D$ ;

$\delta$  – угол трения материала о шнек (см. таблицу 10.1);

$\eta_{np}$  – КПД привода шнекового питателя,  $\eta_{np} = 0,6 \dots 0,85$ ;

$\alpha_0$  – угол подъема винтовой линии шнека на диаметр,

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{S}{\pi \cdot D_0} = \frac{3S}{2\pi \cdot D}, \quad (10.8)$$

где  $S$  – шаг шнека, м.

### Порядок выполнения работы.

- 1 Изучить устройство питателя.
- 2 Начертить его кинематическую схему.
- 3 Определить коэффициент проскальзывания материала относительно шнека в зависимости от угла установки питателя, для чего зафиксировать путь, проделанный материалом в единицу времени при соответствующем угле  $\beta$  (при  $\beta = 0, c = 1$ ).

$$c = 1 - \frac{v_n}{v_T} \quad (10.9)$$

где  $v_n$  – скорость транспортирования материала вдоль корпуса питателя, м/с.

4 Рассчитать производительность шнекового питателя при соответствующих углах  $\beta$  (10, 20, 30, 40, 50) и построить график зависимости  $Q = f(\beta)$ .

5 Рассчитать требуемую мощность электродвигателя при одном из углов установки шнекового питателя.

6 Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 10.2.

Таблица 10.2 – Результаты замеров испытаний

$\beta$ , град	$L$ , м	$D$ , м	$d$ , м	$S$ , м	$n$ , с <sup>-1</sup>	$C$	$Q$ , т/м	$N$ , кВт
0								
10								
15								
20								
30								
40								

## 11 Лабораторная работа № 11. Изучение устройства и определение производительности моторных катков

**Цель работы:** изучение назначения, области применения, общего устройства и рабочего процесса моторных катков, вычерчивание кинематических схем моторных катков, описание назначения, устройства и технологического процесса катка, определение эксплуатационной производительности.

### Общие сведения об устройстве, технологическом процессе и производительности моторных катков.

В рабочих органах уплотняющих машин (моторных катков) используются следующие основные способы: укатка, трамбование, вибрирование.

При уплотнении путем укатки по поверхности уплотняемого слоя перекачивается валец. Под действием его силы тяжести слой материала приобретает остаточную деформацию, которая по мере увеличения плотности уменьшается и

к концу укатки приближается к нулю. Дальнейшее увеличение плотности материала может быть достигнуто лишь увеличением нагрузки на валец.

Сущность виброуплотнения сводится к тому, что колеблющаяся с большой частотой масса сообщает кинетическую энергию частицам материала, расположенным в зоне действия вибратора, и приводит их в колебательное состояние. Разные по крупности и массе частицы получают различные ускорения, взаимно перемещаются, и поры между крупными частицами заполняются более мелкими; при этом достигается увеличение плотности материала.

Уплотнение материалов укаткой при устройстве дорожных оснований и покрытий осуществляется самоходными моторными катками, которые могут быть с гладкими металлическими вальцами, вальцами в виде пневматических шин или с комбинированными рабочими органами (пневмоколесами, гладким вибровальцом).

По числу осей и вальцов различают катки:

- одноосные одновальцовые с поддерживающими вальцами (колесами) или без них;
- двухосные двухвальцовые с одним или двумя ведущими вальцами;
- двухосные трехвальцовые;
- двухосные трехвальцовые с дополнительным вальцом малого диаметра;
- трехосные трехвальцовые с одним или тремя ведущими вальцами.

По удельному линейному давлению катки разделяются на:

- легкие с линейным давлением менее 400 Н/см (масса – до 5 т, мощность – до 25 кВт);
- средние с линейным давлением 350...600 Н/см (масса – 6...10 т, мощность – 25...30 кВт);
- тяжелые с линейным давлением 600 Н/см и более (масса – 10 т, мощность – более 35 кВт).

