

Инж. Б. М. Шкундин



ГИДРОМЕХАНИЗАЦИЯ

ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ



СТРОЙИЗДАТ НАРКОМСТРОЯ ★ 1940

1827

Инж. Б. М. ШКУНДИН  
 М. М. Суванов  
 Г. И. Митин  
 от автора  
 15/V - 40.  
 Б. Шкундин

# ГИДРОМЕХАНИЗАЦИЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

## ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
54	Рис. 40	Рисунок перевернут	Рисунок следует перевернуть.
56	формула 62	$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} = H$	$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + H$
56	формула 63	$v_1 = \sqrt{\frac{2g \left[ (p_0 - p_1) \frac{1}{\gamma} \right]}{1 - n^2}}$	$v_1 = \sqrt{\frac{2g \left[ (p_0 - p_1) \frac{1}{\gamma} + H \right]}{1 - n^2}}$
56	Рис. 44	$p - \omega$	$p_1 - \omega_1$
225	4 и 9 снизу	К веббэк	Квэббин

Б. М. Шкундин, Зак. 2998.

1940

ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
 МОСКВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО

СТРОИТЕЛЬНОЙ

ЛИТЕРАТУРЫ  
 ЛЕНИНГРАД

Инж. Б. М. ШКУНДИН

# ГИДРОМЕХАНИЗАЦИЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

6 р. 20 л. пер. 4 р.

С-34-5-4

1940

---

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО СТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА

ЛЕНИНГРАД

Объемы земляных работ строительства, намеченных к осуществлению в третьей пятилетке, измеряются сотнями миллионов куб. метров. При освоении этих объемов значительная часть их будет выполняться способом гидромеханизации.

В книге даны основы теории процессов гидромеханизации, основное и вспомогательное оборудование гидромеханизации, а также организация и производство работ как гидромониторными, так и с землесосными установками.

Освещены также вопросы применения гидромеханизации при разработке карьеров и на разгрузочных работах.

Книга рассчитана на инженеров-строителей производственников и проектировщиков по организации строительных работ.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение . . . . .	5
<b>Глава I. Основы теории процессов гидромеханизации</b>	
<b>А. Экскавация грунта</b>	
1. Размыв грунта гидромонитором . . . . .	9
2. Экскавация грунта непосредственным всасыванием из-под воды . . . . .	16
3. Всасывание грунта из-под воды с предварительным разрыхлением . . . . .	17
<b>Б. Транспортирование грунта водой</b>	
1. Транспортирование грунта водой в лотках . . . . .	20
2. Транспортирование грунта водой по трубам . . . . .	26
<b>В. Укладка грунта водой</b>	
1. Скорости осаждения частиц грунта в жидкости . . . . .	37
2. Уклоны, образующиеся при намыве . . . . .	40
3. Фракционирование грунта при намыве . . . . .	41
4. Влагодотдача намытых грунтов. . . . .	43
<b>Глава II. Оборудование гидромеханизации</b>	
<b>А. Гидромониторы</b>	
1. Гидромонитор с центральным болтом . . . . .	45
2. Гидромонитор без центрального болта. . . . .	48
3. Гидромонитор с одним шаровым шарниром. . . . .	—
4. Гидромониторы специальных назначений . . . . .	49
5. Дефлекторы. . . . .	53
6. Гидравлический расчет мониторов . . . . .	56
7. Расчет устойчивости монитора в работе . . . . .	62
<b>Б. Насосы и насосные станции</b>	
1. Краткая историческая справка о центробежных насосах . . . . .	64
2. Принцип действия и основы теории центробежных насосов . . . . .	65
3. Описание конструкций центробежных насосов . . . . .	76
4. Вспомогательное оборудование насосных станций. . . . .	83
5. Насосные станции . . . . .	94
<b>В. Землесосы и землесосные установки</b>	
1. Краткая историческая справка и общие сведения. . . . .	101
2. Конструкции землесосов . . . . .	102
а) Землесосы СССР . . . . .	—
б) Землесосы зарубежных марок. . . . .	115
в) Некоторые общие замечания о конструкции землесосов . . . . .	119
3. Землесосные станции . . . . .	124
а) Стационарные землесосные установки . . . . .	—
б) Передвижные землесосные станции. . . . .	127
4. Вспомогательное оборудование землесосных станций . . . . .	130
5. Плавающие землесосные снаряды . . . . .	131
<b>Г. Водоводы и пульповоды</b>	
1. Водоводы . . . . .	145
2. Пульповоды. . . . .	149

	Стр.
3. Плавающие пульповоды . . . . .	159
4. Расчет трубопроводов . . . . .	161
а) Гидравлический расчет . . . . .	—
б) Прочие расчеты трубопроводов . . . . .	168
<b>Д. Силовое оборудование гидромеханизации</b>	
<b>Е. Специальная измерительная аппаратура гидромеханизации</b>	
1. Прибор для определения консистенции пульпы системы инж. А. Е. Иванова . . . . .	178
2. Электроакустический динамометр . . . . .	179
3. Коробка Гольдбека . . . . .	181
4. Электрический способ измерения скоростей в пульповоде . . . . .	182
<b>Глава III. Производство работ</b>	
<b>А. Организация гидромониторных работ</b>	
1. Организация работы гидромонитором в забое . . . . .	184
2. Размыв с предварительным разрушением . . . . .	186
3. Передвижки гидромониторов . . . . .	187
4. Самотечный гидротранспорт . . . . .	192
5. Напорный гидротранспорт . . . . .	196
<b>Б. Организация работ мониторно-землесосным снарядом</b>	
1. Ввод снаряда в работу . . . . .	197
2. Передвижки снаряда . . . . .	198
3. Область применения мониторно-землесосных снарядов . . . . .	202
<b>В. Работы с стационарными землесосными установками</b>	
<b>Г. Организация работ землесосным снарядом с механическим разрушением грунта</b>	
1. Разбивка сооружений . . . . .	206
2. Глубина выемки . . . . .	207
3. Рабочие перемещения снаряда . . . . .	208
4. Ввод снаряда в работу . . . . .	210
<b>Д. Гидромеханизация гравийных карьеров</b>	
<b>Е. Укладка грунта в отвалы</b>	
<b>Ж. Укладка грунта в тело сооружения</b>	
1. Намыв больших площадей . . . . .	214
2. Намыв профильных сооружений . . . . .	215
3. Намывные плотины . . . . .	216
<b>З. Работы с кругооборотом воды</b>	
<b>И. Особенности размыва при низких температурах</b>	
<b>К. Гидромеханизация отдельных процессов</b>	
1. Разгрузка железнодорожных платформ гидромонитором . . . . .	223
2. Гидромеханизация на постройке плотины „Квэббек“ (Америка) . . . . .	225
3. Работа экскаватором с гидротранспортом грунта . . . . .	228
<b>Л. Проектирование гидромеханизации</b>	
1. Данные для проектирования . . . . .	230
2. Состав проекта . . . . .	233
3. Экспертиза и утверждение проекта . . . . .	236
Приложения . . . . .	237

## ВВЕДЕНИЕ

### 1. Сущность гидромеханизации

Человек в своей практической деятельности часто подражает природе. Можно сказать, что гидравлический способ производства земляных работ — гидромеханизация — возник в результате такого подражания.

Ручьи и реки, размывающие свои берега и откладывающие размывтый грунт в виде наносов в сотнях, а иногда и в тысячах километрах от места размыва, послужили прототипом современной гидромеханизации, сущность которой заключается в том,

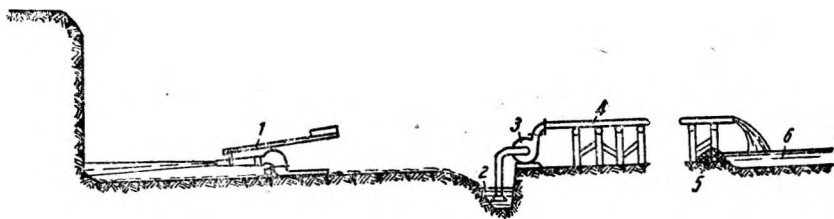


Рис. 1. Мониторно-землесосные работы (схема).

что все основные операции земляных работ — разработка, перемещение и укладка грунта в тело сооружения или в отвал — выполняются при помощи воды. Одна из возможных схем этих работ изображена на рис. 1.

Вода под значительным давлением подводится к гигантскому брандспойту — гидромонитору. Вытекающая из гидромонитора с огромной скоростью (20—70 м/сек) струя воды размывает грунт. Размытый грунт стекает к землесосу и перекачивается им по трубам к месту укладки.

Иногда рельеф местности бывает настолько благоприятен, что оказывается возможным разжиженный грунт (пульпу) транспортировать к месту укладки самотеком — по желобам или просто по канавам.

Если грунты, подлежащие выемке и перемещению, расположены под водой и плотны по своей структуре, то разрыхление грунта производится механическим снарядом — разрыхлителем, а выемка и транспортирование — землесосом. При разработке малосвязных грунтов разрыхлитель не требуется, так как в сосун землесоса грунт увлекается самим потоком воды (рис. 2).

От прочих методов производства земляных работ метод гидромеханизации выгодно отличается тем, что при нем почти полностью механизмируются все стадии земляных работ, в то время как при работе с экскаваторами для транспортирования грунта приходится применять специальные механизмы, а укладка грунта часто остается совсем не механизированной.

Гидромеханизация представляет собой таким образом своеобразный конвейер производства земляных работ, разрешая в непрерывном производственном процессе полный комплекс земляных работ — экскавацию, транспортирование и укладку грунта.

Кроме того следует отметить такие положительные качества гидромеханизации, как:

1) простоту и малую стоимость оборудования; в некоторых наиболее простых случаях все оборудование может состоять из гидромонитора и водопроводных труб;

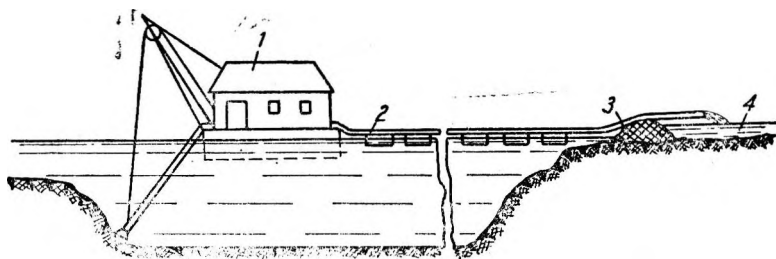


Рис. 2. Землесосные работы (схема).

2) высокую рентабельность производства работ;

3) минимальное количество рабочей силы, и притом мало квалифицированной;

4) возможность получения огромных производительностей;

5) возможность попутной сортировки грунта по фракциям и укладки разных фракций грунта в тело сооружений в нужном порядке.

К недостаткам гидромеханизации следует отнести:

1) снижение рентабельности работы при небольших объемах работ;

2) снижение производительности и рентабельности работы в зимних условиях;

3) большую зависимость производительности и рентабельности работ от природных условий.

Достоинства гидравлического способа приобретают особое значение для СССР в связи с большим объемом строительных работ в третьей Сталинской пятилетке.

## 2. История гидромеханизации

Применение энергии водяной струи для разработки грунтов было известно уже древним римлянам, которые, как можно

судить по сочинениям Плиния, применяли гидравлический способ для разработки золотых россыпей.

Родиной гидравлического способа в том виде, в каком он применяется теперь, считается штат Калифорния в США, а изобретателем его — золотоискатель Матисен, который в 1853 г. применил энергию водяной струи для разработки золотоносных песков.

Напорную воду Матисен получил из естественного источника, подведя ее к нижележащему забою по кожаным трубам. Монитором служил деревянный брандспойт. Впоследствии кожаные трубы он заменил парусиновыми и наконец, примерно через год после пуска установки, — железными.

Пример высокой рентабельности гидравлического метода привел к тому, что к концу прошлого века применение гидромеханизации в золотом деле получило большое распространение. Мощности отдельных установок чрезвычайно возросли. Отдельные установки стали разрабатывать и перемещать в год до 2 млн. м<sup>3</sup> грунта.

Всасывание грунта из-под воды было впервые применено на дноуглубительных работах в порту С.-Назер в 1859 г.

Первые землесосы были построены по принципу поршневых насосов. В 1864 г. во Франции по предложению Базена и в Англии Вудфордом были построены плавучие снаряды с центробежными насосами. Центробежные насосы сразу же вытеснили поршневые. В 1867 г. Базен усовершенствовал свой снаряд и впервые применил механическое разрушение. Новый снаряд давал по тому времени огромную производительность, он мог подавать с глубины от 8 до 12 м до 3 000 м<sup>3</sup> песка в сутки.

В строительном деле гидромеханизация начала применяться в 90-х годах прошлого столетия и, так же, как в золотопромышленности, стала быстро развиваться. Первоначально гидромеханизация нашла себе применение при строительстве различных гидромеханических сооружений (земляных плотин, каналов и т. д.); примерно с 1910 г. она начинает проникать и в другие области строительных и горных работ.

В России гидромеханизация появилась также раньше всего в золотопромышленности в виде так называемого „пакулевского способа” (с подводом воды к размываемым пескам без напора).

Более совершенная установка гидромеханизации появилась в 1884 г. на р. Ныгри в Ленско-Витимском районе.

В настоящее время гидравлический метод применяется почти во всех золотопромышленных районах Сибири и Дальнего Востока.

Незадолго до революции инж. Классен изобрел гидравлический способ добычи торфа. После Октябрьской революции этот способ по указанию В. И. Ленина получил очень широкое распространение.

В 1928 г. инж. Холин применил гидромеханизацию (гидромониторы и землесосы) на работах по добыче озокерита на острове Челекен в Каспийском море. Эта работа была первой работой в СССР, когда пульпа перекачивалась землесосом.



В строительном деле в СССР гидромеханизация стала применяться только после Октябрьской революции. Передовая стройка по всем видам механизации строительных работ — Днепрострой — применяла гидромеханизацию в 1930, 1931 и 1932 гг.

Результаты работ 1930 г. приведены в табл. 1.

Таблица 1

Способ работы монитором	Количество				Смыто грунта в м <sup>3</sup>	Производи- тельность в м <sup>3</sup>	
	смен	рабочего времени	чистая раб.			за смену	за 1 час чистой работы
			часов	% ис- пользов по врем.			
„Сверху вниз“ с предваритель- ным разрыхлением верхней кошки плугом . . . . .	15	120	50	41,67	7 080	472	141
„Снизу вверх“ . . . . .	134	1,045	629	60,23	95 795	714	152

В 1930 г. на этом строительстве производилась вскрыша каменного карьера, причем было смыто около 100 тыс. м<sup>3</sup> грунта. В 1931 и затем в 1932 г. гидромеханизация применялась на работах по устройству гавани и намыву пирса. За эти два года было выполнено гидромеханизацией уже 595 тыс. м<sup>3</sup> грунта, что составляло около 50% всех земляных работ.

Там же в течение 1931/32 г. по инициативе инж. Веселаго были проведены первые опыты применения гидромеханизации в зимних условиях.

Опыты показали, что:

- 1) работа практически выгодна при морозах до  $-15^{\circ}$ ;
- 2) работа невозможна при морозах  $-20^{\circ}$  и ниже;
- 3) производительность в час чистой работы может быть принята при морозах от 0 до  $-5^{\circ}$  в 100 м<sup>3</sup>, при морозах от  $-5$  до  $-10^{\circ}$  — в 75 м<sup>3</sup> и при морозах от  $-10$  до  $-15^{\circ}$  в 50 м<sup>3</sup>.

В 1930 и 1931 гг. гидромеханизацию с успехом применило строительство Невдубстрой. В 1930 г. производился размыв грунта мониторами.

По данным строительства применение гидравлического способа размыва грунта в 1930 г. по сравнению с ручным трудом:

- 1) уменьшило количество рабочих с 550 до 30 человек, т. е. в 18 раз;
- 2) уменьшило стоимость работы за 1 м<sup>3</sup> с 1 р. 80 к. до 77 коп., т. е. в 2,5 раза.

В 1931 г. на этом же строительстве при помощи гидроэлеваторов и монитора был вынут в плывунах котлован объемом 8 000 м<sup>3</sup>.

Гидроэлеваторы применялись самодельные и очень небольшого размера производительностью примерно 8 м<sup>3</sup> грунта в час.

Стоимость 1 м<sup>3</sup> грунта, вынутого гидравлическим способом, сложилась из следующих затрат:

Амортизации.....	16 коп.
Стоимости монтажа.....	13,5 "
Рабочей силы.....	29 "
Электроэнергии.....	51,5 "
Дополнительных расходов.....	20 "

---

Итого . . . . . 1 р. 30 коп.

Ручной же способ работ давал стоимость в 6 руб. за 1 м<sup>3</sup>, т. е. дороже в 4,6 раза.

В 1932—1933 гг. гидромеханизация применялась на строительстве завода „Азовсталь” и на строительстве Туломской гидроэлектростанции.

С 1934 г. количество гидромеханизированных объектов в СССР начало быстро увеличиваться. Гидромеханизация завоевала всеобщее признание.

В 1936—1937 гг. по инициативе тов. Н. С. Хрущева были проведены опыты применения гидромеханизации для выемки грунта из кессонов московских городских мостов. Опыты дали блестящие результаты, и гидромеханизация завоевала еще одну важную отрасль строительного дела.

В третьей пятилетке намечено осуществить ряд грандиозных гидротехнических и промышленных строек (Волгострой, Куйбышевский гидроузел, Соликамский гидроузел и т. д.). Объемы земляных работ по этим стройкам измеряются десятками и сотнями миллионов куб. метров.

В освоении этих объемов гидромеханизации предстоит сыграть решающую роль. Отметим например, что на Куйбышевском гидроузле около 80% всех земляных работ, т. е. около 200 млн. м<sup>3</sup>, должно будет выполняться способом гидромеханизации.

---

## Глава I

### ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПРОЦЕССОВ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ

Земляные работы, выполняемые любым методом, включают в себя: 1) экскавацию (разработку), 2) транспорт и 3) укладку грунта.

Рассмотрим теоретические основы выполнения этих трех видов работ помощью воды.

#### А. ЭКСКАВАЦИЯ ГРУНТА

##### 1. Размыв грунта гидромонитором

Вылетающая из насадки монитора с большой скоростью струя воды разрушает грунт.

Сила удара водяной струи о плоскость, находящуюся не слишком далеко от насадки, как известно из гидравлики, выражается формулой:

$$P = \rho Q v \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $\rho$  — плотность воды в  $\text{кг сек}^2/\text{м}^4$

$|Q$  — расход воды в  $\text{м}^3/\text{сек}$ ;

$v$  — скорость вылета струи из насадки в  $\text{м}/\text{сек}$ ;

$\alpha$  — угол, образуемый струей с плоскостью (рис. 3).

Когда струя направлена перпендикулярно к поверхности, то  $\alpha = 90^\circ$  и

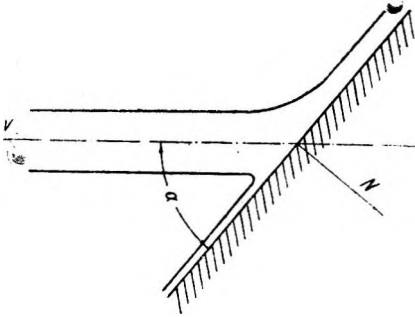


Рис. 3. Встреча струи с плоской стенкой.

$$P = \rho Q v = \rho F v^2, \quad (2)$$

где  $F$  — площадь сечения струи в  $\text{м}^2$ .

Обозначая через  $p_m$  давление, приходящееся на  $1 \text{ см}^2$  плоскости, воспринимающей давление струи, будем иметь:

$$p_m = \frac{P}{F \cdot 10\,000} \text{ кг см}^2$$

или

$$p_m = \frac{\rho v^2}{10\,000} \text{ кг см}^2 \quad (3)$$

Относя давление струи к стенке забоя в формулу (3), необходимо ввести коэффициент  $k$ , учитывающий уменьшение скорости течения струи на пути от насадки до стенки забоя (от размера струи).

По наблюдениям автора это изменение довольно значительно. На рис. 4 представлена кривая, отражающая деформацию струи по выходе из насадки диаметром 90 мм при давлении у входа в монитор 7,5 ат.

Аналогичные по характеру кривые были получены инж. Ивановым еще в 1934 г. на площадке строительства „Азовсталь”.

Рассмотрение кривой показывает, что для средних удалений забоя ( $L = 15 \text{ м}$ ) значение  $k$  может быть принято равным 7,5:

$$k = \left(\frac{250}{90}\right)^2 \approx 7,5$$

и фактическое давление водяной струи о плоскость  $p_\phi$  для некоторых средних условий будет выражаться формулой:

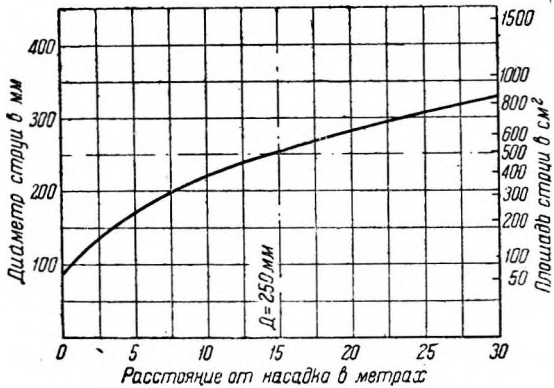


Рис. 4. Кривая зависимости диаметра струи от расстояния, от насадки.

$$p_\phi = \frac{\rho v^2}{7,5 \cdot 10\,000}. \quad (4)$$

Эта формула показывает, что при скоростях истечения от 25 до 60 м/сек  $p_{\phi}$  колеблется в пределах от 0,85 до 4,9 кг/см<sup>2</sup>.

Эти величины, как правило, меньше тех, которые необходимы для разрушения соответствующих пород простым механическим давлением, и наталкивают на мысль, что механизм разрушения грунта водой значительно сложнее механического разрушения грунта давлением. Струя воды, встречая стенку забоя, действует на грунт двояко: часть воды проникает в поры грунта и как бы распирает грунт изнутри, вызывая энергичное разрушение, часть же воды с большой скоростью течет по размываемой поверхности, срывает и уносит с этой поверхности частицы грунта. В грунтах песчаных преобладает первый вид разрушения, в глинистых — второй.

Размыв грунта водяной струей и в особенности струей, действующей под большими углами к стенке грунта, изучен еще совершенно недостаточно. Еще не установлена зависимость интенсивности размыва от различных факторов.

В большом количестве экспериментальных и теоретических исследований рассматривается размыв малыми скоростями (эрозия).

Выводы этих исследований почти неприменимы к вопросам размыва грунта компактной струей, вылетающей с большой скоростью из монитора. В настоящее время эти вопросы можно трактовать только с качественной стороны.

В дальнейшем изложении количество единиц объема грунта, размываемого единицей объема воды, будем называть интенсивностью размыва.

Основные факторы, влияющие на интенсивность размыва, могут быть разбиты на три группы: а) на факторы, характеризующие струю, б) на факторы, характеризующие забой, и в) на факторы, характеризующие условия взаимодействия струи и забоя.

К группе „а“ следует отнести:

- 1) скорость истечения воды из насадки монитора,
- 2) расход воды из насадки в единицу времени и
- 3) компактность струи.

Компактность струи характеризуется углом конусности  $\alpha$  (рис. 5), причем компактность будет тем больше, чем меньше угол  $\alpha$ . Удобно в качестве измерителя компактности применять выражение:

$$\frac{l}{D_2 - D_1},$$

где  $D_1$  — диаметр струи у насадки,  $D_2$  — диаметр струи на расстоянии длины  $l$  от насадки.

Компактность струи зависит главным образом от качества монитора, а также от формы и качества исполнения насадки.

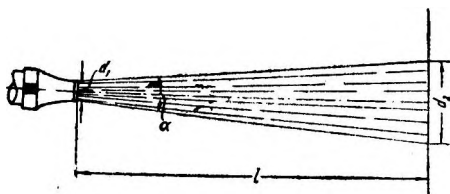


Рис. 5. Схема расходящейся струи.

К группе „б“ следует отнести:

- 1) категорию грунта и его связность,
- 2) высоту забоя.

К факторам „в“, характеризующим условия размыва, следует отнести:

- 1) расстояние от насадки монитора до стенки забоя и
- 2) угол встречи струи и стенки забоя.

Рассмотрим влияние каждого из перечисленных факторов по отдельности, предполагая при этом, что все остальные остаются без перемен.

Качественный характер зависимости интенсивности размыва от скорости и компактности струи показан на рис. 6.

С увеличением скорости истечения воды из насадки и следовательно расхода воды интенсивность размыва несвязных

грунтов (песков) возрастает в большей степени, чем возрастает скорость истечения и расход воды.

Отсюда следует ценный практический вывод, что размыв песков выгоднее вести одним крупным монитором в одной точке, чем двумя меньшими равной пропускной способности.

Крупный американский специалист в области гидромеханизации Скайлер считает, что работа мониторами с расходом меньше 100 л/сек вообще нерациональна.

Наблюдения за влиянием компактности на интенсивность

размыва показывают, что закон этой зависимости носит различный характер для песчаных и для глинистых грунтов. При размыве песчаных грунтов увеличение компактности с некоторого момента перестает вызывать увеличение интенсивности размыва и даже больше того — есть основания предполагать, что с этого момента рост компактности уменьшает интенсивность.

При размыве глинистых грунтов, наоборот, интенсивность размыва непрерывно увеличивается с увеличением компактности (рис. 6).

Интенсивность размыва быстро падает с увеличением связности грунта; для сыпучих песков интенсивность будет максимальной, для тяжелых („жирных“) глин интенсивность размыва иногда так мала, что разрабатывать грунт струей оказывается невыгодно.

В разделе производства работ даны некоторые цифры, характеризующие интенсивность размыва при разных грунтах.

Наблюдения показывают, что высота забоя очень сильно влияет на интенсивность размыва.

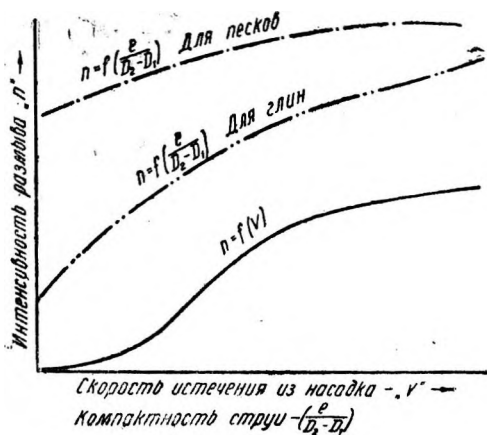


Рис. 6. Кривые  $n = f(Q, V)$ .



Причина этой зависимости вытекает из механизма разрушения забоя.

Если струю монитора направить в подошву забоя (рис. 7), то некоторый объем грунта будет разрушен непосредственно струей монитора. В месте размыва грунта образуется каверна и нависший над ней грунт под влиянием своего веса в известный момент обрушится на подошву забоя. После обрушения монитору достаточно только завершить разрушение грунта, так как он в значительной степени уже разрушается при падении.

Назовем через:

$H$ —полную высоту забоя;

$h$ —высоту, непосредственно разрушаемую монитором;

$n_h$ —интенсивность размыва слоя  $h$ ;

$n_{H-h}$ —интенсивность размыва обрушенного слоя;

$n_H$ —среднюю интенсивность размыва для всего забоя.

Величина, обратная интенсивности размыва, т. е.  $\frac{1}{n}$  будет, очевидно, обозначать расход воды на единицу объема грунта. При этих обозначениях для забоя шириной и глубиной в 1 м можно написать равенство:

$$H \frac{1}{n_H} = h \frac{1}{n_h} + (H-h) \frac{1}{n_{H-h}},$$

в котором левая и правая части представляют собой объем воды, необходимый для разработки забоя на ширине в 1 м и на глубину в 1 м, причем левая часть выражена через среднюю интенсивность, а правая — через интенсивность размыва слоев  $h$  и обрушившегося слоя  $(H-h)$ .

Из этого равенства интересующая нас средняя интенсивность  $n_H$  может быть выражена такой зависимостью:

$$n_H = \frac{n_h H n_{(H-h)}}{h(n_{(H-h)} - n_h) + H n_h}. \quad (5)$$

Положим здесь для упрощения  $n_{(H-h)} = k n_h$ , найдем:

$$n_H = \frac{k n_h H}{h(k-1) + H}. \quad (6)$$

Уравнение (6) иллюстрирует кривая, изображенная на рис. 8. Для ее построения приняты значения:

$$k = 3; h = 1 \text{ м}; n_h = 0,15,$$

что по наблюдениям автора примерно соответствует легким суглинкам и супесям.

Однако эти значения нельзя считать достаточно проверенными. Поэтому кривую (рис. 8) следует рассматривать как кривую, рисующую качественную зависимость интенсивности размыва от высоты забоя.

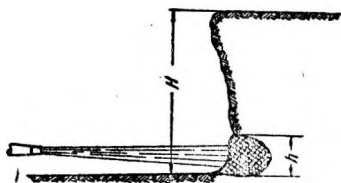


Рис. 7. Схема размыва с подбоем.

Характер этой кривой показывает, что с увеличением высоты забоя интенсивность размыва асимптотически стремится к величине  $kn_H$ . Действительно, если в уравнении (6) подставить  $H = \infty$ , то оно примет вид:

$$n_H = kn_H \quad (7)$$

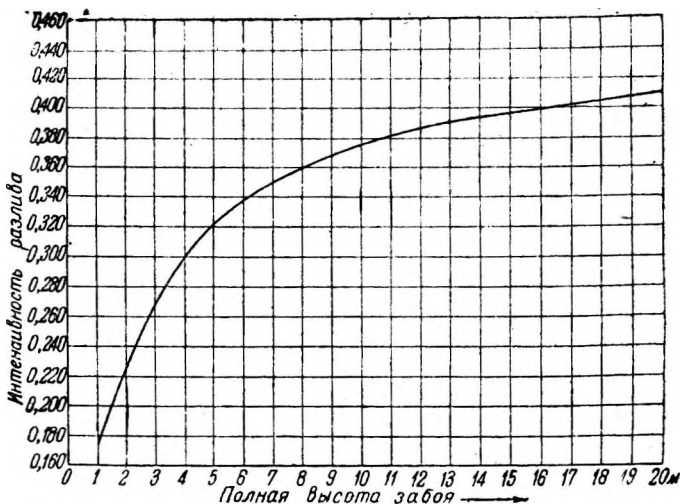


Рис. 8. Кривая зависимости интенсивности размыва от высоты забоя.

По наблюдениям автора зависимость интенсивности размыва от расстояния монитора до стенки забоя может быть с достаточной точностью выражена уравнением:

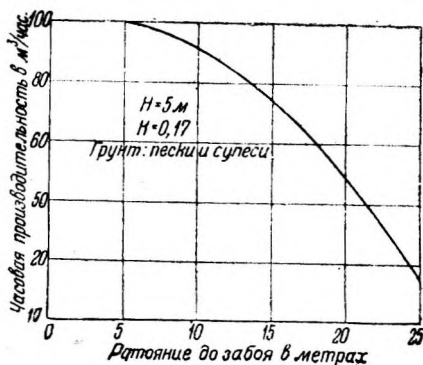


Рис. 9. Кривая зависимости производительности от расстояния до забоя.

$$Wl_2 = Wl_1 - (l_2 - l_1) kl_2, \quad (8)$$

где  $l_1$  — то первоначальное расстояние от монитора до забоя, которому соответствует часовая производительность  $Wl_1$ ;

$l_2$  — то последующее расстояние от монитора до забоя, для которого требуется определить соответствующую производительность  $Wl_2$ ;

$k$  — коэффициент, зависящий от высоты забоя и характеристики грунта.

На рис. 9 построена кривая по уравнению (8) для песчаного или супесчаного забоя высотой 5 м.

В этом случае  $k = 0,17$ .

Наблюдения показывают, что с увеличением плотности грун-

тон в забое коэффициент  $k$  увеличивается, а с увеличением высоты забоя  $k$  падает.

Угол встречи струи с плоскостью влияет на интенсивность размыва, очевидно, так же, как он влияет на силу удара струи, т. е. максимальная интенсивность размыва будет при углах встречи, близких к прямому.

К перечисленным факторам, влияющим на интенсивность размыва, следует еще добавить температуру воздуха.

Колебание температуры от  $0^\circ$  и выше никакого заметного влияния на интенсивность размыва не оказывает, при падении же температуры ниже нуля интенсивность размыва резко снижается.

Опыт зимних работ на „Азовстали” и на канале Москва — Волга позволяет нарисовать примерную картину зависимости интенсивности размыва от температуры (рис. 10).

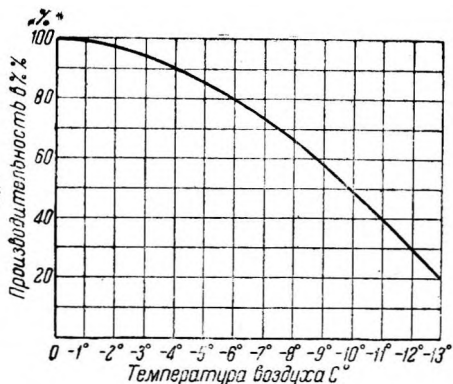


Рис. 10. Зависимость производительности от температуры.

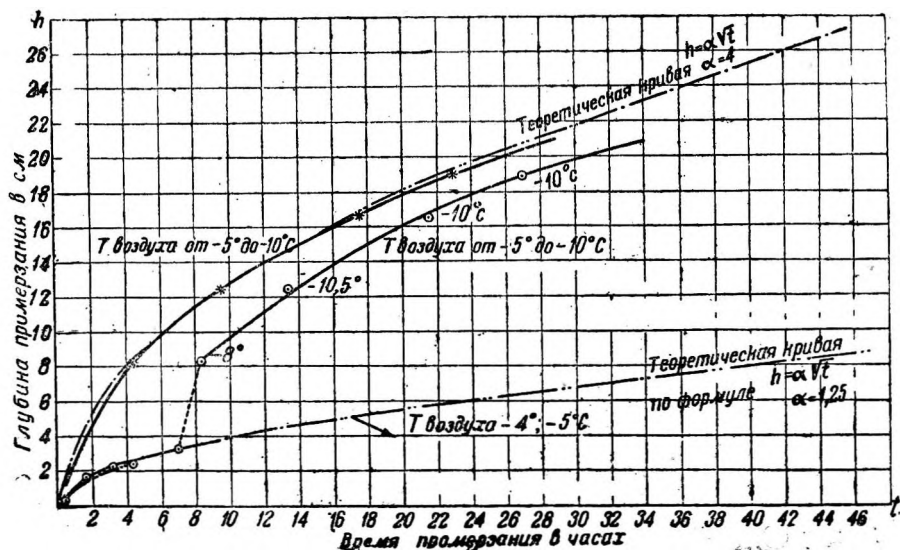


Рис. 11. Кривая глубин промерзания.

Особенно сильное падение производительности наблюдается при перерывах в работе вследствие промерзания насыщенной водой стенки забоя.

На рис. 11 показаны кривые зависимости глубины промерзания песка от времени, протекшего после остановки монитора.

Кривые построены по данным наблюдения 1936 г. на Хорошевском спрямлении канала Москва — Волга. Интересно отметить, что опытные данные хорошо согласуются с теоретическими выводами.

Более подробные сведения об особенностях размыва при низких температурах будут приведены ниже а разделе производства работ.

## 2. Эскавация грунта непосредственным всасыванием из-под воды

Представим себе, что сосун землесоса находится в непосредственной близости к грунту, подлежащему эскавации (рис. 12). Засасываемая землесосом вода будет увлекать за собой частицы грунта. Количество частиц грунта, увлекаемых единицей объема

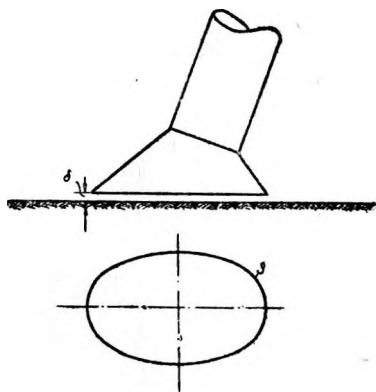


Рис. 12. Схема всасывания грунта из-под воды.

всасываемой воды, — интенсивность всасывания — зависит от: 1) характеристики грунта (крупности его зерен, связности и т. п.); 2) направления и величины скоростей в зоне всасывания.

Законы, связывающие интенсивность всасывания с отдельными факторами, на сегодня еще мало известны. Поэтому здесь, как и в разделе о размыве гидромониторами, мы вынуждены ограничиться описанием чисто качественной стороны явлений.

Сыпучие, малосвязные грунты всасываются наиболее интенсивно, причем крупные частицы всасываются лучше, чем мелкие. Связанные грунты (глины, суглинки, слежавшийся ил и т. п.) всасываются плохо, и их приходится предварительно разрыхлять.

Направления и скорости в зоне всасывания зависят, очевидно, от формы и размеров наконечника сосуна, а также от положения его относительно грунта, подлежащего эскавации.

Скорость в зоне всасывания будет зависеть прежде всего от зазора  $\delta$  (рис. 12). Если обозначим через  $s$  — периметр всасывающего наконечника и через  $q$  — производительность землесоса на воду, то скорость  $v$  непосредственно у входа в сосун, т. е. там, где следует ожидать максимальной интенсивности отделения грунта, будет:

$$v = \frac{q}{\delta s}. \quad (9)$$

С началом всасывания грунта ширина зазора  $\delta$  начинает увеличиваться, следовательно скорость и интенсивность всасывания при неподвижном положении сосуна уменьшаются. Вследствие этого является необходимость непрерывного перемещения

всасывающей головки для поддержания некоторых оптимальных значений зазора  $\delta$ .

Уменьшение зазора  $\delta$  будет, очевидно, вызывать увеличение интенсивности всасывания, однако следует помнить, что уменьшение  $\delta$  будет неизбежно увеличивать сумму гидравлических потерь, предел которых, как известно, во всасывающей линии невелик.

Заметим, что интенсивность всасывания хорошо отмечается вакуумметром.

### 3. Всасывание грунта из-под воды с предварительным разрыхлением

Выше указывалось, что для плотных грунтов интенсивность всасывания очень невелика и что такой грунт приходится предварительно разрыхлять. Известны два способа подводного разрыхления — гидравлический и механический.

Первый способ вследствие его малой эффективности (см. раздел оборудования) в настоящее время не применяется, поэтому здесь ограничимся рассмотрением только второго способа.

Механическое разрыхление (рис. 13) заключается в том, что отделение частиц грунта от массива производится помощью прочных ножей той или иной формы, приводимых в движение специальным двигателем.

Если разрыхлитель фрезерного типа (рис. 13) одновременно с вращением вокруг своей оси с окружной скоростью  $v_1$  будет иметь еще поступательные движения в направлении, перпендикулярном своей оси со скоростью  $v_2$ , то объем разрыхляемого им за один час грунта  $V$  будет выражаться формулой:

$$V = v_n l h \cdot 60, \quad (10)$$

где  $v_n = v_1 \pm v_2$  — средняя скорость движения ножа относительно грунта в м/мин,

$l$  — режущая длина ножа разрыхлителя в м;

$h$  — толщина слоя грунта, снимаемого ножом.

Если обозначить через  $H$  заглубление фрезы в грунт, а произведение  $lH$  обозначить через  $F$  (площадь срезаемой ленты грунта при папильонаже), то уравнение (10) можно переписать так:

$$V = F v_n \cdot 60, \quad (11)$$

откуда

$$F = \frac{V}{60 v_n}. \quad (12)$$

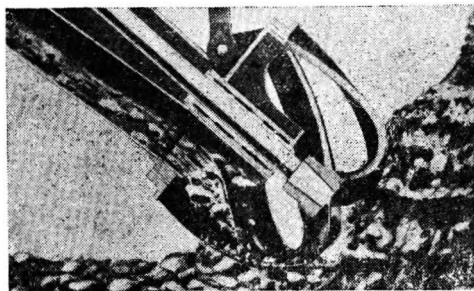


Рис. 13. Работа разрыхлителя.



Назовем отношение  $\frac{d}{l}$  через  $\varepsilon$ , тогда при  $h = d$ :

$$F = \frac{d^2}{\varepsilon} \text{ или } d = \sqrt{F\varepsilon}. \quad (13)$$

Эта формула справедлива только для пластичных грунтов. Для грунтов малосвязных и песков, вследствие незакономерных обвалов, она неприменима.

Необходимо отметить, что уравнение (13) выведено для горизонтально расположенной головки разрыхлителя.

В натуре же ось головки всегда расположена к горизонту под некоторым углом  $\alpha$ , отчего площадь папильонажной ленты будет меньше  $F$ .

Поэтому для определения  $d$  при заданной производительности и постоянной скорости папильонирования в уравнение (13) надо ввести некоторый коэффициент, учитывающий наклон от разрыхлителя. Обозначая этот коэффициент буквой  $k_1$ , найдем что:

$$k_1 = \frac{F-f}{F}, \quad (14)$$

причем:

$$f = \left[ l - \frac{d(1 - \cos \alpha)}{\sin \alpha} \right] \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2}. \quad (15)$$

Далее в уравнение (13) необходимо ввести коэффициент  $k_2$ , учитывающий отклонение площади проекции фрезы  $F_1$  на вертикальную плоскость от площади правильного прямоугольника —  $F$ :

$$k_2 = \frac{F_1}{F}. \quad (16)$$

Кроме того в уравнение (13) надо ввести коэффициент  $k_3$ , учитывающий загромождение сечения фрезы ножами.  $k_3$  определяется из равенства:

$$k_3 = \frac{F_2}{F}, \quad (17)$$

где  $F_2$  — площадь живого сечения. Уравнение (13) после введения в него перечисленных коэффициентов примет вид:

$$d = \sqrt{\frac{F\varepsilon}{k_1 k_2 k_3}}. \quad (18)$$

Наивыгоднейшие значения величин, входящих в уравнение (18), теоретически определены быть не могут. Практикой выработаны некоторые оптимальные значения, дающие в различных конкретных условиях эксплуатации относительно удовлетворительные результаты (см. раздел об оборудовании). Можно с уверенностью сказать, что теоретические изыскания в этой области совместно с правильно поставленными экспериментами могут дать огромные результаты.

Рассмотренная схема разрыхления в натуре обычно усложняется тем, что  $H > d$ , т. е. разрыхлителю приходится работать в слое грунта, превышающем его диаметр. В этом случае пла-

номерному разрыхлению будут сопутствовать незакономерные обвалы вышележащего грунта.

Мощность, потребная для вращения разрыхлителя, определяется следующей формулой:

$$N = 1,3 \frac{n\pi dtlz_p}{60 \cdot 75\eta}, \quad (19)$$

где

1,3 — коэффициент запаса на случай обвала грунта или других причин, требующих повышенных усилий;

$n$  — число оборотов фрезы в 1 мин.;

$t$  — удельное усилие резания в  $кг$  на 1 *пог. см* лезвия ножа;

$l$  — длина ножа в *см*;

$Z_p$  — число одновременно работающих ножей (оно может быть принято равным половине общего числа ножей в фрезерной головке);

$\eta$  — механический к. п. д. (от 0,6 до 0,7).

Величина  $t$  колеблется от 5—6 *кг/см* для наиболее легких грунтов, до 70 *кг/см* для тяжелых глин. Опытные данные для обоснованного выбора величины  $t$  отсутствуют, поэтому весь расчет по формуле (19) дает лишь порядок величины, которая корректируется на основе сравнения с уже осуществленными разрыхлителями.

При определении потребной мощности для разрыхлителя ЦНИВТ рекомендует исходить из удельных расходов мощности для разрыхления 1  $м^3$  грунта, а именно считать, что на 1  $м^3$  часовой производительности земляного снаряда при легких грунтах необходимо от 0,2 до 0,35 *л. с.*, для средних — от 0,35 до 0,55 *л. с.* и для плотных — от 0,6 до 1 *л. с.*

Способ, рекомендуемый ЦНИВТ, дает результаты, оправдывающие себя на практике, но и в этом случае необходимо констатировать недостаточность опытных данных.

Сравнивая удельные расходы энергии, расходуемые при гидравлическом и механическом разрыхлении грунта, следует отметить, что на механическое разрыхление требуется в несколько раз (от 5 до 10) меньше энергии, чем на гидравлическое.

### **Б. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ГРУНТА ВОДОЙ**

После экскавации второй стадией земляных работ считается транспорт грунта. Следует отметить, что при гидромеханизации гидротранспорт совершенно тесно связан с остальными стадиями работ. Первая стадия гидромеханизации — экскавация грунта — нередко, а иногда и с большим эффектом производится не водой, а каким-либо механическим способом, например экскаватором, без гидротранспорта же, в той или иной его разновидности, гидромеханизация немыслима вовсе.

Правильное решение вопросов гидротранспорта в основном предопределяет эффективность всей работы в целом.

Как известно, различают два случая транспортирования грунта водой: а) транспортирование в лотках (безнапорное) и б) транспортирование в трубах (напорное).

# 1. Транспортирование грунта водой в лотках (безнапорное транспортирование)

Представим себе на дне потока частицу грунта в виде правильного куба со сторонами  $a$ . Если эта частичка неподвижна и поток воды обтекает ее со скоростью  $u$ , то давление на переднюю грань куба будет равно:

$$P = \varphi a^2 u^2,$$

где  $\varphi$  — некоторый размерный коэффициент.

Сдвиг частицы с места может произойти в результате перекачивания или скольжения.

Опрокидывающий момент может быть, очевидно, выражен так:

$$m_0 = P \frac{a}{2} = \varphi \frac{u^2 a^3}{2}, \quad (20)$$

а момент устойчивости с учетом потери веса тела в воде:

$$m_y = a^3 (\gamma - 1) \frac{a}{2}, \quad (21)$$

где  $\gamma$  — удельный вес тела.

В предельном случае равновесия  $m_0 = m_y$ , откуда:

$$a = \varphi \frac{u^2}{\gamma - 1}. \quad (22)$$

Так как для предельного случая равновесия движущая сила  $P$  и сила трения  $t$  равны между собой, то имеем равенство:

$$\varphi u^2 a^2 = f (\gamma - 1) a^3, \quad (23)$$

где  $f$  — коэффициент трения. Решая уравнение (23) относительно  $a$ , получим:

$$a = \varphi \frac{u^2}{f (\gamma - 1)}. \quad (24)$$

Уравнения (22) и (24) показывают, что как при перекачивании, так и при скольжении линейный размер тела пропорционален квадрату скорости потока. Если обозначить через  $G_2$  веса некоторых тел, а через  $u_1$  и  $u_2$  скорости трогания этих тел, то, замечая, что веса тел равных удельных весов пропорциональны кубу их линейных размеров, найдем:

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{u_1^6}{u_2^6}. \quad (25)$$

Уравнение (25) выражает собой закон Эри. Словами закон Эри может быть выражен так: вес тел, передвигающихся вдоль дна, пропорционален шестой степени скорости.

Вывод этого закона был сделан для куба, однако вполне возможно доказать его справедливость для тел любой формы.

Проф. Великанов для предельного случая равновесия дает формулу, которая учитывает не только скорость потока, но и уклон дна:

$$u = 6,32 \sqrt{r \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\cos \beta}}, \quad (26)$$

где  $r$  — радиус частицы грунта,  $\beta$  — угол трения частицы о дно,  $\alpha$  — угол наклона дна к горизонту.

Знак минус под корнем должен быть заменен на плюс, если дно будет наклонено в сторону, противоположную течению.

Наблюдения над потоком, транспортирующим твердые частицы, показывают, что одна часть частиц перемещается влечением по дну, тогда как другая взвешивается потоком и транспортируется им во взвешенном состоянии.

Проф. Гончаров для начала трогания частицы с места дает равенства:

$$u = 3,97 \sqrt{a}, \quad (27)$$

а для начала взвешивания частицы в потоке равенство:

$$u = 9,18 \sqrt{a}. \quad (28)$$

Отмечая, что второе равенство (т. е. влечение во взвешенном состоянии) более согласуется с экспериментом, проф. Гончаров делает вывод, что главным условием смыва частиц является подъемная сила. Развивая далее эту мысль, проф. Гончаров приходит к выводу о некоторой условности существующего деления наносов на взвешенные и донные. Механизм взвешивания частиц представляется следующим образом.

На дне потока и непосредственно на частице грунта возникает подъемная сила, определяемая уравнением проф. Жуковского. Вытолкнутая со дна частица попадает в турбулентный поток и, будучи увлекаема им, описывает сложный путь с рядом подъемов, опусканий и отклонений в стороны. По прошествии некоторого времени частица опять приходит в соприкосновение с дном, опять выбрасывается в толщу турбулентного потока и т. д.

Некоторые вопросы, касающиеся гидротранспорта грунта в лотках, излагаются в работе проф. Гончарова „Движение наносов“ (1938 г.).