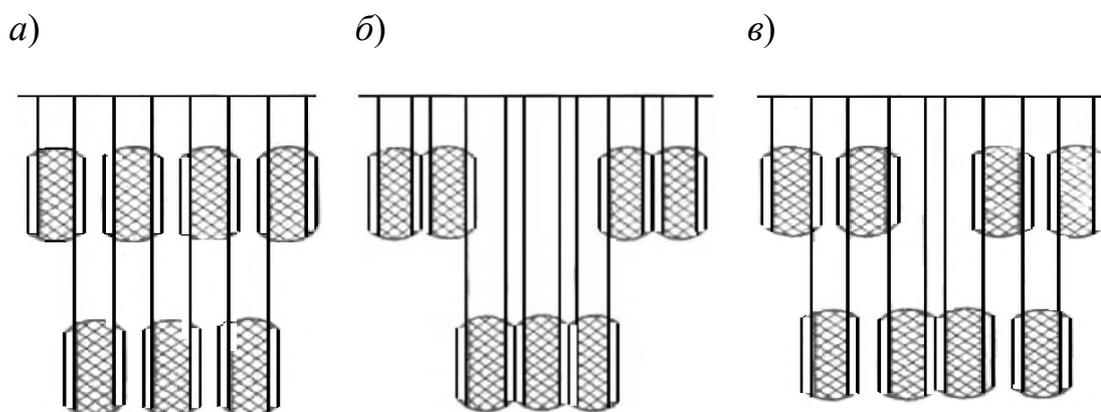
По принципу действия различают катки статические, уплотняющие материал только действием собственного веса, и вибрационные, уплотняющие материал действием собственного веса и периодических колебаний одного или нескольких рабочих органов (вальцов). Самоходные катки с гладкими вальцами классифицируют также по типу трансмиссии (механическая, гидромеханическая, гидрообъемная) и по системе управления (ручное, гидравлическое).

Самоходные катки на пневматических шинах обычно выполняются двухосными на шинах с гладким протектором. Общая масса таких катков находится в пределах 15...35 т и зависит от массы их балласта.

По установке колес на осях различают схему с шахматным расположением колес (рисунок 11.1, а), схему с рядной (рисунок 11.1, б) и схему с комбинированной (рисунок 11.1, в) расстановкой колес на осях. В современных катках наиболее распространено расположение колес по схеме, показанной на рисунке 11.1, а.

Самоходные катки на пневматических шинах так же, как и катки с гладкими вальцами, классифицируются по виду силовой установки, типу трансмиссии, системе управления и другим признакам.

Основные дорожные моторные катки с гладкими вальцами, получившие наибольшее распространение при уплотнении дорожных оснований и покрытий, – двухвальцовые и трехвальцовые двухосные и трехосные катки статического действия (таблица 11.1).



*a* – шахматная; *б* – рядная; *в* – комбинированная

Рисунок 11.1 – Схемы установки колес пневмокатков

Таблица 11.1 – Техническая характеристика самоходных катков с гладкими вальцами

Марка катка	ДУ-47Б	ДУ-63А	ДУ-8В	ДУ-42А	ДУ-9В	ДУ-49А
Тип катка	Двухвальцовый двухосный		Двухвальцовый двухосный		Трехвальцовый трехосный	
Трансмиссия	Гидростатическая		Гидростатическая		Гидромеханическая	
Масса, т:						
без балласта	6	9	8	10	10,3	11
с балластом	8	13	13	13	18	18
Ширина уплотняемой полосы, м	1,3	1,6	1,3	1,25...2	1...2,9	1...2,9
Число ведущих валцов	1	1	1	2	1	1
Размеры валцов (диаметр, ширина), м:						
ведущего	1,3	1,6	1,6; 1,3	1,4; 1,25	1,6; 1,25	1,6...1,3
среднего	–	–	–	–	1,3; 1,29	1,3
направляющего	1; 1	1; 1	1,3; 1,29	–	1,3; 1,29	1,3
Линейное давление ведущих валцов, Н/м	49000	73500	59000	51000	59000	78500
Мощность двигателя, кВт	36,8		55		36,8	
Скорость передвижения, км/ч:						
передача 1	2,73	0...1,94	0...3,25	0...7	0...3,25	0...2,35
передача 2	7,85	0...4,32	0,5...0,26	–	0...5,26	0...5,2
передача 3	–	0...5,5	0...8	–	0...8	0...8

Одновальцовые катки применяются для работ небольшого объема. Передний направляющий валец этих катков, как правило, изготавливается разрезным, состоящим из двух одинаковых частей, что позволяет каждой части при поворотах вращаться со своей скоростью, т. е. уменьшает сдвиги уплотняемого материала, сопротивление повороту, улучшает ровность поверхности. Подвеска переднего вальца выполнена так, что при наездах одной стороной на препятствия и неровности покрытия валец может наклоняться в вертикальной плоскости на угол до  $30^\circ \dots 35^\circ$ .