Проф. Гончаров рассматривает например транспортирующую способность потока в зависимости от глубины потока, скорости потока, шероховатости лотка, крупности частиц, характера смеси и удельного веса частиц.

В конечном итоге проф. Гончаров дает две расчетные формулы [(120) и (121) в упомянутой работе] для определения твердого расхода.

Эти формулы мы не приводим ввиду сложности пользования ими.

Эмпирические формулы и кривые, применяемые для расчета потоков, транспортирующих грунт

Таггарт (Справочник по обогащению полезных ископаемых, т. IV) для лотков, транспортирующих материалы средней крупности, дает формулу:

$$h = 0,15 \sqrt[5]{\frac{Q^2}{l}}, \quad (29)$$

где  $h$  — глубина потока в мм;  
 $Q$  — расход в м<sup>3</sup>/сек  
 $i$  — уклон.

Эта формула вытекает из общеизвестного уравнения Шези:

$$v = C \sqrt{Ri}$$

при  $C = 80$  и  $b = 2h$ , где  $b$  — ширина потока.

Благодаря наличию в формуле корня пятой степени она несколько сложна для практических целей.

Ленгипроцветмет на основе обработки данных американских фирм для расчета желобов предлагает пользоваться тремя графиками, приведенными на рис. 14, 15 и 16.

Разберем на примере способ пользования этими графиками.

**Пример.** Требуется подобрать сечение и уклон лотка для транспортирования пульпы. Консистенция пульпы 1:4. Производительность — 360 м<sup>3</sup>/час, или 6,0 м<sup>3</sup>/мин.

*Отношение твердого к жидкому*

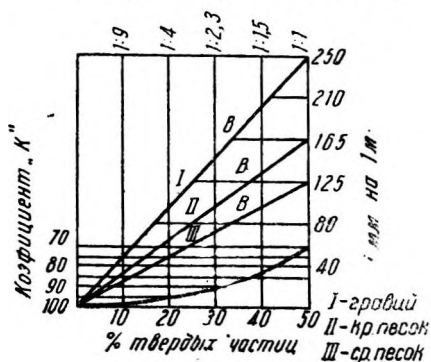


Рис. 14. График для расчета лотков по Ленгипроцветмету.

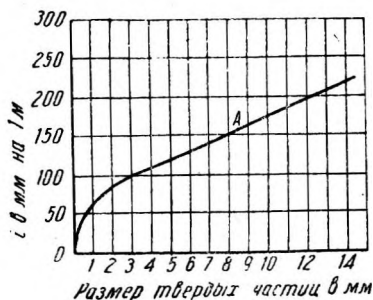


Рис. 15. График для расчета лотков по Ленгипроцветмету.

Грунт — песок среднезернистый с зернами крупностью 0,25 мм.

Решение. По кривой  $c$  (рис. 14) определяем коэффициент  $k$ , на который делим заданную производительность. Для консистенции 1:4  $k = 0,95$ .

$$Q_{расч} = \frac{6,0}{0,95} = 6,32 \text{ м}^3/\text{мин},$$

затем по кривой  $A$  (рис. 15) подбираем по заданному размеру частицы уклон  $i$ . В нашем случае он равняется 3%; далее выбранный уклон корректируется по кривым  $B$  (рис. 14); для консистенции 1:4 эта кривая рекомендует уклон 4,5%, принимаем для расчета среднюю величину:

$$\frac{3 + 4,5}{2} = 3,75\%$$

Сечение лотка выбираем по диаграмме, изображенной на рис. 16.

Для расхода 6,32 м<sup>3</sup>/мин и уклона 3,75% сечение лотка будет 450 X 300 мм.

Этот способ расчета лотка дает сечение и уклон с некоторым запасом. Поэтому, если уклон не лимитируется рельефом местности, метод Ленгипроцветмета может быть рекомендован.

Уклон лотка в зависимости от консистенции для песков средней крупности некоторые авторы рекомендуют определять по эмпирической формуле:

$$i = \frac{12}{\omega} + 1, \quad (30)$$

где  $i$  — уклон в %, а  $\omega$  — весовое отношение воды к твердому веществу. Пользуясь этой формулой и графиком (рис. 16), можно также производить подбор лотков.

Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники на основе своих опытов с лотками, транспортирующими пульпу, приходит к следующему выводу.

„При расчете открытых пульповодов, когда предполагается, что движение пульпы будет происходить так, что твердый материал будет находиться во взвешенном состоянии, можно пользоваться формулами гидравлики и определять гидравлические элементы потока, исходя из общеизвестных гидравлических зависимостей”.

Из рассмотрения результатов опытов, произведенных в НИИГИ, следует, что такой способ расчета будет гарантировать заданную пропускную способность лотка даже с некоторым запасом.

По данным того же института все твердые частицы в потоке будут находиться во взвешенном состоянии, если расчет потока будет произведен по формуле:

$$P^0/0 = A \left( \frac{h}{h_{кр}} \right)^n \left( \frac{v_{кр}}{v_0} - 1 \right)^3, \quad (31)$$

где  $P$  — процентное содержание твердого материала в чистой воде (по весу);

$v_{кр}$  — скорость потока, при которой происходит полное взвешивание;

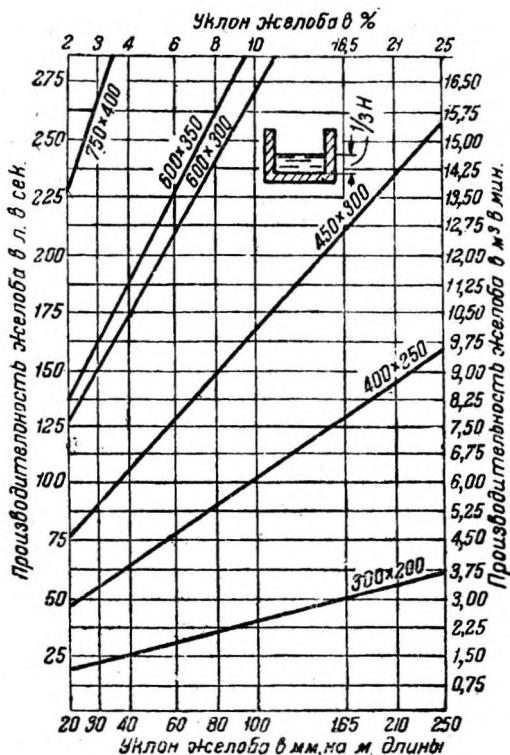


Рис. 16. График для расчета лотков по Ленгипроцветмету.

$v_0$  — скорость потока, при которой происходит начало взвешивания;

$h_{кр}$  — расчетная глубина потока в м;

$h$  — постоянная глубина потока, при которой было составлено уравнение (31);  $h = 0,2$  м;

$n$  — некоторый опытный показатель степени для данного материала;

$A$  — некоторый опытный коэффициент для данного материала.

Для песчаной пульпы с зернами  $d_{cp} \approx 0,1$  мм,  $A = 0,094$ ;

$h = 0,20$  м;  $v_0 = 0,3$  м/сек и  $n = 0,5$ .

При этих значениях уравнение (31) принимает вид:

$$P^0/0 = 0,094 \sqrt{\frac{0,2}{h_{кр}}} \cdot \left( \frac{v_{кр}}{0,3} - 1 \right)^3. \quad (32)$$

Для песчаной пульпы с зернами  $d_{cp} = 0,32$  мм;  $A = 0,017$ ;

$h = 0,20$  м;  $v_0 = 0,35$  м/сек;  $n = 2$  и уравнение (31) принимает вид:

$$P^0/0 = 0,107 \left( \frac{0,2}{h_{кр}} \right)^2 \left( \frac{v_{кр}}{0,35} - 1 \right)^3. \quad (33)$$

Наконец для песчаной пульпы с частицами  $d_{cp} = 0,08$  мм

при  $v_0 = 0,1$  м/сек

$$P^0/0 = 0,00408 \left( \frac{v_{кр}}{0,1} - 1 \right)^3. \quad (34)$$

Рассматривая уравнение (31), можно сделать ценный практический вывод: при подборе сечения лотка ни в коем случае не следует стремиться к большой глубине потока, так как при увеличении глубины потока относительное содержание твердых частиц снижается.

В результате опытов, произведенных в Ташкентском институте ирригации, проф. Соколов Д. в 1933 г. предложил следующую эмпирическую формулу для расчета лотков, транспортирующих лессовидные грунты и мелкие пески с примесью глины:

$$\gamma Ri = (0,4p \sqrt[3]{Q} + 1) Q^{0,44}, \quad (35)$$

где  $\gamma$  — объемный вес пульпы;

$R$  — гидравлический радиус в м;

$p$  — содержание твердых частиц в потоке в процентах по весу;

$Q$  — расход пульпы в м<sup>3</sup>/сек;

$i$  — уклон лотка.

Формула проф. Соколова по своему виду громоздка и мало удобна для практического пользования. Для решения практических задач транспортирования грунта водой в лотках этих формул вполне достаточно<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Ряд формул приводится в книге ииж, Роер. Намывные плотины 1938 г.

**Выводы.** На основе сравнения результатов, даваемых приведенными выше формулами и графиками, с некоторыми практическими данными считаем возможным следующим образом ориентировать читателя в вопросе выбора метода расчета лотка.

1) Для лотков, транспортирующих частицы крупностью 1,0—2,0 мм и выше, удовлетворительный расчет дают графики рис. 14, 15, 16.

Для прикидок в этом случае можно пользоваться формулой (35).

2) Для расчета лотков, транспортирующих мелкие и средние пески, можно пользоваться формулами (32), (33) и (34). (Найденные по этим формулам значения  $v_{кр}$  должны увеличиваться на 10%.) Размеры и уклон лотка определяются дополнительно по формуле Шези:

$$Q = \omega C \sqrt{Ri} \quad (36)$$

с коэффициентом  $C$  по формуле Базена

$$1 + \frac{\frac{87}{\gamma}}{\sqrt{R}} \quad (37)$$

Значения коэффициента шероховатости  $\gamma$  приведены в табл. 2

Таблица 2

№ п/п	Род дна и стенки лотка	Коэффициент шероховатости $\gamma$
1	Очень гладкие стенки (строганные доски, гладкая цементная штукатурка, железная облицовка и т. д.) . . . . .	0,06
2	Гладкие стенки (нестроганные доски, хорошая бетонировка и т. п.) . . . . .	0,16
3	Негладкие стенки (посредственная бетонировка, хорошая бутовая кладка) . . . . .	0,46
4	Промежуточная категория (грубая бутовая кладка, весьма грубая бетонировка, замощение булыжником), стенки в плогных землястых грунтах . . . . .	0,85

В табл. 3 приведены значения  $C$  для некоторых значений  $R$  и  $\gamma$ , встречающихся на практике.

3) Для расчета лотков, транспортирующих лессовые грунты, а также хорошо размытые супеси и суглинки, можно пользоваться уравнением (35), причем объемный расход пульпы определяется так же, как и в предыдущем случае по формуле Шези.

Ряд организаций продолжает исследовательские работы в области гидротранспорта грунта в лотках. Надо надеяться, что в конце концов, несмотря на сложность явлений, будет найдена удобная для пользования формула и опытным путем отысканы все необходимые коэффициенты для встречающихся на практике грунтов, консистенций и других величин.



## 2. Напорное транспортирование грунта по трубам

Несмотря на то, что гидравлический транспорт грунта по трубам применяется достаточно широко уже ряд десятилетий, вопрос этот до настоящего времени изучен еще совершенно недостаточно.

Таблица 3

$R$ в м	$\gamma = 0,06$	$\gamma = 0,16$	$\gamma = 0,46$	$\gamma = 0,85$	$R$ в м	$\gamma = 0,06$	$\gamma = 0,16$	$\gamma = 0,46$	$\gamma = 0,85$
0,05	68,5	50,7	28,4	18,1	0,23	77,3	65,2	44,4	31,4
0,06	69,8	52,6	30,2	19,4	0,24	77,5	65,5	44,8	31,8
0,07	70,9	54,2	31,7	20,6	0,25	77,6	65,9	45,3	32,2
0,08	71,8	55,6	33,1	21,7	0,26	77,8	66,2	45,7	32,6
0,09	72,5	56,7	34,4	22,7	0,27	78,0	66,5	46,1	33,0
0,10	73,1	57,7	35,5	23,6	0,28	78,1	66,8	46,5	33,4
0,11	73,6	58,7	36,5	24,4	0,29	78,3	67,0	46,9	33,7
0,12	74,1	59,5	37,4	25,2	0,30	78,4	67,3	47,3	34,1
0,13	74,6	60,2	38,2	25,9	0,31	78,5	67,6	47,6	34,3
0,14	75,0	60,9	39,0	26,7	0,32	78,6	67,8	47,9	34,7
0,15	75,3	61,5	39,7	27,2	0,33	78,8	68,0	48,2	35,1
0,16	75,6	62,1	40,5	27,8	0,34	78,9	68,2	48,5	35,4
0,17	75,9	62,7	41,2	28,4	0,35	79,0	68,4	48,8	35,7
0,18	76,2	63,2	41,8	29,0	0,36	79,1	68,6	49,2	36,0
0,19	76,5	63,6	42,4	29,5	0,37	79,2	68,8	49,5	36,3
0,20	76,7	64,1	42,9	30,0	0,38	79,2	69,0	49,8	36,6
0,21	76,9	64,5	43,5	30,5	0,39	79,3	69,2	50,1	36,8
0,22	77,1	64,9	44,0	30,9					

Для изучения движения однородных вязких жидкостей в XIX столетии и за последнее время произведено огромное количество теоретических и экспериментальных работ. В отношении же изучения движения жидкостей, содержащих твердые частицы, имеется не более десяти исследований, причем большинство из них не может быть признано достаточно качественными как в научном отношении, так и в отношении методики и техники экспериментальных работ.

Первые опыты по определению потерь напора в трубах были организованы Правительством США в 1896 г. на дноуглубительных рефулерных работах на р. Миссисипи. Изучались потери напора при транспортировании смеси воды с песком. Опыты были организованы с научной стороны неудовлетворительно, и результаты их интереса не представляют.

В 1906 г. проф. Мерчинг на р. Днепре около Киева производил исследование пульповодов диаметром 380 и 500 мм. Замер расходов и консистенций производился объемным способом при помощи двух водонепроницаемых колодцев, вырытых на берегу. Объем колодцев был 50 м<sup>3</sup>. Отчет об опытах содержит интересные данные (см. ниже раздел о пульповодах) о потерях в трубах.

В 1934—1936 гг. интересные в методологическом отношении исследования были проведены Центральным научно-исследовательским институтом водного транспорта в Ленинграде.

Было проведено свыше 2000 наблюдений с трубами диаметром 80, 100 и 106 мм. ЦНИИВТ пришел к выводам, что песчаная пульпа может рассматриваться как однородная вязкая жидкость. Исходя из этого положения, ЦНИИВТ считает возможным экстраполировать результаты своих опытов на трубы больших диаметров методами обычной гидравлики.

Метод ЦНИИВТ таков:

Из уравнения Дарси:

$$h = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (38)$$

можно определить  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{h}{l} \cdot \frac{2gd}{v^2}. \quad (39)$$

По кривой Прандтля  $Re = \Phi(\lambda)$  для каждого значения  $\lambda$  может быть определено соответствующее  $Re$ .

Зная  $Re$ , по уравнению

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (40)$$

можно определить  $\nu$  — коэффициент вязкости.

В этом определении  $\nu$  ЦНИИВТ и видит решение вопроса, так как других способов определения коэффициента вязкости для пульпы пока нет. В своем отчете ЦНИИВТ приводит ряд значений  $\nu$  для пульп различных консистенций.

Определение потерь напора для пульпы по ЦНИИВТ производится в следующем порядке:

1) из таблиц выбирают значение  $\nu$  в соответствии с заданной консистенцией пульпы и характеристикой грунта;

2) по уравнению  $Re = \frac{vd}{\nu}$  находят  $Re$  для заданного диаметра и скорости;

3) зная  $Re$  по безразмерному графику Прандтля, определяют  $\lambda$ ;

4) по формуле Дарси определяют гидравлические потери.

Точность своих расчетов ЦНИИВТ оценивает возможной ошибкой в 15—20%. Для песков полученные таким образом потери напора оказываются несколько завышенными против фактических.

Мы считаем, что способ ЦНИИВТ на сегодня практического значения не имеет, однако необходимо еще раз подчеркнуть его большой методологический интерес, в особенности для глинистых и илистых пульп.

Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники в 1936—1937 гг. производил опыты по гидротранспорту в железной трубе  $D = 250$  мм. Основные результаты этих опытов приведены на рис. 17 и могут служить для ориентировочных расчетов аналогичных пульповодов.

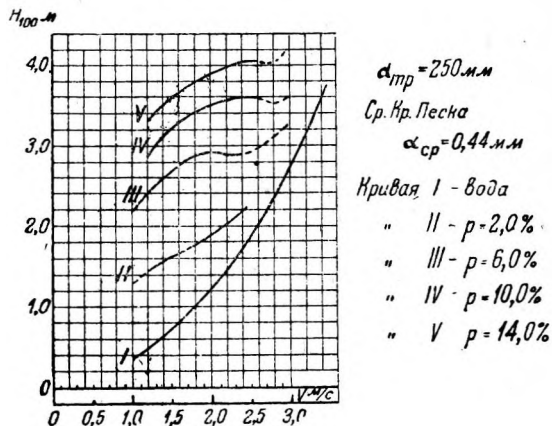


Рис. 17. Кривые потерь НИИГ.

НИИГИ в заключительной части своего отчета указывает, что объем произведенных исследований не позволяет пока дать метод расчета напорных пульповодов.

В 1938 г. в лаборатории гидромеханизации строительства Куйбышевского гидроузла была проведена серия опытов с трубами  $D = 250$  и  $300$  мм. На рис. 18 и 19 приведены предварительные результаты этих опытов.

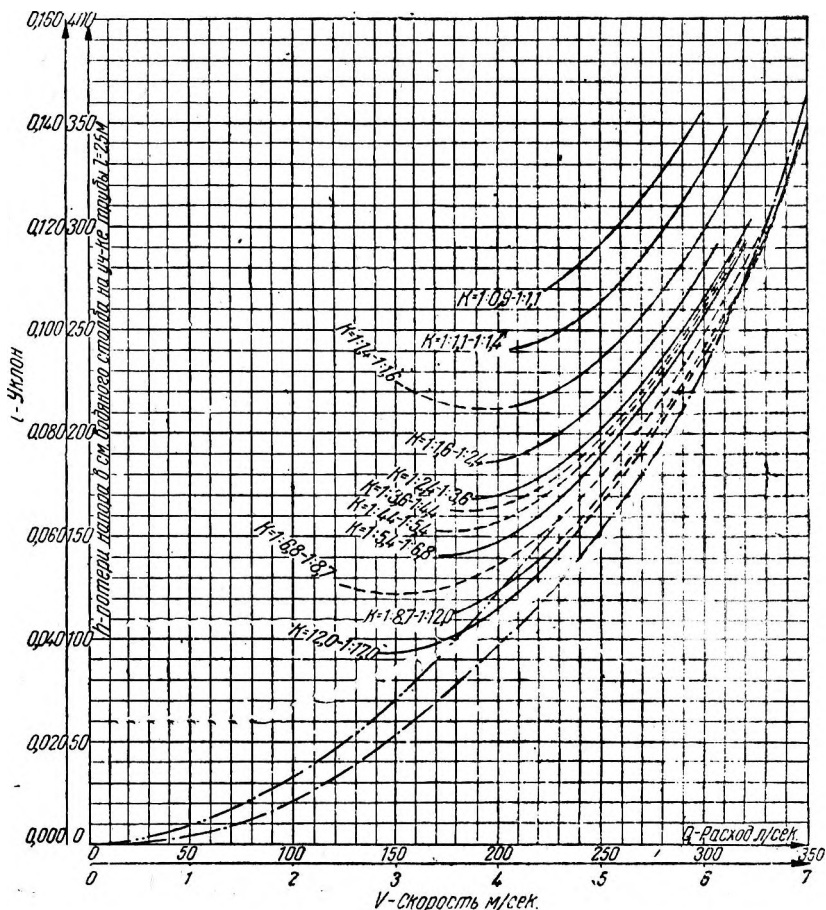


Рис. 18. Кривые потерь СКГУ для трубы диаметром 250 мм.

В 1940 г. в этой же лаборатории намечено выполнить большую серию опытов с трубами до 500 мм диаметром.

Кроме перечисленных исследований в период 1936-1938 гг. был сделан ряд замеров потерь в пульповодах в натуральных условиях. Результаты некоторых замеров приведены ниже в табл. 7.

В результате изучения материалов перечисленных исследований и натуральных замеров по вопросу напорного гидротранспорта грунта можно сделать следующие выводы:

- 1) Грунт движется по дну трубы, или в потоке во взве-

шенном состоянии. На производстве чаще всего приходится иметь дело со смешанным транспортированием. Основная масса грунта транспортируется во взвешенном состоянии, незначительная часть — наиболее крупные фракции—транспортируется влечением по дну трубы.

2) Если уменьшить скорость в пульповоде ниже известного предела, то сечение трубы начнет заиливаться до тех пор, пока скорость опять не достигнет величины, достаточной для проноса всего материала.

Таким образом в частично заиленном пульповоде происходит саморегулирование скоростей. При снижении скоростей происходит заиливание и скорость увеличивается до нормальной величины, а при увеличении скорости, наоборот, осадок грунта размывается и скорости уменьшаются.

3) В пульповоде, работающем полным сечением (незаиленным), при увеличении скорости до какого-то оптимального значения наблюдается снижение гидравлических потерь, при дальнейшем повышении скорости потери снова начинают расти. Оптимальной скорости, очевидно, соответствует момент, когда все частицы грунта приходят во взвешенное состояние.

Интервалу скоростей, в котором рост скорости вызывает снижение гидравлических потерь, соответствует, очевидно, постепенный переход от транспортирования влечением к транспортированию во взвешенном состоянии.

4) Гидравлические потери растут с увеличением процента содержания грунта в пульпе.

5) Увеличение потерь напора для пульпы по сравнению с чистой водой при больших скоростях уменьшается.

Кривая  $i=f(v)$  для пульпы асимптотически приближается к такой же кривой для чистой воды.

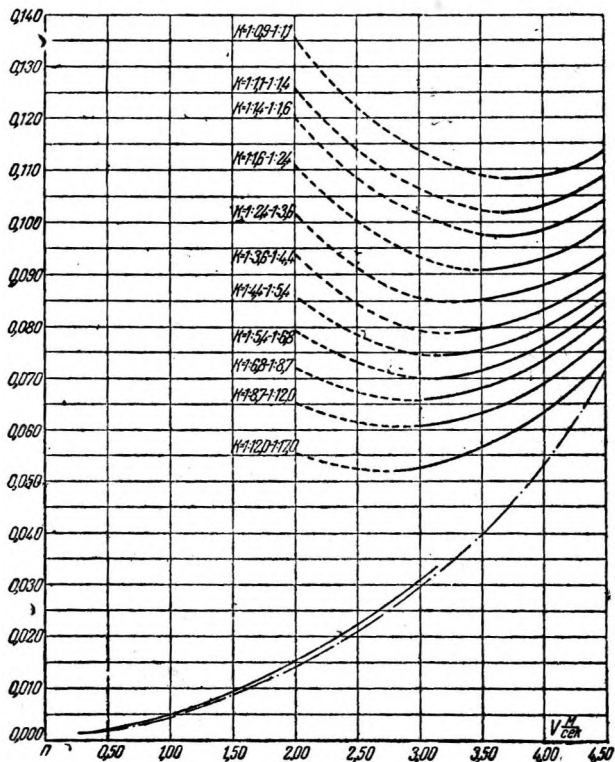


Рис. 19. Кривые потерь СКГУ для трубы диаметром 300 мм.

## Формула для определения гидравлических потерь в пульповоде

Вопрос о напорном транспортировании пульпы, как это уже отмечалось выше, изучен еще совершенно недостаточно. По этой причине мы считаем целесообразным предложить эмпирическую формулу, которая позволяла бы с точностью порядка 10% определять гидравлические потери в проектируемых пульповодах.

В 1935 г. автором была предложена формула<sup>1</sup>:

$$H = h_1 + \frac{L h_2 P}{1000},$$

где  $H$  — полная потеря напора в  $m$  на длине  $L$ ;  
 $h_1$  — потеря напора для чистой воды в  $m$  на длине  $L$ ;  
 $L$  — длина трубопровода в  $m$ ;  
 $h_2$  — потери напора для 1% песка на длине 1 км в  $m$ , определяемые по специальному графику;  
 $P$  — содержание песка в пульпе в процентах.

Однако накопленный к настоящему моменту опытный материал заставляет констатировать, что формула эта дает слишком преувеличенные значения потерь и должна быть заменена новой.

Формула, предлагаемая инж. Роер (см. Роер Г. Н., Намывные и полунамывные плотины, 1938 г.):

$$I = I_0 + \frac{I_0^k \beta}{100}, \quad (41)$$

где  $I$  — потери для пульпы;  
 $I_0$  — потери для чистой воды;  
 $k$  — консистенция грунта;  
 $\beta$  — некоторый коэффициент, зависящий от характера грунта, дает также слишком преувеличенные значения потерь напора.

Задаче определения потери напора в пульповодах с точностью порядка 10% отвечает новая формула (42), составленная автором:

$$I = \alpha \left[ I_0 + \beta \frac{vk}{(v - v_{кр})^2} \right], \quad (42)$$

где  $I$  — потеря напора в пульповоде в  $m$  вод. ст. на 100 м длины пульповода;  
 $I_0$  — потеря напора в пульповоде в  $m$  вод. ст. на длине в 100 м при замене пульпы чистой водой;  $I_0$  определяется по Скобею:  
 $v$  — скорость в пульповоде в  $m/сек$ , получаемая из равенства  $v = \frac{Q}{\omega}$ ;  
 $v_{кр}$  — критическая скорость в  $m/сек$ , при которой начинают двигаться частицы данного диаметра  $d$ ;

<sup>1</sup> Инж. Ш к у н д и н Б. М., Оборудование для гидромеханизации, 1935 г., стр. 48, формула (21).

$v_{кр}$  — определяются по формуле проф. Великанова:

$$v_{кр} = 0,1 \sqrt{14d + 6},$$

$k$  — отношение грунта к воде по объему;

$\alpha$  — коэффициент, зависящий от крупности частиц грунта, при частицах до 0,2 мм  $\alpha = 1,00$ , при частицах крупнее 0,2 мм  $\alpha = 1,05$ ;

$\beta$  — размерный коэффициент, зависящий от крупности частиц грунта.

При частицах размером до 0,2 мм  $\beta = 20,0$ . При частицах крупнее 0,2 мм  $\beta = 45,0$ .

Средним размером частиц транспортабельность грунта характеризуется совершенно недостаточно.

Опыты показывают, что скорость  $v_{кр}$  значительно зависит от однородности грунта или, что то же, от характера грунтовой смеси.

Проф. Гончаров для перехода от  $v_{кр}$  вычисленного для идеально однородного грунта с диаметром частиц  $d$ , к  $v'_{кр}$  — фактической скорости для реальной грунтовой смеси — предлагает уравнение:

$$v'_{кр} = v_{кр} \left( \frac{d}{D} \right)^{0,2}, \quad (43)$$

где  $D$  — наибольший диаметр зерен в смеси. Отношение  $\frac{d}{D}$  проф. Гончаров предлагает называть коэффициентом однородности смеси.

В табл. 4 для упрощения расчетов даны вычисленные значения  $v_{кр}$  для частиц различных размеров и различных смесей.

Таблица 4

$\frac{d}{D}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,10	0,197	0,214	0,226	0,236	0,246	0,253	0,260	0,266	0,272
0,15	0,206	0,223	0,236	0,247	0,276	0,264	0,272	0,278	0,284
0,20	0,215	0,234	0,247	0,258	0,268	0,276	0,284	0,290	0,297
0,25	0,223	0,242	0,257	0,268	0,278	0,286	0,294	0,301	0,308
0,30	0,232	0,252	0,266	0,279	0,289	0,297	0,306	0,312	0,320
0,40	0,247	0,268	0,284	0,297	0,308	0,317	0,326	0,333	0,341
0,50	0,262	0,284	0,301	0,314	0,326	0,335	0,345	0,353	0,361
0,60	0,275	0,299	0,316	0,331	0,343	0,353	0,363	0,372	0,380
0,70	0,288	0,312	0,330	0,345	0,358	0,368	0,380	0,388	0,397
0,80	0,301	0,326	0,345	0,365	0,374	0,385	0,397	0,406	0,415
1,00	0,325	0,352	0,373	0,390	0,405	0,415	0,427	0,437	0,448
1,20	0,346	0,376	0,397	0,415	0,431	0,443	0,457	0,466	0,477
1,40	0,367	0,398	0,421	0,440	0,456	0,470	0,484	0,495	0,506
1,60	0,387	0,418	0,443	0,464	0,482	0,495	0,510	0,520	0,533
1,80	0,405	0,438	0,465	0,485	0,504	0,518	0,534	0,545	0,558
2,00	0,423	0,458	0,485	0,507	0,526	0,541	0,557	0,570	0,583

Таблица 5

Диаметр в мм Скорость в м/сек	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
	1,5	0,999	1,015	1,035	1,055	1,078	1,120	1,158	1,195	1,230	1,270	1,350	1,425	1,525	1,605	1,690
1,75	0,800	0,814	0,827	0,839	0,853	0,880	0,903	0,930	0,955	0,990	1,029	1,078	1,130	1,180	1,230	1,285
2,00	0,670	0,680	0,685	0,690	0,695	0,710	0,740	0,760	0,781	0,796	0,825	0,860	0,893	0,931	0,960	0,995
2,25	0,575	0,581	0,590	0,597	0,606	0,611	0,620	0,632	0,655	0,670	0,681	0,709	0,740	0,764	0,784	0,808
2,50	0,503	0,508	0,513	0,520	0,526	0,536	0,548	0,559	0,566	0,578	0,595	0,611	0,630	0,647	0,661	0,680
2,75	0,448	0,452	0,455	0,462	0,466	0,474	0,483	0,491	0,498	0,507	0,518	0,533	0,547	0,560	0,573	0,585
3,00	0,404	0,407	0,411	0,414	0,419	0,423	0,431	0,437	0,443	0,450	0,462	0,470	0,482	0,493	0,502	0,516
3,25	0,362	0,368	0,374	0,377	0,379	0,383	0,385	0,390	0,402	0,404	0,414	0,422	0,431	0,440	0,451	0,457
3,50	0,335	0,339	0,343	0,346	0,348	0,352	0,355	0,359	0,364	0,368	0,376	0,384	0,391	0,397	0,404	0,411
4,00	0,288	0,290	0,292	0,295	0,298	0,301	0,303	0,306	0,310	0,313	0,317	0,323	0,328	0,333	0,338	0,344
4,50	0,251	0,253	0,255	0,256	0,258	0,260	0,262	0,264	0,267	0,269	0,274	0,278	0,282	0,286	0,290	0,293
5,00	0,224	0,225	0,226	0,227	0,228	0,231	0,233	0,234	0,236	0,238	0,241	0,245	0,248	0,251	0,254	0,257
5,50	0,201	0,202	0,203	0,204	0,205	0,207	0,208	0,210	0,212	0,214	0,216	0,218	0,220	0,223	0,226	0,228
6,00	0,183	0,184	0,184	0,185	0,186	0,187	0,188	0,190	0,191	0,192	0,194	0,196	0,199	0,201	0,203	0,205
6,50	0,167	0,168	0,168	0,169	0,170	0,171	0,172	0,173	0,174	0,175	0,177	0,179	0,181	0,183	0,184	0,186
7,0	0,154	0,155	0,156	0,156	0,157	0,158	0,159	0,159	0,160	0,161	0,163	0,165	0,166	0,168	0,169	0,170

Для упрощения расчетов по формуле (42) в табл. 5 приведены значения  $\frac{v}{(v - v_{кр})^2}$  для различных скоростей и диаметров

частиц. В этой таблице  $v_{кр}$  вычислено для однородного грунта.

На рис. 20 представлена кривая, построенная по уравнению (42). На том же рисунке дана кривая потерь для чистой воды, построенная по уравнению Скобея. Кривая по уравнению (42) асимптотически приближается к кривой для чистой воды.

В табл. 6 фактические потери напора сопоставлены с потерями напора, вычисленными по формуле автора. Заметим, что недостаток предлагаемой формулы заключается в том, что член  $\beta \frac{vk}{(v - v_{кр})^2}$  никак не зависит

от диаметра трубы. Несомненно, что гидравлические потери для пульпы по сравнению с чистой водой (при прочих равных условиях) будут как-то меняться с изменением диаметра трубы. Однако проверка формулы показывает, что в интервале применимости формулы (см. ниже) этот недостаток не вызывает больших ошибок. Применение

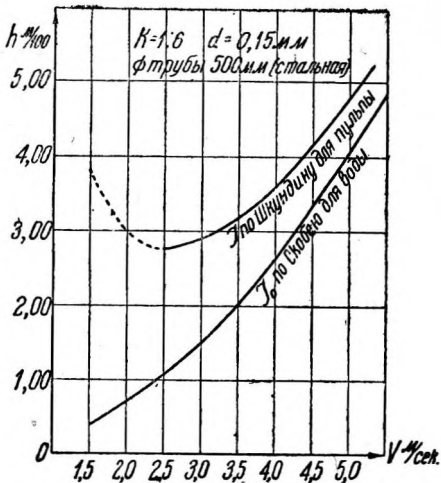


Рис. 20. Кривая потерь по формуле Шкундина и по Скобею.

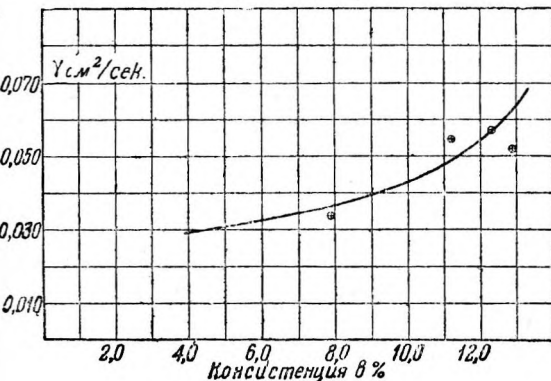


Рис. 21. Кривая зависимости вязкости от консистенции по ЦНИИВТ.

к точке перегиба кривой потерь, т.е.

Для определения потерь в пульповодах, транспортирующих ил и глину, может быть рекомендован вышеизложенный способ ЦНИИВТ. По данным ЦНИИВТ зависимость коэффициента вяз-

ности формулы (47) должно быть ограничено следующими условиями:

- 1) формула применима для частиц размерами не менее 0,1 мм и не более 2 мм;
- 2) формула применима для труб от 250 до 700 мм; для экстраполяции твердых оснований нет;
- 3) скорости в пульповодах не должны быть ниже скоростей, приведенных в табл. 7. Эти скорости близки к оптимальным.

Эти скорости близки к оптимальным.



№ п/п	Источник	Характеристика пульповодов	
		материал	диаметр в мм
1	2	3	4
1	Стр-во „Волгострой“ . . . . .	Деревянные новые	350
2	То же . . . . .	„ старые	350
3	„ . . . . .	„ „	350
4	„ . . . . .	Железн. цельнотянут. новые	450
5	Стр-во плотины Форт-Пек в Америке	Железн. сварные	700
6	Исследован. Мерчинга набл. 1906 г. .	Железн. клепан. соединенн. кожан. манжетами	500
7	Исследован. НИИГИ набл. 1936— 1937 гг. . . . .	Железн. цельнотянутые	250
8	То же . . . . .	То же	250
9	„ . . . . .	„	250
10	„ . . . . .	„	250
11	„ . . . . .	„	250
12	„ . . . . .	„	250
13	„ . . . . .	„	250
14	„ . . . . .	„	250
15	Стр-во Южной Гавани в Москве набл. 1938 г. . . . .	Деревянные старые	450
16	То же . . . . .	„ „	450
17	Стр-во Куйбышевского гидроузла, ла- боратория Гидромеханизац. набл. 1937—1938 гг. . . . .	Железные цельнотянутые	250
18	То же . . . . .	То же	250
19	„ . . . . .	„	250
20	„ . . . . .	„	250
21	„ . . . . .	„	250

Таблица 6

Скорость в трубопроводе в м/сек	Средняя крупность материала в мм	Отношение грунта к воде по объему	Гидравлические потери в м на 100 м				Отклонение	
			чистая вода		пульпа		разность	отклонение в %
			фактические	расчетные	фактические	по формуле Шкунина		
5	6	7	8	9	10	11	12	13
3,61	0,1	1:14,5	—	По Скобею 3,0	3,52	3,43	— 0,09	2,6
3,27	0,5	1:12,0	—	" "	4,80	4,55	— 0,25	5,5
2,85	0,5	1:6,9	—	" " 2,4	5,22	5,62	+ 0,40	7,6
3,16	0,1	1:6,4	—	" " 1,8	2,75	2,99	+ 0,24	9,2
7,00	0,3	1:6,6	—	" Прандтлю 3,3	4,00	4,36	+ 0,36	9,0
2,87	0,15	1:7,9	3,88	—	4,10	4,96	+ 0,86	21,0
2,5	0,45	1:11,5	1,9	—	4,05	4,20	— 0,15	3,8
2,5	0,45	1:16,0	1,9	—	3,60	3,58	— 0,02	0,5
2,5	0,45	1:26,7	1,9	—	2,90	2,96	— 0,06	2,0
2,5	0,45	1:80,0	1,9	—	2,20	2,31	+ 0,11	4,8
2,0	0,45	1:11,5	1,2	—	3,90	4,25	+ 0,35	9,0
2,0	0,45	1:16,0	1,2	—	3,50	3,25	— 0,25	7,1
2,0	0,45	1:26,7	1,2	—	2,90	2,57	— 0,33	11,3
2,0	0,45	1:80,0	1,2	—	1,84	1,69	— 0,15	8,1
2,75	0,20	1:13,3	1,25	—	2,20	1,94	— 0,26	11,8
2,50	0,20	1:13,3	0,9	—	1,74	1,67	— 0,07	4,0
4,0	0,35	1:2,3	3,8	—	8,50	10,10	+ 1,60	18,8
4,0	0,35	1:4,8	3,8	—	7,50	6,95	— 0,55	7,3
4,0	0,35	1:10,0	3,8	—	5,90	5,40	— 0,50	8,5
4,0	0,35	1:23,2	3,8	—	4,60	4,60	— 0,00	0,0
5,0	0,35	1:4,8	6,0	—	8,50	8,14	— 0,36	4,2

кости от консистенции может быть представлена в виде графика, изображенного на рис. 21.

Задаваясь нужной консистенцией, по этому графику выбирается значение  $v$  (в  $см^2/сек$ ) для смеси, затем для нужного диаметра трубы и скорости по уравнению (45) определяется  $Re$ .

Таблица 7

Диаметр труб в мм	Скорость в м/сек	Диаметр труб в мм	Скорость в м/сек
250	2,0	500	3,0
300	2,2	550	3,3
350	2,3	600	3,8
400	2,5	650	3,9
450	2,6	700	4,4

Значение коэффициента  $\lambda$  к формуле Дарси для деревянных и стальных труб достаточно точно может быть определено по формуле Ланга:

$$\lambda = 0,013 + \frac{1,7}{\sqrt{Re}}. \quad (44)$$

Значения  $\lambda$ , вычисленные по этой формуле для различных  $Re$ , приведены в табл. 8.

Местные потери в пульповодах можно определять по обычным формулам для чистой воды (см. главу II — „Трубопроводы”), увеличивая результат определения на процент превышения потерь для пульпы по сравнению с потерями для чистой воды на прямолинейных участках.

Вопрос о выборе экономических скоростей в пульповодах рассматривается в главе III.

Таблица 8

$Re$	$\lambda$	$Re$	$\lambda$	$Re$	$\lambda$
50 000	0,0206	200 000	0,0168	700 000	0,0150
60 000	0,0199	250 000	0,0164	800 000	0,0149
70 000	0,0194	300 000	0,0161	900 000	0,0148
80 000	0,0190	350 000	0,0159	1 000 000	0,0147
90 000	0,0187	400 000	0,0157	1 500 000	0,0144
100 000	0,0184	450 000	0,0155	2 000 000	0,0142
125 000	0,0178	500 000	0,0154	2 500 000	0,0141
150 000	0,0174	600 000	0,0152	3 000 000	0,0140

### В. УКЛАДКА ГРУНТА ВОДОЙ

Укладка грунта водой в тело сооружения или в отвал является третьей и последней стадией гидромеханизированных земляных работ. Если для первой стадии гидромеханизации (размыва) требуются скорости от 15 м/сек и выше, для второй стадии работ (транспорта) скорости от 1,5 до 7 м/сек, то при укладке грунта приходится иметь дело со скоростями от 0,5 м/сек до нуля включительно.

В практике проектирования намывных сооружений и в практике возведения этих сооружений возникают следующие основные вопросы:

1) как определить время выпадения частиц грунта из потока пульпы, текущей со скоростями от 0,5 м/сек до нуля;

2) какова зависимость уклонов намытых поверхностей от факторов, характеризующих поток пульпы, т. е. от консистенции, крупности фракций, расхода;

3) по каким законам происходит фракционирование грунта при его укладке гидравлическим способом;

4) каков закон уплотнения и влагоотдачи намытого грунта от времени, гранулометрического состава грунта, способа производства работ и других факторов.

Вопросы теории укладки грунта при помощи воды изучены еще совершенно недостаточно. Учитывая однако огромное практическое значение этих вопросов, попытаемся на основе исследований в некоторых смежных областях техники и весьма немногочисленных, специально поставленных наблюдений, дать качественную, а в некоторых случаях и количественную характеристику процессов, связанных с намывом.

## 1. Скорости осаждения частиц в жидкости

Наблюдения над падением частиц грунта в воде показывают, что в начале падения частица движется с некоторым ускорением, затем, когда сила сопротивления становится равной весу частицы грунта, движение делается равномерным.

Сила сопротивления, препятствующая падению частиц в жидкости, по Стоксу равна

$$\frac{3 \pi \nu v d \gamma_1}{g}, \quad (45)$$

где  $\nu$  — кинематическая вязкость;

$v$  — скорость равномерного падения шарообразной частицы;

$\gamma_1$  — удельный вес жидкости;

$d$  — диаметр частицы;

$g$  — ускорение силы тяжести.

Вес частицы в жидкости может быть выражен так:

$$\frac{1}{6} \pi d^3 (\gamma_2 - \gamma_1). \quad (46)$$

Приравняв выражения (45) и (46) и решая полученное уравнение относительно  $v$ , найдем:

$$v = \frac{d^2 g}{18 \nu} \left( \frac{\gamma_2}{\gamma_1} - 1 \right). \quad (47)$$

Для воды эта формула преобразовывается в следующую:

$$v = 545 (\gamma_2 - 1) d^2 \text{ мм/сек.} \quad (48)$$

По исследованиям Ричардса коэффициент для формулы Стокса равен 424, так что:

$$v = 424 (\gamma_2 - 1) d^2 \text{ мм/сек.} \quad (49)$$

Формула Стокса применима, если  $d$  не более 0,1 мм. Для интервала крупности  $0,14 < d < 1,0$  мм инж. А. М. Васильев дает формулу, составленную по данным Ричардса:

$$v = -2,931 + 125,35 d - 28,274 d^2, \quad (50)$$

где  $v$  — в мм/сек,  $ad$  — в мм.

Для диаметра частиц от 0,14 до 0,1 мм имеется зона с большим разбросом опытных точек. Эту зону Ричардс называет зоной „критических скоростей“. В зоне „критических скоростей“ может применяться формула Озена. Озен полагает сопротивление движению тела в жидкости равным  $6\pi\gamma_1 v \left( v + \frac{3}{16} d \right)$  и, приравняв силу сопротивления силе веса и решая относительно  $v$ , находит:

$$v = -\frac{C_1}{d} + \sqrt{\left(\frac{C_1}{d}\right)^2 + \frac{d\gamma_2}{2}}, \quad (51)$$

где:

$$C_1 = \frac{8}{3} \cdot \frac{\gamma_1}{\gamma_2} v \quad \text{и} \quad C_2 = \frac{16}{27} g \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\gamma_1}.$$

Упрощая для случая падения в воде, получим:

$$v = -\frac{0,0266}{\gamma_2 d} + \sqrt{\left(\frac{0,0266}{\gamma_2 d}\right)^2 + 292,5d(\gamma_2 - 1)}. \quad (52)$$

Для кварца при удельном весе, равном 2,65, получим:

$$v = -\frac{0,01}{d} + \sqrt{\left(\frac{0,01}{d}\right)^2 + 432d}. \quad (53)$$

Эта формула дает значения  $v$  в мм/сек для кварцевых зерен диаметром от 0,10 до 0,14 мм.  $d$  в формулу входит в миллиметрах. Для частиц от 1,0 до 2,0 мм применяется формула Риттингера:

$$v = 4,43 \sqrt{d(\gamma_2 - 1)} \text{ м/сек}, \quad (54)$$

а для диаметров выше 2,0 мм по опытам Ричардса применима формула:

$$v = 3,76 \sqrt{d(\gamma_2 - 1)} \text{ м/сек}. \quad (55)$$

В табл. 9 сведены все приведенные выше формулы с указанием пределов их применения. Если намываемый грунт содержит частицы  $d < 0,001$  мм, то падение частиц будет происходить уже не в чистой воде, а в суспензии, образованной мельчайшими частицами. Вязкость суспензии будет несколько выше вязкости воды, поэтому скорости падения будут несколько меньшими.

По опытам инж. А. М. Васильева скорость падения частиц  $d=0,10$  мм в дистиллированной воде составляет 6,48 мм/сек; при падении частиц того же размера в суспензии, имеющей концентрацию около 1,2%, скорость падения равна 6,13 мм/сек, что меньше скорости падения в чистой воде на 5,4%. Это находится в полном соответствии с результатами, получаемыми по формуле Стокса при подстановке соответствующих значений коэффициента кинематической вязкости. Учитывая изложенное,

а также недостаточность экспериментальных данных для точных расчетов, можно рекомендовать скорости падения тяжелых частиц в пульпе, содержащей мельчайшие глинистые частицы, снижать на 5—10%

Таблица 9

Формула	Предел применимости $d$ в мм
$v = 424 (\gamma_2 - 1) d^2$ мм/сек	От 0 до 0,10
$v = -\frac{0,0266}{\gamma_2 d} + \sqrt{\left(\frac{0,0266}{\gamma_2 d}\right)^2 + 292,5d(\gamma_2 - 1)}$	• 0,10 — 0,14
$v = -2,931 + 125,35d - 28,274d^2$	• 0,14 — 1,00
$v = 443 \sqrt{d(\gamma_2 - 1)}$	1,0 — 2,0
$v = 376 \sqrt{d(\gamma_2 - 1)}$	От 2,0 и выше

На скорость падения частиц в воде влияет температура воды. В табл. 10 сведены некоторые результаты исследования этой зависимости. Инж. Васильев предложил вычислять поправку на температуру по формуле:

$$P = \pm (d+0,1)n \text{ мм/сек}, \quad (56)$$

где  $P$ —поправка в мм/сек;

$d$  — диаметр зерна в мм;

$n$  — число градусов температуры, считая от 17°.

Таблица 10

Диаметр зерна в мм	Скорость падения в мм/сек при температуре			Средняя разница в мм/сек на 1°
	12°	17°	22°	
0,961	102,4239	107,6240	113,0501	1,0626
0,509	57,3410	59,8487	63,2514	0,5909
0,212	17,2390	19,2592	20,1581	0,2919

Приведенные выше рассуждения и формулы относились к неподвижной жидкости. В условиях же гидромеханизации чаще всего приходится иметь дело с выпадением частиц из воды, имеющей некоторые скорости, отличные от нуля. В ламинарном потоке траектории и скорости падающих частиц могут быть определены путем геометрического сложения векторов скорости вертикального падения частицы (определенной по одной из формул табл. 9) и скорости ламинарного потока. Сложнее обстоит дело с падением частиц в турбулентном потоке. Наличие верти-

кальных составляющих скоростей заставляет сделать вывод, что обязательно должно существовать неравенство:

$$v_m < v,$$

где  $v_m$  — скорость падения в турбулентном потоке, а  $v$  — скорость падения в стоячей воде. Следовательно можно положить:

$$v_m = av, \quad (57)$$

лов предлагает принимать  $\alpha = \frac{v - v'}{v}$ , где  $v'$  — вертикальная составляющая потока. Для скоростей от 0,1 до 0,3 м/сек проф. М. А. Великановым для  $v'$  дается значение:

$$v' \approx 0,2 u, \quad (58)$$

где  $u$  — скорость потока. По заявлению самого автора это значение недостаточно точно. Экспериментальных данных для уточнения его пока не имеется. Сложность всей обстановки турбулентного потока побуждает проф. Великанова<sup>1</sup> изменить постановку вопроса о скорости падения твердых частиц в турбулентном потоке. Проф. Великановым ставится задача определить, какова вероятность того, что частица упадет на дно не далее некоторой заданной длины  $s$ . Решение этой задачи требует применения теории вероятности к данному вопросу. Метод проф. Великанова (подробно см. в „Известиях НИИГ“, т. 18, 1936 г.) на сегодня не дает возможности решать практические задачи по падению частиц в турбулентном потоке. Можно надеяться, что после получения необходимых экспериментальных данных для вычисления коэффициентов, входящих в формулы Великанова, этот метод можно будет применить для их решения.