Двухвальцовые двухосные катки имеют вальцы одинаковой ширины; в некоторых конструкциях оба вальца выполняют ведущими, что улучшает качество укатки, но усложняет конструкцию. Привод ведущего вальца (вальцов) осуществляется зубчатыми, цепными или ременными передачами.

Трехвальцовые трехосные катки выполняются как с одним, так и со всеми ведущими вальцами. Вальцы имеют одинаковую ширину и располагаются один за другим. Передний (дополнительный) и средний вальцы – управляемые.

Для очистки вальцов и предохранения их от налипания уплотняемого материала катки оборудуют скребками и смачивающими устройствами. Управление подачей смачивающей жидкости производится с рабочего места моториста.

При гидромеханической трансмиссии в систему привода ведущих вальцов катка встраивают гидротрансформатор, наличие которого обеспечивает плавность реверсирования движения, постоянство режима работы двигателя, сокращает число ступеней коробки передач и облегчает управление катком.

Гидравлический привод (объемная гидротрансмиссия) позволяет значительно упростить привод ведущих вальцов катка, отказаться от коробки передач, дифференциала, реверса.

Самоходные вибрационные катки для уплотнения дорожных покрытий изготавливают преимущественно двухвальцовыми. Этот каток отличается от самоходного моторного статического катка наличием вибратора ненаправленного действия (установлен в заднем ведущем вальце), механизма привода вибратора (выполнен в виде клиноременной передачи) и упругой подвески вибровальца на резинометаллических амортизаторах.

Существующие катки имеют частоту колебаний  $30 \dots 70$  Гц и возмущающую силу до  $80$  кН (последнюю выбирают в пределах  $P = (4 \dots 6) \cdot G_k$ , где  $G_k$  – сила тяжести колеблющихся частей катка, Н). Рабочие скорости виброкатков назначаются обычно в пределах  $1,2 \dots 2,2$  км/ч. При уплотнении асфальтобетонных смесей первые один-два прохода рекомендуется выполнять с выключенным вибратором.

Самоходные катки на пневматических шинах при уплотнении асфальтобетонных смесей более эффективны и производительны, чем катки с гладкими металлическими вальцами, прежде всего потому, что при одинаковой скорости движения жесткого вальца и пневматической шины уплотняемый материал находится в напряженном состоянии более продолжительное время при работе шины. Следовательно, при прочих равных условиях требуемое число проходов катка на пневматических шинах меньше числа проходов катка с гладкими металлическими вальцами.

Отрицательным фактором при работе катков на пневматических шинах является недостаточная ровность поверхности в продольном и поперечном направлениях. Поэтому окончательные проходы при уплотнении асфальтобетонных смесей должны выполняться катками с гладкими металлическими вальцами.

Для получения максимальной производительности и ровного слоя уплотняемой асфальтобетонной смеси каток с пневмошинами на первых проходах должен иметь скорость 2...3 км/ч, на остальных – 8...9 км/ч.

Наиболее эффективно сочетание пневмоколес с гладким вибрационным вальцом, причем вибровалец располагают спереди, а ведущие пневмоколеса – сзади. Рама выполняется шарнирно сочлененной; на задней полураме устанавливаются двигатель и кабина машиниста.

Эксплуатационную производительность самоходных катков определяют по формуле

$$P_{\text{э}} = \frac{1000(B - a) \cdot v_{\text{cp}}}{n}, \quad (11.1)$$

где  $B$  – ширина укатываемой полосы, м;

$a$  – размер перекрытия предыдущего прохода,  $a = 0,2...0,25$  м;

$v_{\text{cp}}$  – средняя скорость движения катка, км/ч;

$n$  – необходимое число проходов катка (при уплотнении асфальтобетона  $n = 25...30$ , щебеночных покрытий –  $n = 40...60$ ).

Средняя скорость катка

$$v_{\text{cp}} = \frac{L}{t_{\text{cp}} + t_{\text{рев}}}. \quad (11.2)$$

где  $L$  – длина укатываемой полосы, м,  $L = 20...25$ ;

$t_{\text{cp}}$  – среднее время движения катка за один проход, с;

$t_{\text{РЕВ}}$  – время реверсирования катка, с,  $t_{\text{РЕВ}} = 1...2$ .