## 2. Уклоны, образующиеся при намыве

Если сухой грунт сыпать в одну точку, то образуется конус. Угол у основания конуса будет расти только до некоторого определенного для каждого грунта значения, характеризуемого коэффициентом внутреннего трения грунта. При намыве точно так же будет образовываться конус, причем, как это показывают наблюдения, угол у основания — угол откоса — зависит от:

- 1) среды, в которой происходит намыв (вода или воздух),
- 2) консистенции пульпы,
- 3) гранулометрического состава грунта в пульпе,
- 4) интенсивности намыва.

Угол откоса при намыве уменьшается по сравнению с углом для сухого грунта за счет следующих двух факторов: 1) уменьшения коэффициента внутреннего трения грунта вследствие насыщения его водой и 2) уплаживания откоса потоками пульпы, переносящими частицы грунта. При намыве в стоячую воду большое значение имеет первый фактор, при намыве в воздухе,

<sup>1</sup> См. „Известия“ НИИГ“, т. 18, 1936 г.

наоборот, решающее значение имеет второй фактор. При намыве в стоячую воду происходит почти мгновенное гашение скоростей и частицы грунта, подчиняясь почти исключительно силе тяжести, образуют откосы, близкие по величине к откосам данного грунта в водонасыщенном состоянии. Особенно это подтверждается на крупных песках. При интенсивном намыве под незначительный слой воды в результате неполного гашения скоростей потока откос значительно уположивается. То же самое наблюдается при намыве в текущую воду. Данных для количественной характеристики откосов, получаемых при намыве в воду, а тем более для вывода каких-либо математических зависимостей угла откоса от факторов, влияющих на него, совершенно недостаточно. В качестве самого первого приближения можно принимать, что при намыве в стоячую воду пульпой с консистенцией порядка 1:10 по объему, при расходе пульпы на 1 пог.м фронта намыва около 25—30 л/сек образуются откосы согласно табл. 11.

Таблица 11

№ п/п	Наименование грунта	Угол $\alpha$ при намыве под воду	$i = \operatorname{tg} \alpha$
1	Крупные пески . . . .	15°—22°	0,28—0,40
2	Средние „ . . . .	12°—17°	0,21—0,31
3	Мелкие „ . . . .	8°—13°	0,14—0,23
4	Легкие супеси . . . .	6°—10°	0,10—0,18

При намыве в воздухе угол откоса  $\alpha$  в основном зависит от характеристики потока пульпы, так что:

$$\alpha = F(kdq),$$

где  $k$  — консистенция пульпы;

$d$  — средний размер твердых частиц;

$q$  — интенсивность намыва, т. е. расход пульпы на 1 пог. м длины намыва.

Зависимость угла  $\alpha$  от перечисленных величин может быть охарактеризована так:

- 1) с увеличением консистенции пульпы угол  $\alpha$  увеличивается;
- 2) с увеличением крупности частиц намываемого грунта угол  $\alpha$  увеличивается; кроме зависимости от среднего размера частиц угол  $\alpha$  зависит как-то и от гранулометрического состава грунта в целом;
- 3) увеличение интенсивности намыва снижает угол  $\alpha$ .

Ниже в главе III приведено несколько снятых с природы профилей намыва, которые и могут служить для некоторой ориентировки в этом вопросе.

### 3. Фракционирование грунта при намыве

Представим себе стакан с водой, в котором находятся во взвешенном состоянии частицы грунта различной крупности. Очевидно, что в первую очередь осядут самые крупные частицы, так как они будут падать с максимальными скоростями, далее



будут выпадать частицы в порядке убывания крупности. Последними осядут самые мелкие частицы. Таким образом грунт, представляющий собой механическую смесь частиц разной крупности, окажется на дне рассортированным по фракциям. В условиях гидромеханизации грунт выпадает не из стоячей воды,

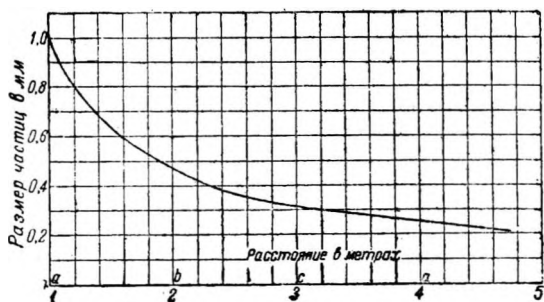


Рис. 22. График фракционирования грунта.

а из воды, текущей с небольшими скоростями. В этом случае процесс фракционирования грунта может быть наглядно представлен в виде графика на рис. 22. График изображает процесс фракционирования грунта, содержащего частицы крупностью 0,2 до 1,0 мм. Фракционирование осуществляется потоком, текущим со скоростью 1 м/сек. При построении графика принято, что все частицы начинают падать с высоты 100 мм одновременно. По горизонтальной оси отложены расстояния в метрах от точки начала фракционирования. Так как поток имеет скорость 1 м/сек, то цифры у горизонтальной оси обозначают также количество секунд, протекших от начала падения. Ординатами же являются диаметры частиц грунта в миллиметрах, которые выпадают на дно в определенных расстояниях от места начала падения. Таким образом из рассмотрения рис. 22 можно сделать вывод, что на участке *a—b* будут выпадать фракции от 0,48 до 1,0 мм, на участке *b—c* выпадут фракции от 0,32 до 0,48 мм и т. д. Намыв в натуральных условиях обычно связан с распластыванием потока пульпы. Распластывание, т. е. развитие потока в ширину, естественно, вызывает падение скоростей, чем еще более усиливается выпадение грунта при намыве.

При намыве грунтов, содержащих частицы с большим диапазоном крупностей, в результате фракционирования откос принимает форму, показанную в утрированном виде на рис. 23. Такой профиль совершенно понятен, так как более мелкие частицы укладываются более пологими откосами. Рис. 23 отражает профили, снятые с натуры.

Явление фракционирования изучено еще совершенно недостаточно; расход пульпы сильнейшим образом влияет на фракционирование.

В лаборатории гидромеханизации строительства Куйбышевского гидроузла при малых расходах наблюдалось следующее явление. Крупные частицы выносились к подошве откоса, а мелкие выпадали выше. Изучение явлений фракционирования имеет



Рис. 23. Профиль намывного откоса.

огромное значение, так как намывное сооружение может быть хорошо запроектировано только при правильном учете фракционирования.

#### 4. Влагоддача намывных грунтов

В намывных сооружениях в течение длительного времени происходит постепенно замедляющийся процесс влагоотдачи и уплотнения грунта.

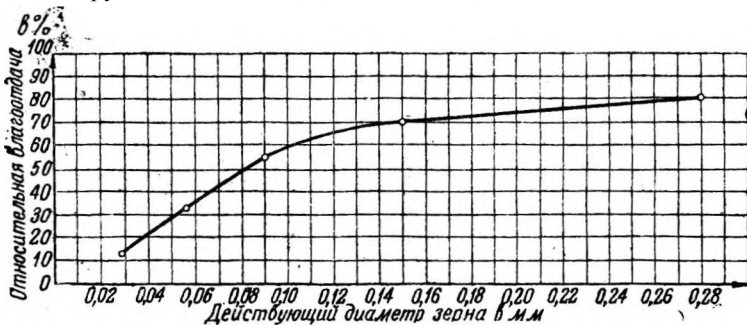


Рис. 24. Кривая зависимости относительной влагоотдачи от крупности частиц грунта.

Испытания с песками показали, что основным моментом, определяющим способность песков отдавать воду, является их крупность, характеризующаяся действующим диаметром зерна. С уменьшением крупности песка способность его отдавать воду падает, и падение это выражается тем резче, чем мельче становится песок.

На рис. 24 представлена кривая зависимости относительной влагоотдачи от действующего диаметра зерна в мм. Под относительной влагоотдачей понимается количество воды, отданное

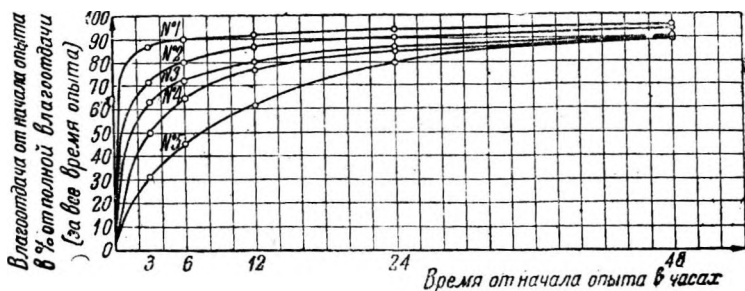


Рис. 25. Изменение влагоотдачи во времени.

песком за время влагоотдачи, в процентах от количества воды, насыщавшей песок перед влагоотдачей. Кривая (рис. 24) построена по данным лаборатории гидромеханизации строительства Куйбышевского гидроузла.

Изменение интенсивности влагоотдачи во времени по данным той же лаборатории показано на рис. 25 В песках разнозер-

нистых (кривые № 4 и 5) явление влагоотдачи протекает медленнее. Интенсивность влагоотдачи, т. е. количество воды, отдаваемое грунтом в единицу времени, прямо пропорционально коэффициенту фильтрации.

С влагоотдачей непосредственно связано уплотнение грунта.

Явления эти изучены еще совершенно недостаточно, математическая зависимость уплотнения от времени еще не установлена. Применявшиеся при постройке некоторых намывных плотин формулы (см. инж. Роер, Намывные и полунамывные плотины) весьма приближенны.

## Глава II

### ОБОРУДОВАНИЕ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ

#### А. ГИДРОМОНИТОРЫ

Гидромонитор или, как его называют короче, монитор, является основным орудием гидромеханизации. Он служит для создания плотной, летящей с большой скоростью водяной струи и направления ее в нужную точку забоя.

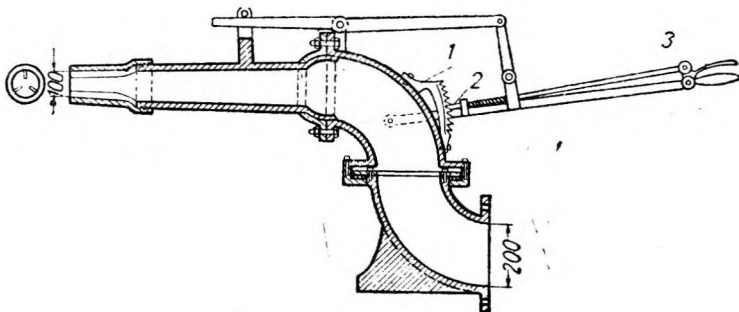


Рис. 26. Первый монитор „Хенди“.

Первый монитор Матисена представлял собой деревянный брандспойт. Вскоре появились железные насадки. В 1860 г. Джошуа Хенди изобрел гидромонитор с двумя коленами (рис. 26), ствол которого мог вращаться как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Этот монитор управлялся системой рычагов и мог быть застопорен в нужном положении благодаря зубчатой рейке 1 и собачке 2, управляемой рукояткой 3.

За короткий промежуток времени появилось большое количество более или менее удачных конструкций мониторов, наконец в 80-х годах Фишер сконструировал свой монитор, известный под названием „Гигант“. Этот тип монитора и применяется без каких-либо серьезных изменений до настоящего времени.

Существует очень большое количество различных конструкций мониторов. Ниже дано подробное описание некоторых оправдавших себя в нашем Союзе моделей.

### 1. Гидромонитор с центральным болтом

(модель 1923—1934 г., диаметр 225—300 мм)

Монитор Союззолота с центральным болтом по типу „Джосша Хенди” (рис. 27) изготавливается на заводе Союззолота „Труд” в Новосибирске. Разрез гидромонитора представлен на рис. 28.

Нижнее колено 1 соединено с верхним коленом 2 при помощи сальника, так что верхнее колено может вращаться относительно вертикальной оси на  $360^\circ$ . Вертикальной осью служит центральный болт 6.

Ствол монитора 16 соединяется с верхним коленом при помощи шарового шарнира. Шаровой шарнир и два болта 21 обеспечивают вращение ствола в вертикальной плоскости на  $60^\circ$  (на  $10^\circ$  ниже горизонтального положения и на  $50^\circ$  выше).

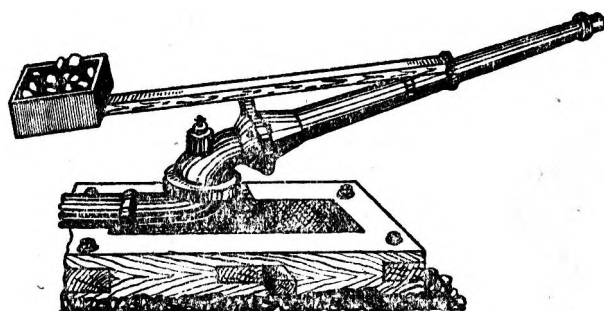


Рис. 27. Монитор, патент Фишер\*.

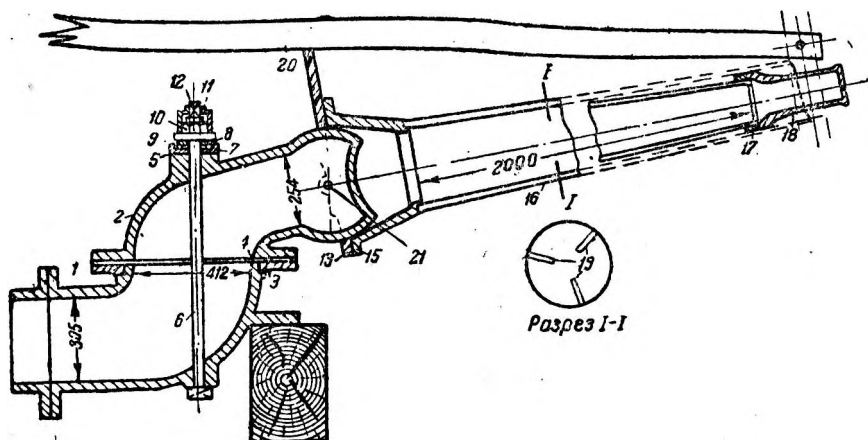


Рис. 28. Монитор „Союззолото” с центральным болтом.

Ствол 16 выполняется коническим. Большим сечением ствол, присоединяется к шаровому шарниру, на меньшее сечение навинчивается насадка 18. Для того чтобы ствол держать в тре-

буемом положении, служит противовес. Противовес закрепляется на деревянном водиле 20.

Трубопровод присоединяется к нижнему колену при помощи фланца или какого-нибудь другого быстроразъемного соединения. Между последней трубой и монитором целесообразно иметь небольшой патрубок с одним вращающимся фланцем (рис. 29).

Такой патрубок гарантирует возможность правильной установки гидромонитора.

Сальник, уплотняющий соединения между верхним и нижним коленами, устроен следующим образом. На нижнем колене затачивается шейка, на которую надевается кольцо 3. Соприкасающиеся поверхности кольца и шейки должны быть тщательно обработаны и пригнаны друг к другу так, чтобы кольцо могло свободно вращаться на шейке нижнего колена.

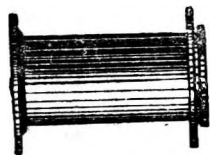


Рис. 29.  
Патрубок с вращающимся фланцем.

Толщина кольца должна точно равняться высоте шейки. Таким образом верхняя поверхность кольца 3 и торец нижнего колена создают одну плоскость. Между фланцем верхнего колена и кольцом 3 зажимается кожаная прокладка 4, которая прикрывает собой соединение кольца с шейкой и предотвращает этим пропуск воды в месте соединения.

Для соединения верхнего и нижнего колен служит центральный болт 6.

Центральный болт пропускается снизу, и под головку его прокладывается кожаная прокладка для предупреждения течи. Для уменьшения трения при вращении монитора вокруг вертикальной оси служит шариковый подшипник (детали 7, 8, 9).

Нижнее кольцо подшипника 7 делается с бортом для предохранения шариков от засорения.

В новейших моделях мониторов весь шарикоподшипник с прижимной гайкой 10 закрывается чугунным колпаком, навинчиваемым на прилив верхнего колена монитора.

Уплотнение достигается кожаной прокладкой 5 толщиной 5 мм. Для того чтобы предохранить гайку центрального болта от отвертывания, служит колпак 11, который одновременно надевается на гайку 10 и конец болта, заделанного на квадрат. Колпак на своем месте удерживается разводным шплинтом 12. Центральный болт должен быть затянут так, чтобы обеспечить достаточную плотность соединения. Однако чрезмерная затяжка болта затрудняет вращение верхнего колена и способствует быстрому износу кожаной прокладки 4.

Шаровой шарнир, как указывалось выше, служит для вращения ствола в вертикальной плоскости и имеет следующее устройство: раструб 15 ствола оканчивается фланцем и при помощи болтов присоединяется к вращающемуся фланцу, который в свою очередь при помощи двух диаметрально противоположных болтов 21 соединяется с яблоком верхнего колена.

Плотность этого соединения достигается кожаной или резиновой прокладкой толщиной 6—8 мм. Наружный диаметр этой прокладки должен равняться наружному диаметру фланца рас-труба ствола, внутренний же диаметр должен несколько пре-вышать диаметр выреза в яблоке.

Ствол, как указывалось выше, конический, отношение вход-ного и выходного диаметров в различных моделях описывае-мого типа колеблется от

Таблица 12

1,6 : 1 до 1,8 : 1.

Для предупреждения вращения струи воды, что по выходе из монитора вы-зывает разбрызгивание и соответственно уменьшает дальность полета и ком-пактность струи, внутри ствола приваривается или приклепывается три напра-вляющих ребра 19. Напра-вляющие ребра должны быть точно параллельны оси ствола, так как иначе вместо положительного они могут дать отрицательный эф-фект.

К стволу приклепывается или приваривается нарезанный па-трубок 17, на который навинчивается сменяемый насадок 18. В табл. 12 приведены основные размеры стандартного ком-плекта насадок 9 монитора.

Размеры в мм				
$d_1$	$d_2$	$d_3$	$l$	$L$
51	57	80	338	420
63	70	95	304	400
76	82	108	260	380
89	95	120*	230	355
102	108	130	160	310

могут дать отрицательный эф-

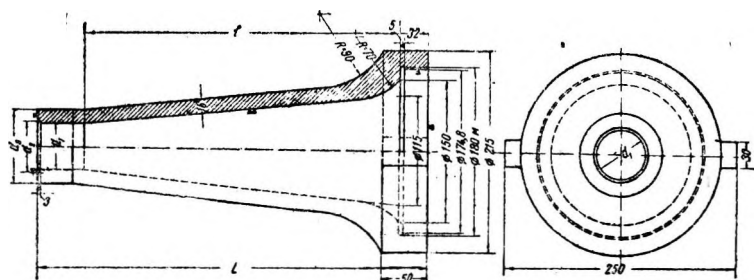


Рис. 30. Насадок монитора.

Обозначения ясны из рис. 30. Большие скорости в насадке требуют тщательной обработки внутренней поверхности. Шероховатости будут сильно снижать коэффициент истечения (см. ниже). Колена монитора, насадки и кольца выполняются из чугуна, ствол и прочие мелкие детали выполняются из стали различ-ных марок.

Описанная конструкция пригодна для работы при давлении до 10, максимум 15 ат.

## 2. Гидромонитор Союззолота без центрального болта, на шариках

(модель 1922—1929 гг., диаметр 225—300 мм, рис. 31)

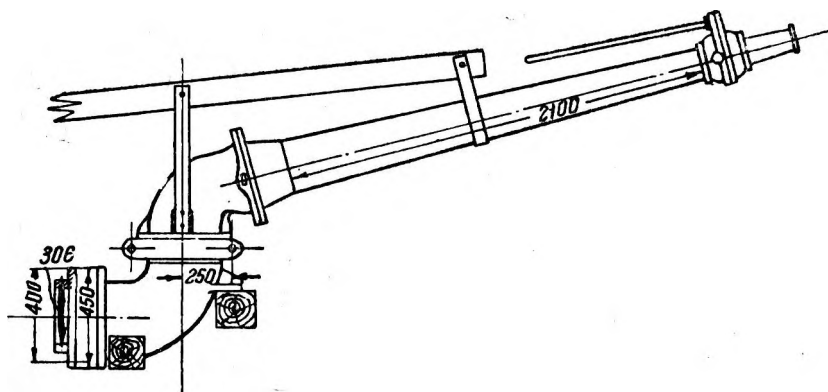


Рис. 31. Общий вид монитора без центрального болта.

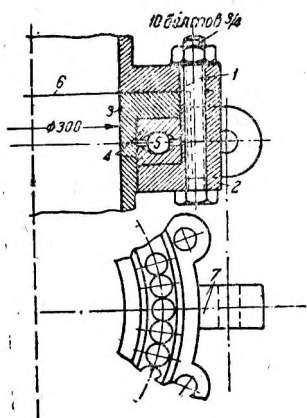


Рис. 32. Деталь конструкции монитора без центрального болта.

В мониторах этого типа, как это видно из названия, центральный болт отсутствует, соединение нижнего колена с верхним достигается с помощью болтов 1 (рис. 32), которые стягивают фланец верхнего колена с фигурным кольцом 2. Между бортом кольца и фланцем 3 нижнего колена находятся стальные вкладыши 4 и шарики 5, образующие шарикоподшипники. Таким образом через шарикоподшипники болтами 1 можно прижать нижнее колено монитора к верхнему.

Для возможности сборки кольца 2 стальные вкладыши 4 должны состоять каждый из двух половин. Плотность соединения достигается кожаной прокладкой 6, в остальном монитор имеет такое же устройство, как описанный выше монитор с центральным болтом.

## 3. Гидромонитор Союззолота с одним шаровым шарниром (рис. 33)

Нижнее чугунное колено 3 монитора этого типа заканчивается тщательно обработанным шаром; ниже шара делается шейка с проточенными бортами (рис. 34).

К верхнему чугунному колену 7 с одной стороны на глухом фланце привинчен ствол монитора 1. Ко второму фланцу верхнего колена прикрепляется на болтах стальное или чугунное

кольцо 4, имеющее тщательно обработанную шаровую выточку, точно пригнанную к шару нижнего колена. Кроме того, как видно из рисунка, кольцо 4 имеет два обращенных вниз ушка.

На нижнем колене надето кольцо 5, в котором закреплены ролики 9. Кольцо 5 специальными ушками и болтами соединено с кольцом 4.

Вращение вокруг вертикальной оси возможно благодаря упомянутым роликам 9.

Горизонтальной осью вращения служат болты 8.

По замыслу конструкция должна быть выполнена настолько тщательно, чтобы между кольцами 4 и шаром нижнего колена не было течи.

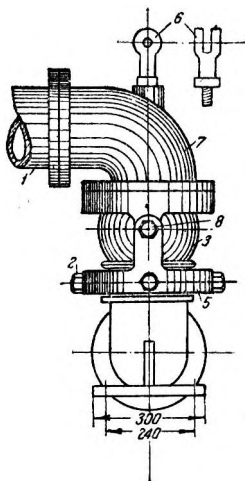


Рис. 33. Гидромонитор с одним шаровым шарниром.

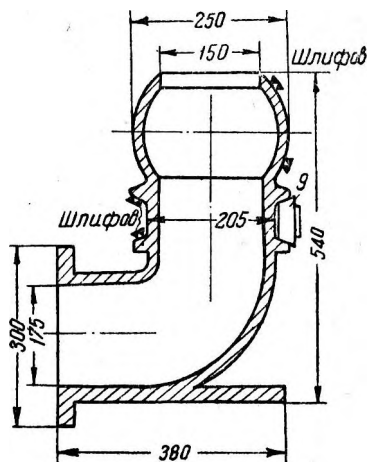
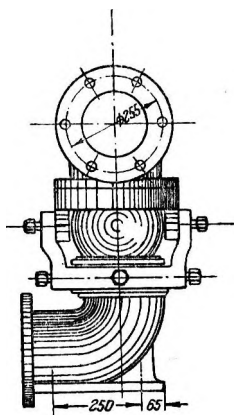


Рис. 34. Нижнее колено монитора с одним шаровым шарниром.