### **Порядок выполнения работы.**

- 1 Изучить устройство моторного катка согласно таблице 11.2.
- 2 Начертить его кинематическую схему.
- 3 Рассчитать производительность моторного катка.
- 4 Проанализировать результаты и сделать выводы.

Таблица 11.2 – Варианты задания

Параметр	Вариант					
	1	2	3	4	5	6
Марка катка	ДУ-47Б	ДУ-63	ДУ-8В	ДУ-42А	ДУ-9В	ДУ-49А
Уплотняемый материал	Гравий	Щебень	Асфальтобетон	Гравий	Щебень	Асфальтобетон
Ширина уплотняемой полосы В, м	6	7	7,5	8	10	12
Число проходов по одному месту $n$	30	35	25	40	25	20
Скорость движения катка $v$ , км/ч	2,73	1,94	3,25	7	3,25	2,35

## 12 Лабораторная работа № 12. Подбор оборудования для пневмотранспортирования бетонной смеси

**Цель работы:** изучение устройства и работы установки для транспортирования бетонной смеси, определение основных параметров установки для пневматического транспортирования бетонной смеси по трубам.

### Общие сведения.

В строительстве получают все более широкое применение способы пневматического транспортирования бетонной смеси по трубопроводам. Это объясняется возможностью доставки в труднодоступные места материалов без потерь и без загрязнения окружающей среды, надежностью, сохранностью, простотой управления процессом и благоприятными условиями для его автоматизации.

Транспортирование подвижных бетонных смесей осуществляют с помощью растворонасосов, а также камерных пневмонагнетателей. Камерные пневмонагнетатели представляют собой сварной резервуар грушевидной формы, имеющий в вертикальной части герметический затвор, а в нижней – горловину для истечения смеси (рисунок 12.1).

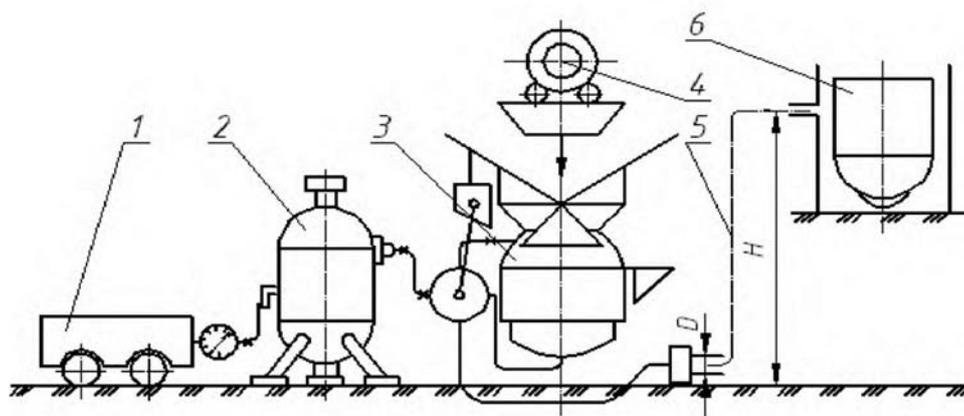
Отечественные модели камерных пневмонагнетателей имеют подачу 3...20 м<sup>3</sup>/ч, вместимость напорного резервуара 0,35...3 м<sup>3</sup> и рабочее давление 0,4...0,7 МПа. Они позволяют подавать смесь по горизонтали примерно на 150 м и по вертикали до 40 м. Для пневмонагнетателей характерна высокая скорость движения смеси; она составляет 0,1...0,3 м/с, а в момент выталкивания из бетоновода достигает 10...15 м/с, поэтому для гашения кинетической энергии потока смеси применяются насадки - концевые гасители.

### Порядок выполнения работы.

Изучить конструкцию и принцип действия пневмонагнетателя. Определить:  
– диаметр бетоновода  $B$ ;

- объемы нагнетателя (полезный и геометрический)  $V_H$  и  $V_{HG}$ ;
- общую длину бетоновода  $L$ ;
- среднюю скорость движения бетона  $V_{CP}$ ;
- фактическую производительность установки  $\Pi$ ;
- тип бетоносмесителя;
- объем ресивера  $V_P$ ;
- расход сжатого воздуха  $A$ ;
- тип компрессора;
- объем приемного бункера  $V_B$ .