На практике же между шаром и шаровой выточкой в кольце 4 всегда приходится ставить тонкую 3—4-мм резиновую или кожаную прокладку.

Сравнивая три типа мониторов Союззолота, можно отметить, что наиболее надежным, легким и удобным при сборке и эксплуатации является монитор с центральным болтом. Из мелких моделей (125 мм) очень удобна модель с одним шаровым шарниром. Мониторы без центрального болта быстрее начинают течь и несколько тяжелее мониторов с центральным болтом.

#### 4. Гидромониторы специальных назначений

а) Гидромонитор (брандспойт) Гидроторфа (модель 1931 г., диаметр 100 мм).

Монитор этого типа (рис. 35) значительно отличается от описанных выше гидромониторов Союззолота в силу особых условий торфодобычи.



Гидромонитор Гидроторфа смонтирован на железном легко передвигаемом станке. Водоподводящий шланг соединяется с отводом 1, вода из отвода через стояк 2 и ряд других деталей, о которых будет подробно сказано ниже, поступает в ствол монитора 3 и через насадок 4 направляется на размываемую породу.

Монитор управляется двумя рукоятками 5. Ствол может вращаться относительно вертикальной оси на  $360^\circ$  и относи-

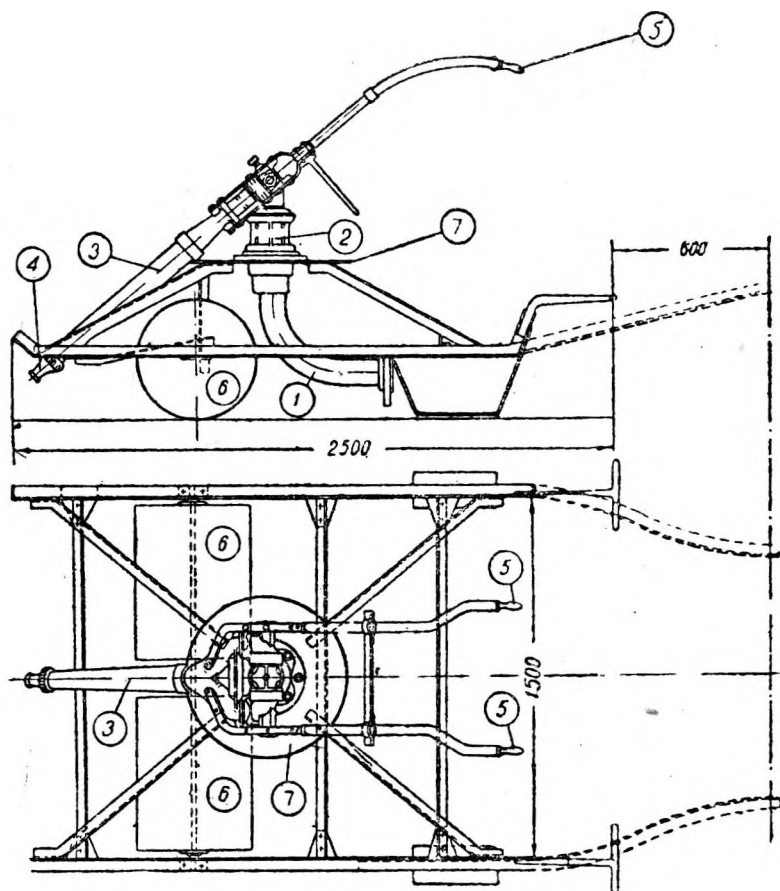


Рис. 35. Общий вид монитора Гидроторфа.

тельно горизонтальной примерно на  $50^\circ$ . На рис. 35 ствол показан в опущенном положении.

Станок монитора из углового железа клепаной или сварной конструкции на двух катках 6 диаметром 480 мм. Наверху прикреплен железный диск 7, к которому уже крепится собственно монитор.

Катки полые из 3-мм железа вращаются на неподвижной оси.

Монитор могут передвигать с места на место два человека, приподнимая станок за рукоятки 9.

Детали устройства монитора представлены на рис. 36.

К диску станка прикрепляются болтами патрубок с фланцем. В низ фланца ввертывается отвод 2, сверху же укрепляется четырьмя болтами чугунный патрубок 3 специальной конструкции. В патрубке может вращаться на двух радиально-упорных шарикоподшипниках 4 поворотный бронзовый тройник 5.

Стальные стопорные гайки 6 и 7 служат упором для нижнего шарикоподшипника. Каждая гайка закрепляется на тройнике четырьмя стопорными винтами. Эти гайки имеют большое значение, так как предохраняют тройник от выбрасывания вверх при напоре воды. Плотность между вращающимся тройником и фланцем 1 достигается кожаной 8 и войлочной 9 прокладками.

Крышка 10, сделанная из кровельного железа, предохраняет верхний шарикоподшипник от засорения.

Описанное устройство дает возможность гидромонитору вращаться вокруг вертикальной оси.

Вращение вокруг горизонтальной оси достигается при помощи следующего устройства. Колена 11 надеваются на шейки вращающегося тройника и сбаливаются с фланцами верхнего тройника 12.

Колена 11 делаются из бронзы. Для уменьшения трения на шейки вращающегося тройника надеты стальные кольца 13, а в колено 11 вставлена втулка 14 из фосфористой бронзы. Смазка осуществляется маслом Штауфера для густой смазки 15. Отверстие 16 во фланце 1 и отверстие 17 в колене 11 служат

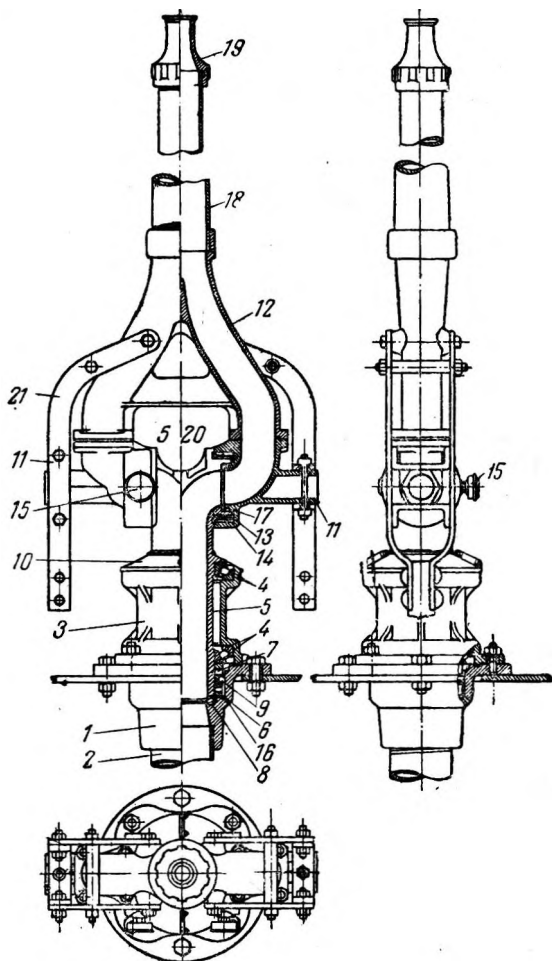


Рис. 36. Детали устройства монитора Гидроторфа.

для отвода воды, просачивающейся через уплотняющие манжеты.

В верхний тройник 12 ввинчивается конический ствол 18 из листового железа, на конец которого в свою очередь навинчивается насадок 19.

б) Монитор-бустер. Мониторами бустер называют монитры, применяемые на подгонке пульпы или на гидрощербах. Специфичность этих работ не требует вращения монитора в горизонтальной плоскости.

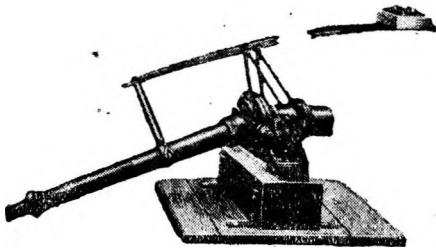


Рис. 37. Монитор-бустер.

На рис. 37 изображен такой монитор. Он имеет только один шаровой шарнир с горизонтальной осью вращения. Бустер, изготавливаемый в СССР, имеет два шаровых шарнира, один с вертикальной и один с горизонтальной осью, благодаря чему ствол может быть повернут и в горизонтальной плоскости на угол около  $30^\circ$ . Второй шарнир очень незначительно усложняет конструкцию, но делает монитор более удобным в эксплуатации и позволяет даже в некоторых случаях пользоваться им для ведения размыва в забое.

в) Мониторы высокого давления. Фирмой „Джошуа Хенди“ выпускается специальный тип гидромонитора системы Бауэра (рис. 38), предназначенный для работы на высоком давлении (свыше 15 ат).

Мониторы обычных описанных выше типов при высоких давлениях опасны для обслуживающего персонала.

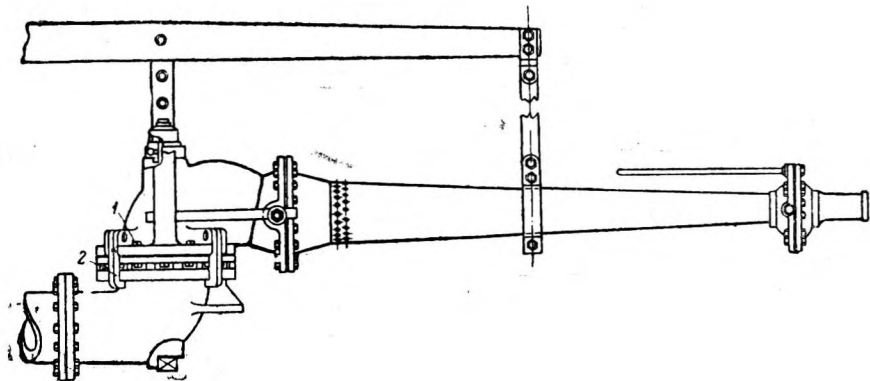


Рис. 38. Монитор типа „Бауэр“.

На рис. 38 можно видеть, что верхнее колено монитора имеет четыре ушка 1, в которых подвешены солидные крючки 2. В случае повреждения центрального болта или поломки колена они служат предохранителями, не давая ни одной части монитора взлететь на воздух.

Аналогичные крючки имеются и у шарового шарнира. Кон-

струкция этих крючков такова, что ствол монитора может свободно вращаться в вертикальной плоскости.

Мониторы высокого давления изготавливаются целиком из стали.

Стальные мониторы высокого давления до сих пор в СССР не изготавливались, но в текущем году должно быть изготовлено пять пробных экземпляров.

## 5. Дефлекторы

Управление монитором заключается в поворачивании его ствола относительно вертикальной или горизонтальной оси для направления струи в нужную точку забоя.

В мелких моделях и при незначительных давлениях эти повороты могут легко осуществляться одним рабочим при помощи рычага-противовеса.

Современные мониторы бывают колоссальных размеров: диаметр выходного отверстия достигает 225 мм, а входного — 460 мм, общая длина доходит до 7—8 м и вес пустого монитора до 1,5 т.

Ясно, что при таких и даже значительно меньших размерах и при высоких давлениях управление монитором делается чрезвычайно затруднительным и совершенно непосильным для двух или даже нескольких человек. Для облегчения управления монитором применяется особое приспособление — дефлектор.

Принцип действия дефлектора заключается в том, что ось струи, совпадающая нормально с осью ствола монитора, при помощи специального наконечника отклоняется в ту или иную сторону на незначительный угол; при этом возникает сила реакции  $R$ , которая и поворачивает ствол монитора в нужном направлении.

Сила реакции  $R$  возникает от того, что вытекающей в каждую секунду из насадки монитора массе жидкости  $m$  сообщается некоторая скорость.

Если обозначить  $\gamma$  объемный вес воды,  $g$  — ускорение силы тяжести и  $\omega$  — площадь насадка, то сила реакции струи  $R$  может быть выражена формулой:

$$R = \frac{\gamma}{g} \omega v^2, \quad (59)$$

а скорость истечения жидкости из насадка  $v$  — формулой

$$v^2 = \varphi^2 2 gh,$$

где  $\varphi$  — коэффициент скорости, равный 0,90—0,98;

$h$  — напор.

Подставляя значение  $v^2$  в формулу (59) и проводя сокращения, получим:

$$R = 2 \varphi^2 \gamma \omega h. \quad (60)$$

Сила  $R$  будет направлена вдоль оси струи в сторону, противоположную истечению. На рис. 39 представлен вид сверху на монитор с дефлектором.

Реактивная сила  $R$  может быть разложена на две, на силу  $P_1$  воспринимаемую опорой монитора, и силу  $P_2$ , которая создает момент, необходимый для поворота монитора.

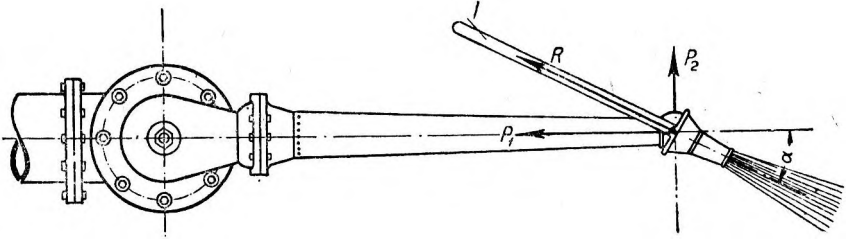


Рис. 39. Схема действия дефлектора.

Сила  $P_2$  может быть найдена из уравнения:

$$P_2 = R \sin \alpha$$

или из уравнения:

$$P_2 = 2\varphi^2 \gamma \omega h \sin \alpha, \quad (61)$$

где  $\alpha$  — угол отклонения струи дефлектором.

Для уяснения порядка величины силы  $P_2$  определим ее для некоторого конкретного случая.

Предположим, что

имеется монитор с диа-

метром насадки 100 мм, работающий под давлением 15 ат, и что дефлектор его повернут на угол  $\alpha = 3^\circ$ , тогда:

$$P_2 = 2 \cdot 0,95^2 \cdot 1000 \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} 15 \cdot 10 \cdot \sin 3^\circ = 109 \text{ кг.}$$

Этой силы конечно более чем достаточно для того, чтобы повернуть гидромонитор вокруг вертикальной или горизонтальной оси на нужный угол.

Дефлектор поворачивается при помощи рукоятки  $I$ . Благодаря выгодному соотношению плеч сила, потребная для поворота дефлектора, очень незначительна.

На рис. 40 изображен способ управления крупной моделью гидромонитора при помощи дефлектора. Рабочий сидит непосредственно на стволе монитора.

Распространение получили дефлекторы системы „Гаскинс“ и системы „Смит-Лагранж“.

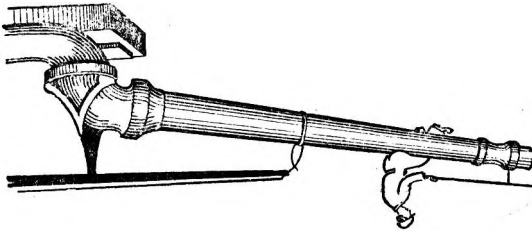


Рис. 40. Управление крупнейшим монитором.

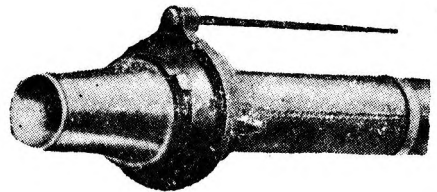


Рис. 41. Дефлектор „Гаскинс“, Общий вид.

а) Дефлектор системы „Гаскинс”. На рис. 41 изображен внешний вид, а на рис. 42 разрезы дефлектора „Гаскинс”.

Устройство этого дефлектора в основном такое же, как и шарового шарнира гидромонитора. Фланец 1, на который навинчивается насадка, может поворачиваться относительно муфты с шаровой поверхностью 2 вокруг двух взаимно перпендикулярных осей. Как легко понять из чертежа, вращение вокруг вертикальной оси происходит вместе с кольцом 3. Муфта 2 навинчивается на конец ствола монитора. Благодаря такому устройству насадок может быть повернут относительно ствола в нужном направлении. Уплотнение достигается при помощи кожаной прокладки 4, зажатой между фланцем 1 и кольцом 5. Дефлектор этого типа хорошо оправдал себя при давлениях до 10 ат.

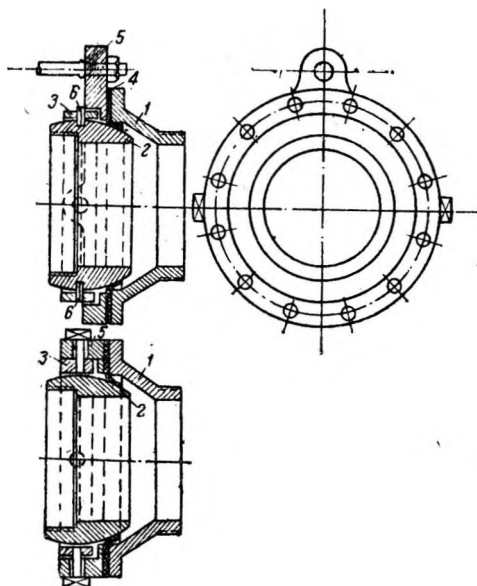


Рис. 42. Дефлектор „Гаскинс”. Разрез.

б) Дефлектор системы „Смит-Лагранж”. Дефлектор этого типа (рис. 43) целесообразно применять при давлениях, превышающих 10 ат. В отличие от предыдущего этот дефлектор помещается не между стволом и насадком, а закрепляется на конце насадка. Диаметр муфты дефлектора несколько больше диаметра струи, так что нормально струя муфты не касается. Дефлектор соединен с насадком шарниром Кордана (с двумя взаимно перпендикулярными осями вращения), так что рабочий за рычаг 1 может повернуть дефлектор в нужном направлении. Преимущество этого дефлектора заключается также в том, что в нем не возникает дополнительных гидравлических потерь.

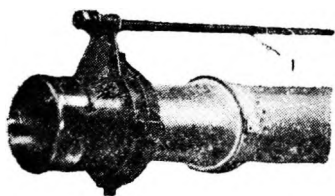


Рис. 43. Дефлектор „Смит-Лагранж”.

По соображениям техники безопасности иногда целесообразно (при очень высоких забоях) управлять монитором на расстоянии. Это обстоятельство вызвало к жизни особую конструкцию дефлекторов, позволяющих оператору не находиться непосредственно у монитора. Отсутствие проверенных на практике дефлекторов этого типа позволяет ограничиться этим кратким упоминанием о них.

## 6. Гидравлический расчет мониторов

1) Расход насадков. Для правильного выбора гидромониторов нужного размера необходимо уметь определить его расход, т. е. количество воды, вытекающее из насадки заданного диаметра при том или ином напоре.

Рассмотрим явление истечения жидкости из отверстия.

Пусть  $\omega_0$ ,  $v_0$ ,  $\rho_0$  и  $\omega_1$ ,  $v_1$ ,  $\rho_1$  будут соответственно площадь, скорость и давление в сечениях I—I и II—II (рис. 44).

Для идеальной жидкости между этими сечениями применимо уравнение Д. Бернулли:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + H. \quad (62)$$

Из условия неразрывности потока можно написать, что

$$\omega_1 v_1 = \omega_0 v_0 \text{ откуда:}$$

$$v_0 = \frac{\omega_1 v_1}{\omega_0} = n v_1,$$

$$\text{где } n = \frac{\omega_1}{\omega_0}.$$

Решая уравнение (62) относительно  $v_1$  предварительно заменив  $v_0$  через  $n v_1$ , получим:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2g \left[ (p_0 - p_1) \frac{1}{\gamma} \right]}{1 - n^2}}. \quad (63)$$

В частном случае, когда  $\rho_0 = \rho_1$  и когда  $\omega_1$  очень мало по сравнению с  $\omega_0$ , уравнение (63) перейдет в закон Торичелли:

$$v_1 = \sqrt{2gH}, \quad (64)$$

по которому скорость вытекающей жидкости равна скорости свободного падения тела с высоты  $H$  при начальной скорости, равной нулю.

Если учесть, что вследствие трения внутри жидкости и в особенности трения о стенки трубы происходит потеря напора, то можно написать, что действительная скорость  $v$  равна  $\phi v_1$  и что

$$v = \phi \sqrt{2gH}, \quad (65)$$

где  $\phi$  — коэффициент скорости меньше единицы.

Вытекающая из отверстия струя несколько сжимается, так что действительная площадь выходного сечения насадки вместо  $\omega$  равна  $\alpha \omega$ , где  $\alpha$  — коэффициент сжатия меньше единицы.

Таким образом расход воды через насадку равен:

$$Q = \alpha \omega \phi \sqrt{2gH} = \mu \omega \sqrt{2gH}. \quad (66)$$

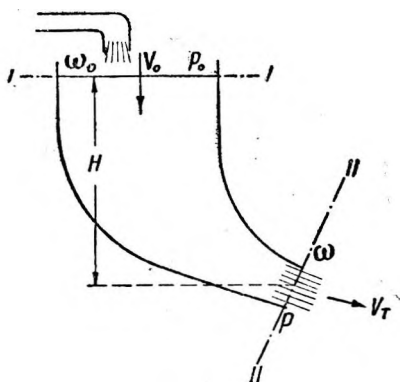


Рис. 44. Схема к гидравлическому расчету насадки.

Коэффициент  $\mu = \alpha \phi$  называют коэффициентом расхода.  
 Выражением (66) обычно пользуются на практике при определении расхода воды через насадки.

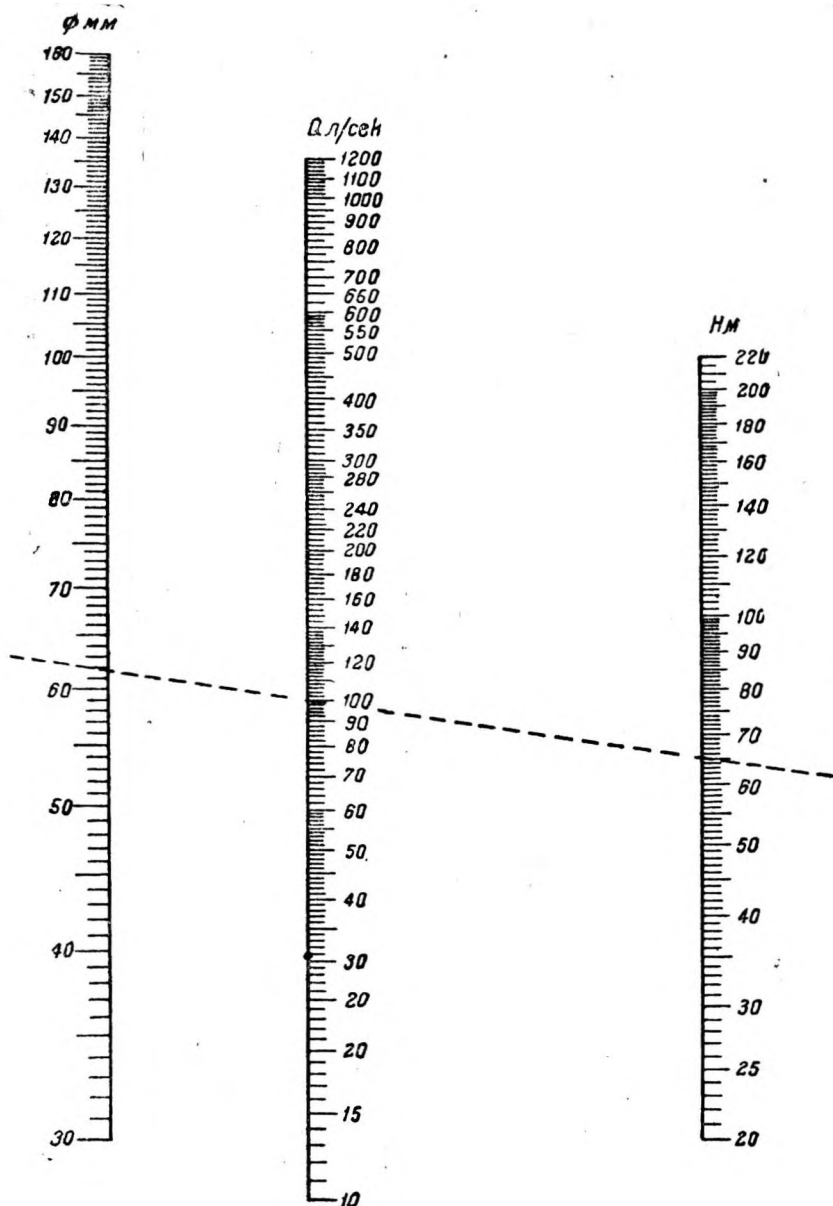


Рис. 45. Номограмма для расчета мониторов.

Для упрощения расчетов автором составлена специальная номограмма (рис. 45).

Пример пользования номограммой.



Требуется подобрать насадку, пропускающую при  $6,5 \text{ ат}$   $360 \text{ м}^3/\text{час} = 100 \text{ л/сек}$ .

Для определения необходимого диаметра насадки по номограмме отыскиваем на шкалах  $Q$  и  $H$  соответствующие значения и соединяем их прямой линией.

Точка пересечения этой линии со шкалой  $D$  дает значение необходимого диаметра насадка. В нашем случае  $D = 61,8 \text{ мм}$ .

Эта же номограмма может служить и для решения любой обратной задачи. Так например, зная напор у насадка и диаметр, можно определить расход.

Общее правило пользования номограммой может быть сформулировано так.

Если две известные величины соединяются прямой линией, то пересечение этой линии с третьей шкалой дает значение искомой величины.


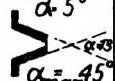




	Наименов.	Эскиз	Коефф. $\mu$		Наименов.	Эскиз	Коефф. $\mu$
a	Насадок Вентури длинный ( $L=3 \text{ до } 4d$ )		0,82	г	Конический сходящийся насадок		0,92 0,945 0,857
б	Насадок Вентури короткий ( $L=2d$ )		0,61	д	Насадок по форме сжатой струи		0,97
в	Насадок Барра		0,71	е	Пожарный насадок		по Фрима- ну 0,97-0,98 по Ясько- вичу 1,0

Рис. 46. Типы насадок.

Точные исследования показывают, что коэффициент расхода зависит от давления и с увеличением давления сначала медленно растёт, затем начинает падать. Однако зависимость эта не имеет практического значения. Практически приходится учитывать только форму и характер внутренней поверхности насадки.

На рис. 46 приведены коэффициенты расхода для шести различных типов насадок с хорошо обработанными внутренними поверхностями.

Зависимость коэффициента расхода конических насадок от угла конусности подробно изучал Цейнер.

Результаты своих исследований он обобщил в виде формулы:

$$\mu_k = \mu (1 + 0,33214 \cos^3 \delta + 0,16672 \cos^4 \delta), \quad (67)$$

где  $\delta$  — угол конусности,

$\mu$  — коэффициент расхода для цилиндрической насадки, принятый в формуле Цейнера равным 0,6385.

Различные авторы дают разные соотношения размеров для коноидальных насадок, т. е. для насадок, имеющих форму, близкую к форме струи, выходящей из тонкой стенки. На рис. 47 показана одна из таких насадок.

Однако в практике гидромеханизации эти соотношения, как правило, не выдерживаются.

Формы насадок, получивших распространение в гидромеханизации, показаны на рис. 30; в табл. 12 даны значения их основных размеров.

Коэффициенты сжатия струи  $\alpha$  для этих насадок равны или очень близки к единице, так что:

$$\mu = \varphi \quad \alpha = \varphi \cdot 1; \quad \mu = \varphi. \quad (68)$$

Это позволяет как при определении скорости истечения, так и при определении расхода пользоваться одним и тем же коэффициентом.

Практика показала, что насадки этого типа при удовлетворительном выполнении имеют коэффициент расхода, равный от 0,92 до 0,96.

2) Дальность полета струи. Если пренебречь сопротивлением воздуха, то траектория водяной струи может быть определена по общеизвестным из механики формулам для тел, брошенных под углом к горизонту.

Наивысшая точка траектории определится из уравнения:

$$y = \frac{v^2}{2g} \sin^2 \alpha, \quad (69)$$

дальность полета струи  $x$  из уравнения:

$$x = \frac{v^2}{g} \sin 2\alpha \quad (70)$$

или из уравнения:

$$x = \frac{\varphi^2 2gH}{g} \sin 2\alpha. \quad (71)$$

Уравнение (70) при  $\alpha = 45^\circ$  принимает вид:

$$x = \frac{v^2}{g},$$

а при  $\alpha = 15^\circ$ :

$$x = \varphi^2 H.$$

Фактическая наблюдаемая траектория вследствие сопротивления воздуха отличается от той, которая может быть получена по вышеприведенным формулам.

Высота и дальность полета водяной струи в воздухе измерялись Фриманом. Необходимо однако отметить, что опыты Фримана велись главным образом с точки зрения пригодности струи для пожарных целей и следовательно в гидромеханизации результаты этих исследований могут быть приняты условно.

В табл. 13 приведены результаты испытания пожарной насадки диаметром 35 мм при различных давлениях.

Если через  $x_0$  обозначить расстояние, на котором струя остается компактной и достаточно плотной, то, как можно

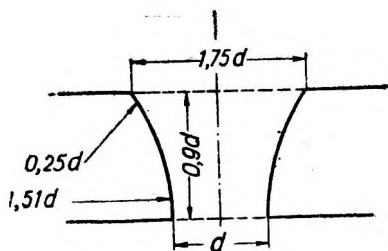


Рис. 47. Рекомендуемый тип насадки.

видеть из табл. 13, отношение  $\frac{x_0}{x_{\max}} = k$  колеблется в пределах от 0,56 до 0,4.

Оценивая струю с точки зрения ее пригодности для эффективного размыва грунта, в самом первом приближении можно принять:

$$x_0 = 0,3 x_{\max}.$$

Таблица 13

Напор у ствола в м		10	15	20	30	40	50	60	70
Дальность полета в м	Хорошая струя	9,7	13,1	15,8	20,4	23,0	25,0	27,0	28,7
	Отдельные брызги при безветрии	17,4	26,6	34,2	47,0	55,0	62,0	67,0	72,0

3) Гидравлические потери в мониторе. Процент теряемого напора в мониторе характеризует собой к. п. д. монитора как механизма, преобразующего потенциальную и кинетическую энергию водяного потока в кинетическую энергию вылетающей из насадки струи.

Если через  $H_1$  назовем полный напор у выходного фланца в монитор, а через  $H_2$  — полный напор на вылете из насадки, то потери напора в мониторе  $h_m$  будут:

$$h_m = H_1 - H_2, \quad (72)$$

а к. п. д. монитора  $\eta$  можно выразить:

$$\eta = \frac{H_1 - h_m}{H_1}. \quad (73)$$

Все потери в мониторе по своей природе могут быть разбиты на четыре группы, а именно:

а) потери на трение, возникающие от шероховатости каналов монитора; эти потери удобно подсчитывать по формуле Дарси:

$$i_1 = \lambda \frac{1 \cdot v^2}{d \cdot 2g}, \quad (74)$$

где  $i$  — потери на длине в 1 м в м;

$d$  — диаметр канала в м;

$v$  — средняя скорость в канале в м/сек

$$\lambda = \sigma \left( 0,01989 + \frac{0,0005078}{d} \right) \quad (75)$$

(где  $\sigma$  — от 1,5 до 2 в зависимости от состояния внутренней поверхности каналов);

б) гидравлические потери в результате изменения направления струи; они могут быть подсчитаны по формуле:

$$i_2 = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (76)$$

(см. гидравлический расчет трубопроводов);

в) гидравлические потери от изменения сечения; эти потери могут быть подсчитаны также по формуле (76), но  $\xi$  в этом случае следует вычислять из табл. 34 и формулы (104) согласно углу конусности  $\beta$ ;

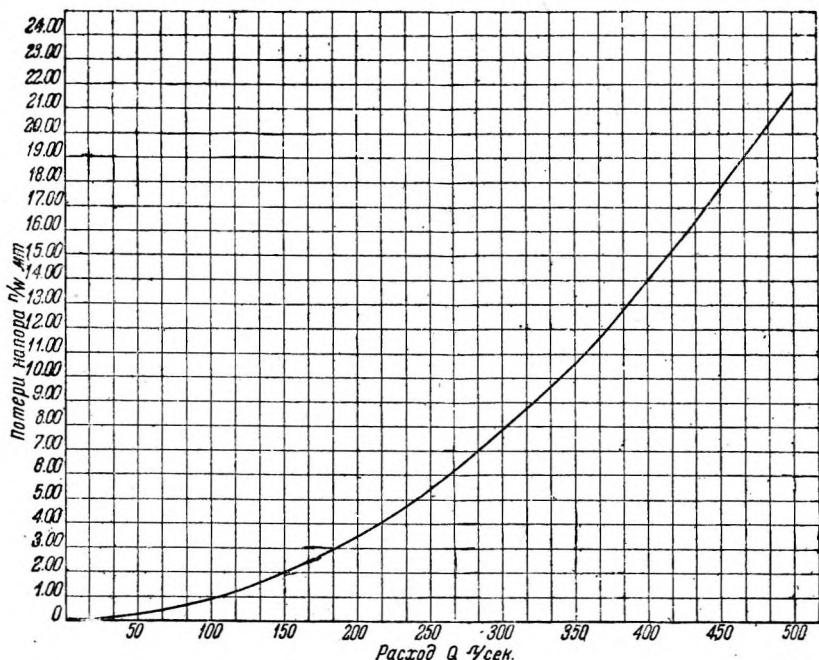


Рис. 48. Кривая потерь в мониторе Союззолото.

г) гидравлические потери в самом насадке; они могут быть определены по той же формуле (76); для насадок, обычно применяемых в гидромеханизации, можно принимать  $\xi = 0,06$ .

Полная потеря напора в гидромониторе будет равняться сумме четырех упомянутых выше потерь.

Лабораторией гидромеханизации строительства канала Москва—Волга в результате опытов получен график потерь напора для монитора с центральным болтом и с входным отверстием 225 мм.

Этот график (рис. 48) может быть представлен в виде уравнения:

$$h_m = 86,72 Q^2. \quad (77)$$

Нормальным расходом для монитора этого размера следует считать расход 200÷250 л/сек.

Этому расходу, как видно из графика, соответствует потеря  $3,5 \div 5,5$  м.

На рис. 49 представлен график потерь напора в мониторе гидроторфа по данным той же лаборатории.

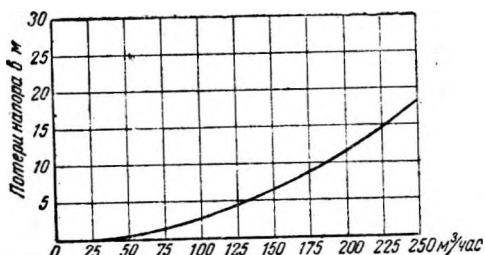


Рис. 49. Кривая потерь в мониторе Гидроторфа.

Из сравнения рис. 48 и 49 можно констатировать, что потери напора в мониторах типа „Хенди“ относительно меньше потерь в мониторах Гидроторфа.

## 7. Расчет устойчивости монитора в работе

Гидромонитор, пропускающая с большой скоростью

огромные количества воды, испытывает реактивное давление  $R$  вылетающей струи; кроме того в местах поворота струи возникают центробежные силы  $K_1$  и  $K_2$  (рис. 50). Монитор в работе должен быть закреплен таким образом, чтобы была обеспечена неподвижность его нижнего колена.

Способ определения реактивной силы нами описан выше при рассмотрении принципа действия дефлектора.

Эта сила направлена вдоль оси ствола монитора, в сторону, противоположную истечению.

Центробежные силы, возникающие в нижнем и верхнем коленах монитора, могут быть определены по формулам:

$$K_1 = \frac{Q_1 v_1^2}{gr_1};$$

$$K_2 = \frac{Q_2 v_2^2}{gr_2}, \quad (78)$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  — вес воды соответственно в нижнем и верхнем коленах монитора в кг;

$v$  и  $v_2$  — скорости воды соответственно в нижнем и верхнем коленах в м/сек;

$r_1$  и  $r_2$  — радиусы соответственно нижнего и верхнего колена монитора в м;

$g = 9,81$  — ускорение силы тяжести.

Если монитор установлен на салазках, то в обозначениях, принятых на рис. 50, условия устойчивости монитора выявятся из следующих уравнений равновесия:

1) Уравнения моментов:

$$Aa = K_2 X_{K_2} + RX_R - K_1 X_{K_1} - Q \frac{a}{2},$$

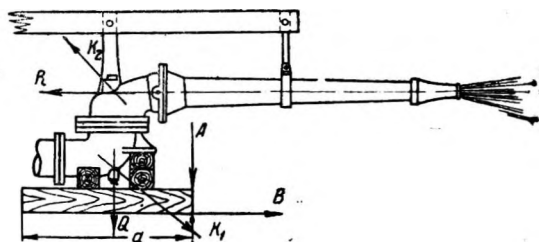


Рис. 50. Схема к расчету устойчивости монитора.

$$A = \frac{K_2 X_{K_2} + R X_R - K_1 X_{K_1}}{a} - \frac{Q}{2}, \quad (79)$$

где  $Q$  — собственный вес монитора с салазками и водой.

2) Уравнения проекций на горизонтальную ось:

$$B = K_2 \cos \alpha_{K_2} + R \cos \alpha_R - K_1 \cos \alpha_{K_1}. \quad (80)$$

3) Уравнения проекций на вертикальную ось:

$$C = K_2 \cos \alpha_{K_2}' + R \cos \alpha_R' - K_1 \cos \alpha_{K_1}' - Q. \quad (81)$$

Обозначения:

$X_{K_1}$ ,  $X_{K_2}$  и  $X_R$  — плечи сил  $K_1$ ,  $K_2$  и  $R$ ;

$\alpha_{K_1}$ ,  $\alpha_{K_2}$  и  $\alpha_R$  — углы сил  $K_1$ ,  $K_2$  и  $R$  с горизонтальной осью;

$\alpha_{K_1}'$ ,  $\alpha_{K_2}'$  и  $\alpha_R'$  — углы сил с вертикальной осью.

Реакции  $A$  и  $B$  в крупных мониторах при больших расходах могут достигнуть большой величины и для их восприятия приходится забивать сваики и раму монитора связывать с ними скобами.

Реакция  $C$  имеет обычно незначительную величину и иногда даже направлена вверх, т. е. вертикальная составляющая равнодействующей всех сил увеличивает устойчивость монитора. Следует однако иметь в виду, что при работе сверху вниз реакция  $C$  может достигнуть большой величины.

## **Б. НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ**

Если при работе в горных условиях для целей гидромеханизации обычно удастся путем несложных, искусственных сооружений получить и подвести к месту работ естественную напорную воду, то для всех других условий работ напорная вода, как правило, получается искусственно помощью мощных насосных станций.

Насосы и насосные станции являются главной и совершенно обязательной частью любой гидромониторной установки на строительстве.

Если в обычных насосных станциях процесс вытеснения поршневых насосов центробежными еще не закончился, то в станциях, обслуживающих гидромониторные установки, этот процесс можно считать полностью завершенным. Автору известны всего два случая применения поршневых насосов для целей гидромеханизации, а именно: в Калифорнии на постройке плотины Crane Valley и на постройке плотины Zuni River в штате Индиана.

Центробежные насосы по сравнению с поршневыми имеют следующие преимущества:

1) центробежный насос требует для своей установки минимальную площадь;

2) фундамент для установки центробежного насоса требуется несравненно меньший, чем для поршневого насоса;

3) в конструкции центробежных насосов отсутствуют клапаны и тому подобные легко портящиеся части;

4) стоимость центробежных насосов значительно ниже, чем поршневых, при большой производительности она снижается до одной трети;

5) стоимость обслуживания центробежных насосов значительно (примерно в 2 раза) меньше стоимости обслуживания поршневых;

6) центробежный насос почти не боится засорения при перекачивании грязной жидкости;

7) большое число оборотов вала центробежных насосов делает возможным непосредственное соединение насоса с электродвигателем;

8) меньший вес;

9) центробежный насос позволяет в широких пределах регулировать производительность помощью простой задвижки.

Недостатки центробежного насоса, меньший чем у поршневых к. п. д. и невозможность сухого всасывания в условиях гидромеханизации с лихвой покрываются перечисленными выше преимуществами.

## 1. Краткая историческая справка о центробежных насосах

Первый насос, основанный на центробежной силе, был построен в средние века и применялся как воздушный насос.

Изобретатель парового котла Пипин путем усовершенствования воздушного насоса в начале XVIII в. создал первый водяной центробежный насос.

Отсутствие подходящих двигателей и низкий к. п. д. примитивных в то время центробежных насосов сильно тормозили их развитие.

Многоступенчатый центробежный насос был изобретен в 1846 г. в Америке.

В 1851 г. многоступенчатые насосы начали изготавливать в Англии.

В 1875 г. проф. Рейнольдсом был сконструирован насос с направляющим аппаратом. Испытание такого насоса, построенного в 1887 г. для лаборатории Манчестерского университета, показало прекрасные по тому времени результаты.

Имея 4 ступени, насос при 1050 оборотах развивал напор до 45 м, давал производительность в 15 л/сек.

К. п. д. был равен 58,5%.

С начала 90-х годов начинается быстрый рост числа и мощности центробежных насосов, чему несомненно благоприятствовало развитие электромоторостроения.

К началу нашего века уже существовало большое количество первоклассных фирм, специально занимавшихся изготовлением всевозможных типов центробежных насосов. В дореволюционной России ведущую роль в насосостроении занял завод акционерного общества „Густав Лист“ в Москве.

Из зарубежных фирм мировую известность своими высококачественными насосами завоевали фирмы: „Бр. Зульцер“, „Вейзе и Монси“, „Вортингтон“ и др.

В настоящее время в СССР существует несколько крупных заводов, специально занимающихся постройкой центробежных насосов. Такие заводы, как „Борец“, завод им. Калинина, завод им. Фрунзе и др., дают прекрасную не уступающую лучшим импортным образцам продукцию.

Для канала Москва — Волга заводом „Борец“ изготовлены гигантские насосы производительностью в  $25 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

К. п. д. этих насосов оказался выше, чем у всех насосов, предлагавшихся управлению строительства лучшими насосными фирмами мира.

## 2. Принцип действия и основы теории центробежных насосов

На рис. 51 дан схематический разрез простого центробежного насоса.

Представим себе, что корпус насоса заполнен водой и рабочее колесо вращается по направлению часовой стрелки. Под влиянием центробежной силы вода отбрасывается от центра к периферии и гонится в нагнетательный трубопровод.

В центре насоса образуется вакуум; вакуум вызывает всасывание так же, как и в поршневых насосах. Таким образом устанавливается непрерывный ток жидкости через насос.

Все существующие центробежные насосы могут быть разбиты на следующие классы:

- 1) по принципу действия на:
  - а) простые (без направляющего аппарата);
  - б) турбинные (с направляющим аппаратом);
- 2) по числу рабочих колес на:
  - а) одноступенчатые;
  - б) многоступенчатые;
- 3) по подводу воды на насосы:
  - а) с односторонним подводом;
  - б) с двухсторонним подводом;
- 4) по положению вала на насосы:
  - а) с горизонтальным валом;
  - б) с вертикальным валом.

Простой насос схематически показан на рис. 51; турбинный от него отличается наличием специального направляющего аппарата (рис. 52).

Вода в этих насосах из рабочего колеса попадает не сразу в спиральную камеру, а проходит через направляющий аппарат *1*.

Одноступенчатый насос обычно развивает напор не свыше 30—40 м, что конечно в целом ряде случаев совершенно недостаточно.

Для получения больших давлений строятся многоступенчатые

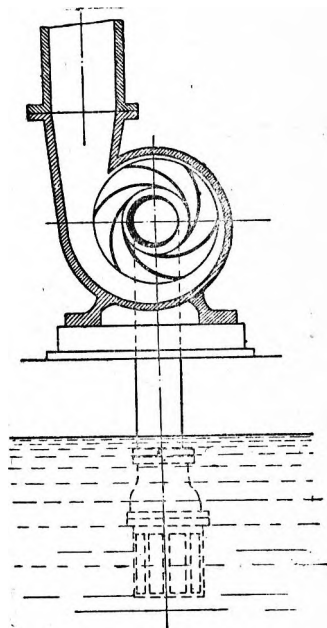


Рис. 51. Схема простого центробежного насоса.



насосы. Эти насосы представляют собой последовательное соединение нескольких одноступенчатых, выполненных в одном корпусе. Продольный разрез по такому насосу дан на рис. 53.

Вода, выброшенная из первого колеса по специальным каналам, попадает в центр второго, из второго — к третьему и т. д.

Последнее колесо нагнетает воду в напорную линию.

Многоступенчатые насосы строятся на различные давления до 200 ат включительно; такой насос может подать воду на высоту 2000 м.

При работе центробежных насосов возникает осевое давление, направленное от нагнетательной стороны к всасывающей. Это давление в больших насосах достигает такой величины, что возникают конструктивные неудобства восприятия его упорными подшипниками.

Существует целый ряд способов уничтожения осевого давления.

В одноступенчатых насосах давление уничтожается тем, что делается двухсторонний подвод воды. В лучших моделях многоступенчатых насосов осевое давление всех колес уничтожается посредством гидравлического разгрузочного устройства, которое получает напорную воду из последующей ступени.

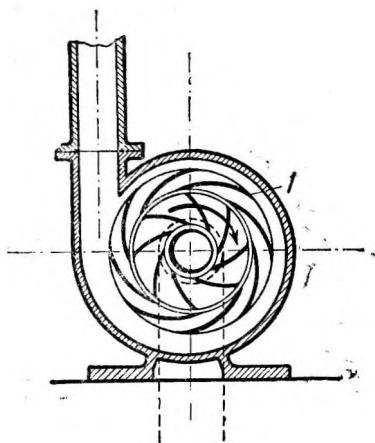


Рис. 52. Схема турбинного центробежного насоса.

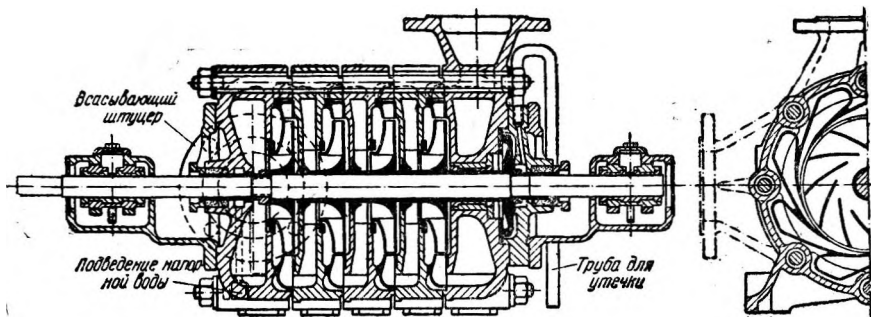


Рис. 53. Схема многоступенчатого насоса.

Некоторые фирмы строят многоступенчатые насосы с двухсторонним подводом воды; в них напорный штуцер помещается посредине. Осевые давления в левой и правой части этих насосов взаимно уничтожаются.

Наиболее распространены центробежные насосы с горизонтальным валом, но иногда по условиям монтажа оказываются удобнее насосы с вертикальным валом. В гидромеханизации применяются исключительно насосы с горизонтальным валом.

Центробежный насос в условиях гидромеханизации обычно агрегируется с электромоторами путем непосредственного сцепления муфтой той или иной конструкции.

Количество жидкости, подаваемое центробежным насосом, пропорционально числу оборотов рабочего колеса. Следовательно, если обозначить через  $Q$  и  $Q_1$  производительности и через  $n$  и  $n_1$  соответствующие им числа оборотов, то можно написать:

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{n}{n_1}. \quad (82)$$

Зависимость полного напора от числа оборотов может быть выражена формулой:

$$\frac{H}{H_1} = \frac{h^2}{h_1^2}, \quad (83)$$

а зависимость мощностей, потребных для работы насосов  $N$  и  $N_1$  от числа оборотов  $n$  и  $n_1$  формулой:

$$\frac{N}{N_1} = \frac{n^3}{n_1^3}. \quad (84)$$

Необходимо отметить, что равенства (82), (83) и (84) не совсем точны, так как при изменении числа оборотов сильно меняется гидравлический к. п. д.

Полный напор, или, как называют иначе, полная высота подъема  $H$ , является суммой четырех слагаемых:

- 1) геометрической высоты подъема  $H_n$ ;
- 2) геометрической высоты всасывания  $H_в$ ;
- 3) высоты, соответствующей всем гидравлическим потерям в напорном трубопроводе  $h_n$ ;
- 4) высоты, соответствующей всем гидравлическим потерям во всасывающем трубопроводе,  $h_в$ .

$$H = H_n + H_в + h_n + h_в. \quad (85)$$

Полный напор может быть кроме того выражен через показания манометра и вакуумметра. Если ввести следующие обозначения:

- $M$  — показание манометра в  $m$  вод. ст.;
- $V$  — показание вакуумметра в  $m$  вод. ст.;
- $h_1$  — расстояние от оси манометра до оси насоса;
- $h_2$  — расстояние от оси отверстия, в которое ввернута трубка вакуумметра, до оси насоса, то можно написать:

$$H = M + h_1 + V + h_2.$$

Если отверстие трубки вакуумметра расположено выше оси насоса, то  $h_2$  нужно взять со знаком минус.