Данные для расчета приведены в таблице 12.1.



1 – компрессор; 2 – ресивер; 3 – бетоносмеситель; 4 – нагнетатель; 5 – бетоновод; 6 – приемный бункер

Рисунок 12.1 – Схема пневмонагнетальной установки

Таблица 12.1 – Варианты заданий с исходными данными

Вариант	Заданная производительность установки $\Pi$ , м <sup>3</sup> /ч	Крупность щебня $d$ , мм	Подвижность бетона $S$ , см	Длина горизонтального участка бетоновода $l$ , м	Высота подъема $H$ , м	Давление воздуха $P$ , МПа
1	6	45	10	90	30	0,32
2	7	50	12	80	35	0,3
3	14	60	10	75	40	0,35
4	24	65	6	60	30	0,4
1	2	3	4	5	6	7
5	7	50	8	100	35	0,32
6	15	60	8	60	40	0,37
7	8	45	14	70	36	0,28
8	9	50	10	80	32	0,38
9	18	60	6	100	30	0,38

### Методика расчета пневмоустановки.

1 Внутренний размер бетоновода  $B$  принимают в зависимости от размера наибольших кусков щебня  $D$ , чтобы  $D > 3d$ .

2 Полезный объем нагнетателя или объем транспортируемой порции  $V_H$ , геометрический объем нагнетателя  $V_{HG}$  определяют по таблице 12.2.

Таблица 12.2 – Техническая характеристика установки

Основные параметры	Модель пневмоустановки				
	250	300	400	500	800
Объем нагнетателя полезный $V_H$ , л	250	300	400	500	800
Объем нагнетателя геометрический $V_{HG}$ , л	300	450	600	620	1000
Производительность при длительности цикла 2 мин, м <sup>3</sup> /ч	7,5	9	12	15	24
Вспомогательное время $T_{всп}$ , с	30	35	40	45	50

3 Общую длину бетоновода определяют, как сумму заданных  $l$  и  $H$ :

$$L = l + H, \quad (12.1)$$

4 Среднюю скорость  $V_{CP}$  рассчитывают в зависимости от заданной подвижности бетона  $S$ , рабочего давления сжатого воздуха в нагнетателе  $P$  и найденного  $V_H$ , общей длины  $L$  и диаметра  $Q$  по формуле

$$V_{CP} = 2,5k_S \cdot k_V \cdot k_L \cdot k_P \cdot k_D, \quad (12.2)$$

где  $k_S$  – коэффициент влияния подвижности бетона (таблица 12.3);

$k_V$  – коэффициент влияния объема порции бетона (таблица 12.4);

$k_L$  – коэффициент влияния длины трубопровода (таблица 12.5);

$k_P$  – коэффициент влияния давления воздуха (таблица 12.6);

$k_D$  – коэффициент влияния диаметра (таблица 12.7).

Таблица 12.3 – Зависимость коэффициента влияния  $k_S$  от подвижности бетона  $S$

$S$ , см	6	8	10	12	14
$k_S$	0,82	0,91	1,0	1,09	1,13

Таблица 12.4 – Зависимость коэффициента влияния объема  $k_V$  от объема нагнетателя  $V_H$

$V_H$ , л	200	250	300	400	500	800
$k_V$	0,82	0,91	1,0	1,09	1,13	0,35

5 Фактическую производительность установки для данных условий определяют по формуле

$$\Pi = \frac{3,6V_H}{\frac{L}{V_{CP}} + Q} K_B, \quad (12.3)$$

где  $K_B$  – коэффициент использования установки по времени,  $K_B = 0,85... 0,95$ .

Таблица 12.5 – Зависимость коэффициента влияния длины трубопровода  $k_L$  от длины трубопровода  $L$

$L, \text{ м}$	42	73,4	100	127	150	160
$k_L$	77	10,0	1,2	1,4	1,57	1,64

Таблица 12.6 – Зависимость коэффициента влияния давления сжатого воздуха  $k_P$  от рабочего давления  $P$

$P, \text{ МПа}$	0,2	0,23	0,25	0,3	0,35	0,37	0,4
$k_P$	0,82	1	1,15	1,49	1,83	1,92	2,0

Таблица 12.7 – Зависимость коэффициента влияния диаметра  $k_D$  от диаметра трубопровода  $D$

$D, \text{ мм}$	100	150	180	203
$k_D$	0,55	1	1,3	1,47

Если фактическая производительность установки получается меньше заданной, то нужно из таблицы 12.2 принять больший объем  $V_H$  и сделать перерасчет, начиная с пункта 4.

6 Выбирают бетоносмеситель по  $V_H$ .

7 Объем ресивера  $V_P$  для заданных условий и нормального давления  $P = 0,6 \text{ МПа}$  рассчитывают по формуле

$$V_P = 1,2V_{HG} + 0,85D^2 \cdot L, \quad (12.4)$$

где  $V_{HG}$  – геометрический объем,  $\text{м}^3$ ;

$D$  – внутренний диаметр бетоновода,  $\text{м}$ ;

$L$  – максимальная (общая) длина бетоновода,  $\text{м}$ .

8 Расход воздуха на транспортирование  $1 \text{ м}^3$  бетона в заданных условиях находят по формуле

$$A = \frac{(P - P_{КОН}) \cdot (0,85D^2 \cdot L + V_{HG})}{V_H}, \quad (12.5)$$

где  $P$  – заданное рабочее давление сжатого воздуха в нагнетателе,  $\text{МПа}$ ;

$P_{КОН}$  – давление в конце цикла.

При  $V_H = 0,25...0,4 \text{ м}^3$   $P_{КОН} = 0,15 \text{ МПа}$ , при  $V_H = 0,5...0,8 \text{ м}^3$   $P_{КОН} = 0,17 \text{ МПа}$ .

9 Для подбора типа компрессора определяют его производительность по формуле

$$P_k = \frac{A \cdot P}{60}. \quad (12.6)$$

где  $A$  – расход сжатого воздуха на транспортирование  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси;  
 $P$  – действительная производительность установки,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

### Содержание отчета.

В отчете должны быть представлены схема установки, необходимые расчеты и выводы.

## Список литературы

- 1 Дорожные машины и комплексы / Под общ. ред. В. И. Баловнева. – 2-е изд. – Москва; Омск: СибАДИ, 2001. – 528 с. : ил.
- 2 **Щемелев, А. М.** Строительные машины и средства малой механизации: учебное пособие / А. М. Щемелев, С. Б. Партнов, Л. И. Белоусов. – Минск: Дизайн ПРО, 2002. – 274 с. : ил.
- 3 **Добронравов, С. С.** Строительные машины и основы автоматизации: учебник / С. С. Добронравов, В. Г. Дронов. – Москва: Высшая школа, 2001. – 575 с. : ил.
- 4 **Белецкий, Б. Ф.** Строительные машины и оборудование: справочное пособие / Б. Ф. Белецкий. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. – 592 с. : ил.
- 5 **Щемелев, А. М.** Машины для коммунального хозяйства: учебное пособие / А. М. Щемелев, А. В. Вавилов; под ред. А. М. Щемелева. – Минск: Технопринт, 2003. – 400 с. : ил.
- 6 Машины для устройства дорожных покрытий / К. А. Артемьев [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1982. – 394 с. : ил.
- 7 Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог: учебное пособие для вузов / В. И. Баловнев [и др.]. – Москва; Омск: СибАДИ, 2005. – 768 с.: ил.
- 8 Строительные машины: справочник: в 2 т. / Под общ. ред. Э. Н. Кузина. – Москва: Машиностроение, 1991. – Т. 1–2.
- 9 **Шестопапов, К. К.** Строительные и дорожные машины: учебное пособие для вузов / К. К. Шестопапов. – Москва: Академия, 2008. – 384 с.: ил.
- 10 **Гаврилов, К. Л.** Дорожно-строительные машины: устройство, ремонт, техническое обслуживание: учебное пособие / К. Л. Гаврилов, Н. А. Забара. – 2-е изд., испр. и доп. – Киев: Клиновская городская тип., 2011. – 320 с.: ил.
- 11 **Довгяло, В. А.** Дорожно-строительные машины: учебное пособие для вузов: в 2 ч. / В. А. Довгяло. – Гомель: БелГУТ, 2010. – Ч. 1. – 250 с.: ил.
- 12 **Довгяло, В. А.** Дорожно-строительные машины: учебное пособие для вузов: в 2 ч. / В. А. Довгяло. - Гомель: БелГУТ, 2014. – Ч. 2. – 425 с.: ил