Всасывание насосом происходит под влиянием существующего атмосферного давления на свободную поверхность жидкости.

Нормально давление атмосферы эквивалентно давлению столба ртути высотой 760 мм или давлению водяного столба

высотой в 10330 мм. При идеальном вакууме вода должна была бы подниматься на высоту 10,33 м.

Действительный же предел высоты всасывания лежит значительно ниже.

Снижение действительной высоты всасывания против теоретической происходит по следующим причинам:

1) Даже хорошо собранный трубопровод и насос пропускают в незначительных количествах воздух, за счет которого происходит снижение вакуума, а следовательно и уменьшение высоты всасывания.

2) Вода всегда содержит в себе некоторое количество воздуха, который под влиянием вакуума интенсивно выделяется и снижает высоту всасывания.

3) Пространство над свободной поверхностью воды всегда содержит водяные пары некоторой определенной, зависящей от температуры, упругости.

На величину упругости этих паров, очевидно, уменьшается вакуум, а следовательно и предельная высота всасывания.

4) Всасывающая линия неизбежно вызывает довольно значительные гидравлические потери, на сумму

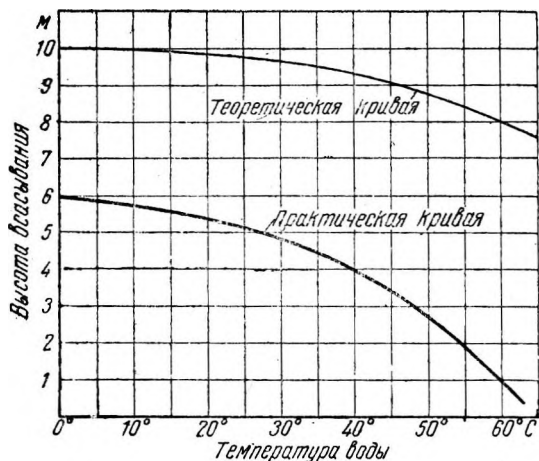


Рис. 54. Предельные высоты всасывания.

которых уменьшается предельная высота всасывания.

График, представленный на рис. 54, наглядно показывает нормальные и теоретически возможные предельные высоты всасывания центробежных насосов, смонтированных для временной эксплуатации. Для насосов постоянных станций в случае необходимости высоты всасывания могут быть несколько увеличены.

Производительность и напор центробежных насосов являются функцией не только числа оборотов, но и многих других факторов, а именно: формы лопаток, состояния поверхностей каналов, геометрических размеров и т. д.

Представим себе, что рабочее колесо имеет радиальные лопатки, и что вода движется в колесе между лопатками изнутри наружу (рис. 55).

Примем обозначения:

$\omega_1$  — скорость воды при входе в канал рабочего колеса;

$F_1$  — площадь канала рабочего колеса у входа;

$\omega_2$  — скорость воды при выходе из канала рабочего колеса;

$F_2$  — площадь канала рабочего колеса у выхода.

Из условия неразрывности струи можем написать:

$$F_1 \omega_1 = F_2 \omega_2, \quad (86)$$

откуда при  $F_1 < F_2$  вытекает неравенство  $\omega_2 < \omega_1$

Окружные скорости  $u_1$  и  $u_2$  на внутренней и внешней окружностях рабочего колеса будут:

$$u_1 = \frac{2\pi r_1 n}{60} \text{ и } u_2 = \frac{2\pi r_2 n}{60}$$

( $r_1$  и  $r_2$ , см. на рис. 55),  $n$  — числа оборотов рабочего колеса в 1 мин.

Удовлетворительный к. п. д. насоса может быть получен только в том случае, если будет обеспечен безударный вход

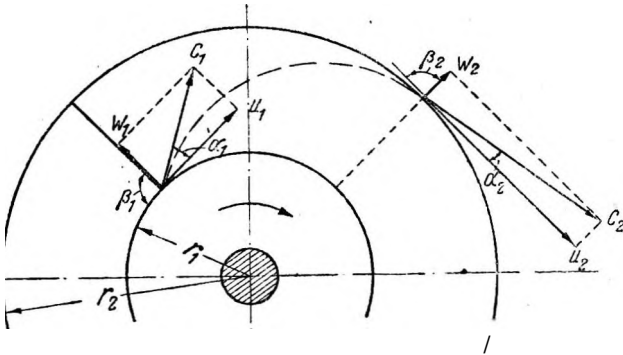


Рис. 55. Схема рабочего колеса центробежного насоса.

воды в канал рабочего колеса. Удара, очевидно, не будет, если вода вступит в колесо по касательной к лопатке.

Абсолютная скорость входа воды на лопатку колеса  $c_1$  может рассматриваться как результат сложения двух скоростей  $\omega_1$  и  $u_1$  по правилу параллелограмма. Аналогичный параллелограмм скоростей может быть построен и из абсолютных скоростей на выходе:  $\omega_2$ ,  $u_2$  и  $c_2$  (рис. 55).

По направлению скоростей  $c_1$  и  $c_2$  видно, что вода входит в рабочее колесо и выходит из него не по радиусу, а под некоторыми углами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .

На рис. 55 сплошная линия изображает положение лопатки при входе некоторой частицы жидкости, пунктирная линия показывает положение лопатки при выходе той же частицы жидкости.

Абсолютная траектория частицы жидкости будет представлять собой некоторую кривую, соединяющую начало лопатки в момент входа с концом лопатки в момент выхода. Относительная траектория частицы будет, очевидно, направлена вдоль радиуса рабочего колеса.

Основное уравнение центробежного насоса имеет вид:

$$H_n = \frac{c_2 u_2 \cdot \cos \alpha_2}{g} \quad (87)$$

Здесь  $H_n = H_n + H_{ec}$  — полный напор, развиваемый насосом.

Это уравнение отражает работу идеального насоса при работе на идеальной жидкости.

Практически развиваемое давление будет всегда меньше. В уравнение (87) следует ввести два коэффициента:  $k$  — учитывающий форму и количество лопаток, и  $\eta_h$  — гидравлического к. п. д., учитывающий потери на трение в каналах рабочего колеса и направляющего аппарата, потери при изменении сечений и скоростей и потери на утечки через зазоры между рабочим колесом и направляющим аппаратом.

Для коэффициента  $k$  Кванц рекомендует пользоваться табл. 14.

Таблица 14

Насос с направляющим аппаратом				Насос без направляющего аппарата		
$r_2 : r_1$	$\beta_2 = 40^\circ$	$\beta_2 = 30^\circ$	$\beta_2 = 20^\circ$	$D_2 : D_1$	$\beta_2 = 30^\circ$	$\beta_2 = 20^\circ$
1,5	$K=0,68$	$K=0,73$	$K=0,80$	1,25	$K=0,55$	$K=0,63$
2,0	0,75	0,78	0,84	1,50	0,63	0,71
2,5	0,77	0,80	0,86	2,00	0,70	0,77

Примечание. Величины, указанные в таблице, относятся к колесам с восемью лопатками. При меньшем количестве лопаток значения  $K$  уменьшаются на 10%, а при большем значении увеличиваются также на 10%.

Гидравлический к. п. д. у современных насосов в среднем равняется 0,75, достигая у винтовых насосов 0,9.

С коэффициентами уравнение (87) примет вид:

$$H_n = k \eta_h \frac{c_2 u_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (88)$$

При определении мощности, расходуемой центробежным насосом, кроме гидравлического к. п. д. необходимо учитывать механический к. п. д. насоса, т. е. потери на трение в сальниках, подшипниках и т. п. Механический к. п. д. принято обозначать  $\eta_m$ .

$\eta_m$  — в среднем = 0,85—0,9. В насосах хорошего исполнения  $\eta_m$  достигает 0,95—0,98.

$\eta = \eta_h \eta_m$  — носит название общего к. п. д. и представляет собой результат от деления теоретически потребной мощности на практическую.

Для определения потребной мощности служит общеизвестная формула:

$$N = \frac{QH}{75\eta}, \quad (89)$$

где  $N$  — мощность на валу двигателя в л. с.;

$Q$  — расход в л/сек;

$H$  — полный напор в м.

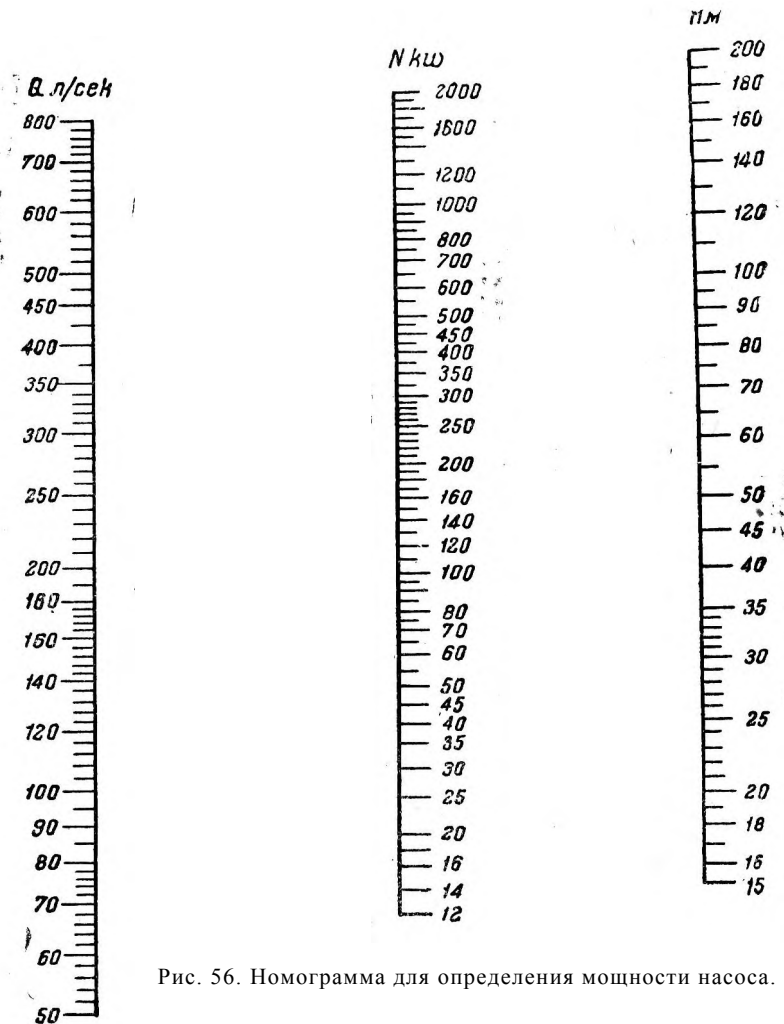


Рис. 56. Номограмма для определения мощности насоса.

На рис. 56 представлена номограмма, составленная автором по уравнению (89).

Пользуясь этой номограммой, можно быстро определить потребную мощность мотора, а также решить и обратную задачу. При построении номограммы  $\eta$  принято равным 0,75.

При подборе мотора мощность надо брать с запасом в 10—15%.

## Форма лопаток рабочего колеса и направляющего аппарата

Для упрощения дальнейших выкладок и большей наглядности показа влияния угла  $\beta_2$  на напор, развиваемый центробежным насосом, примем, что  $c_1 = c_2 \sin \alpha_2$ . Такое соотношение вполне реально и может быть достигнуто выбором соответствующей ширины рабочего колеса.

На рис. 57 изображено шесть различных профилей лопаток.

Для профиля *A* угол  $\beta_2$  выбран таким образом, чтобы скорость  $c_2$  приняла радиальное направление и угол  $\alpha_2$  сделался прямым.

Тогда из уравнения (88) найдем, что  $H_n = 0$ , т. е. насос не создает никакого избытка давления.

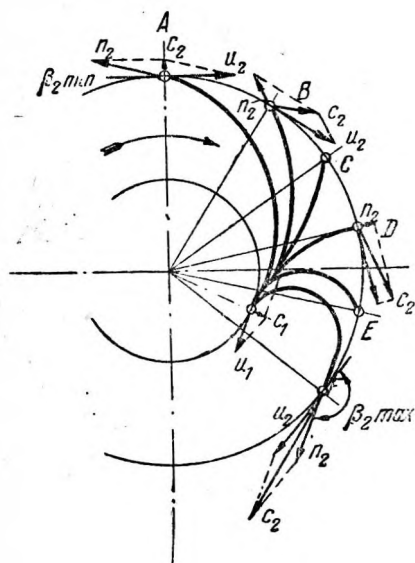


Рис. 57. Разные профили рабочих колес.

Для профиля *D* угол  $\beta_2 = 90^\circ$ , тогда из параллелограмма скоростей найдем:

$$c_2 \cos \alpha_2 = u_2.$$

Подставляя в основное уравнение, получим:

$$H_n = \frac{u_2^3}{g}.$$

Тот же параллелограмм дает соотношение:  $c_2^2 - c_1^2 = u_2^2$ .

Следовательно справедливы равенства:

$$H_n = \frac{u_2^3}{g} = \frac{c_2^3 - c_1^3}{g}$$

и

$$\frac{H_n}{2} = \frac{u_2^3}{2g} = \frac{c_2^3 - c_1^3}{2g},$$

т. е. скоростной напор  $\left( \frac{c_2^3 - c_1^3}{2g} \right)$

для лопатки, оканчивающейся по радиусу, равен напору статическому.

Для профиля *F* угол  $\beta$ , принят предельно тупым. Параллелограмм превратился в ромб.

Из чертежа:

$$c_2 \cos \alpha_2 = 2u_2.$$

Подставляя в основное уравнение:

$$H_n = \frac{2u_2^3}{g},$$

т. е. в 2 раза больше, чем для профиля *D*.

Так как параллелограмм превратился в ромб, то справедливо равенство:  $c_2^2 - c_1^2 = 4u_2^2$ .

Следовательно:

$$\frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} = \frac{4u_2^2}{2g} = H_n.$$

Другими словами, полный напор целиком образуется за счет скоростного напора:

$$P_2 - P_1 = 0$$

Рис. 57 наглядно показывает, что загнутые вперед лопатки по сравнению с лопатками, загнутыми назад, при тех же оборотах способны развивать больший напор. Однако лопатки, загнутые вперед, на практике никогда не применяются, так как по сравнению с другими типами отличаются плохим к. п. д.

Все вышеизложенное дает некоторое теоретическое обоснование выбору направлений касательных к лопастям рабочего колеса в точке входа и выхода.

Максимальный к. п. д. дают лопатки, загнутые назад.

Что же касается очертания самой лопасти, то опыты показывают, что наилучшие результаты дают плавные профили, обеспечивающие равномерное ускорение движения воды между лопатками. В подробных руководствах по центробежным насосам и в машиностроительных справочниках имеются описания различных методов вычерчивания профиля лопатки.

Очень распространены профили, очерченные одной или несколькими дугами окружности.

### Отливной канал и направляющий аппарат

Отливной канал, или, как его иногда называют, „улитка“ должен удовлетворять следующим двум основным условиям:

1) скорость движения воды в любом сечении канала должна быть равна скорости  $c_2$ , так как иначе будет иметь место внезапное изменение скорости, а следовательно повышенные гидравлические потери;

2) направление движения потока воды в канале должно соответствовать направлению скорости.

Некоторый определенный отливной канал будет поэтому давать различные к. п. д. при различных окружных скоростях рабочего колеса и различных напорах.

Максимальный к. п. д. будет при некоторых вполне определенных расходе и напоре.

Выше указывалось, что направляющий аппарат повышает к. п. д. центробежных насосов. Происходит это потому, что направляющий аппарат создает более совершенные условия для безударного принятия воды, вытекающей из рабочего колеса. Кроме того направляющий аппарат уменьшает скорость выхода из рабочего колеса, преобразуя ее в напор.

Направляющий аппарат удобен и в конструктивном отношении, так как позволяет в одном и том же корпусе путем смены только направляющего аппарата получать хороший к. п. д. при различных напорах и расходах.



## Характеристика насосов

Исходными величинами при определении размеров насоса являются производительность, полный напор и число оборотов. Насос проектируется так, чтобы при заданных значениях этих

величин к. п. д. был наибольшим. В действительности же насос работает в обстановке, несколько отличной от той, для которой он запроектирован. Изменение хотя бы одного условия работы насоса сейчас же вызывает изменение всех остальных.

Для правильного использования насоса совершенно необходимо точно знать характер этих изменений. Они фиксируются обычно в виде кривых, называемых характеристиками.

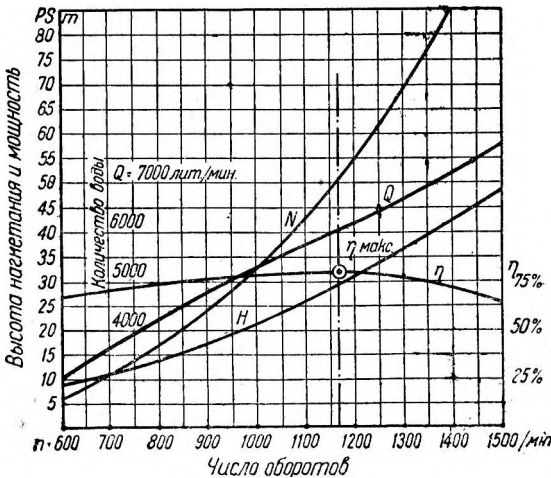


Рис. 58. Характеристика центробежного насоса.

Образец характеристики представлен на рис. 58. По вертикальной оси отложены значения:  $Q$ ,  $H$ ,  $N$  и  $\eta$ , по горизонтальной  $n$ .

Эта характеристика относится к центробежному насосу с направляющим аппаратом завода „Амаг Гильберт“. Диаметр всасывающей трубы насоса равняется 200 мм.

Диаграммы в общем изменяются согласно вышеприведенным уравнениям.

При увеличении числа оборотов с 700 до 1400 в 1 мин. расход увеличивается несколько больше, чем

вдвое, а напор в это же время возрастает в четыре раза (от 11 до 44 м).

Рассматриваемый насос имеет максимальный к. п. д. при высоте подъема  $H = 30$  м,  $n = 1170$  об/мин и  $Q = 6000$  л/мин.

Кроме рассмотренной характеристики для эксплуатации на-

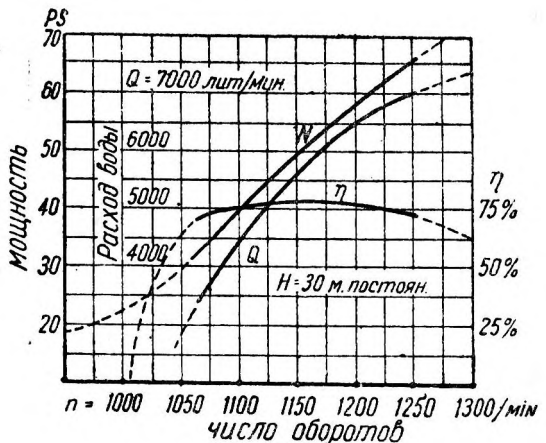


Рис. 59. Характеристика центробежного насоса.

соса иногда бывает важно знать, как будет вести себя насос при постоянном давлении, но при изменяющемся числе оборотов. Такая зависимость представлена для того же насоса на рис. 59.

В этом случае  $Q$  изменяется не пропорционально числу оборотов, а значительно иначе.

На рис. 60 дана характеристика насоса при постоянном числе оборотов.

Эти характеристики дают целый ряд очень важных для эксплуатации насоса данных.

Как видно из характеристики, при закрытой задвижке развивается давление около 37 м. Motor при этом потребляет около 23 л. с.

При постепенном открытии задвижки напор начинает увеличиваться. Расход  $Q$ , естественно, тоже растёт.

К. п. д. все время изменяется с изменением расхода. При закрытой задвижке он равняется нулю, т. е. вся работа двигателя идет на нагревание воды в насосе. В нашем примере к. п. д. достигает максимума при производительности в 5500 л/мин; при дальнейшем увеличении расхода он падает.

Пользуясь характеристиками, можно наглядно представить параллельную работу двух или нескольких центробежных насосов.

Построим (рис. 61), откладывая по горизонтали — расходы и по вертикали — полные напоры, характеристику некоторого трубопровода для параллельной работы двух насосов.

Построим на осях координат  $Q$  и  $H$  характеристику насоса завода „Борец“ типа 26-400 (эти насосы получили большое распространение в гидромеханизации и подробно описаны ниже) и в тех же осях координат характеристику трубопровода, в котором работает данный насос.

Пусть характеристика насоса пересекла характеристику водовода в точке  $A$  с координатами  $Q_1 = 470$  л/сек,  $H_1 = 88$  м. Эта точка показывает, что насос, работая на данный трубопровод,

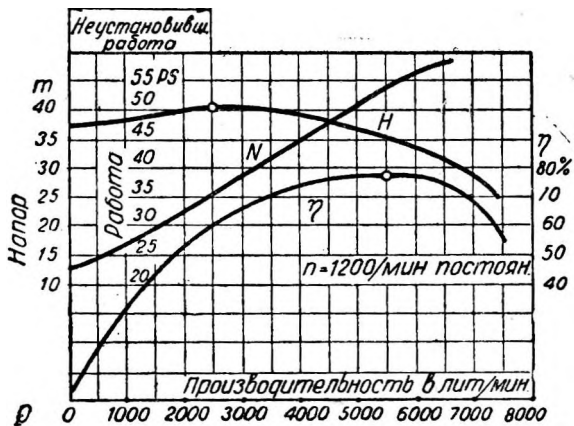


Рис. 60. Характеристика центробежного насоса.

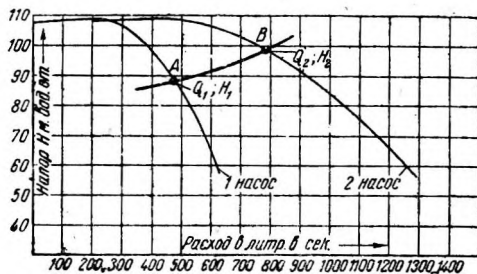


Рис. 61. Параллельная работа насосов.

будет давать производительность не выше 470 л/сек при напоре 88 м.

Для того чтобы найти производительность двух параллельно работающих насосов в тот же трубопровод, достаточно построить характеристику с удвоенными абсциссами. Пусть новая характеристика пересекла характеристику трубопровода в точке  $B$  с координатами  $Q_2 = 780$  л/сек,  $H_2 = 99$  м. Производительность будет уже равна 780 л/сек при напоре 99 м.

Этим же способом могут быть найдены суммарные производительности любого числа параллельно работающих насосов.

Характерно, что всегда

$$Q > \frac{Q_2}{2} \text{ и } H_1 < H_2.$$

Другими словами, суммарная производительность параллельно работающих центробежных насосов будет несколько меньше суммарной производительности центробежных насосов, работающих по отдельности.

### Осевое давление

При работе центробежных насосов, как это указывалось выше, возникают силы, действующие вдоль оси насоса по направлению к всасывающей стороне.

Силы эти являются результатом гидравлического давления воды на заднюю поверхность стенки колеса. Борьба с осевым давлением ведется тремя способами: 1) путем гидравлической разгрузки, 2) путем восприятия осевого давления „упорными“ подшипниками и 3) путем двухстороннего подвода воды к рабочему колесу.

Крупные одноколесные насосы за редким исключением выполняются с двухсторонним подводом воды. В крупных многоступенчатых применяется гидравлическая разгрузка.

### 3. Описание конструкции центробежных насосов

Учитывая, что описанию конструкций (к сожалению, как правило, импортных) в специальной литературе по центробежным насосам отведено достаточно места, мы ограничимся описанием только четырех различных типов, получивших распространение и хорошо зарекомендовавших себя на гидромеханизации в СССР. В приложении дана таблица ориентировочных данных о новых центробежных насосах, изготовленных заводами Главхиммаша в 1938 г.

Простой центробежный насос завода им. Калинина  
в Москве

Марка 20-НЦ (с колесом № 20)

Основные данные: производительность  $Q = 1720$  м<sup>3</sup>/час, напор  $H = 12$  м.

Число оборотов  $n = 730$  об/мин.

Диаметр всасывающего патрубка — 600 мм.

Диаметр напорного патрубка — 500 мм.

Габарит 2 010 X 1 500 X 1 550 мм.

Насосы этого типа нашли широкое применение на гидромеханизации канала Москва—Волга в качестве насосов первого подъема и полностью себя оправдали.

На рис. 62 представлены продольный разрез и боковой вид такого насоса.

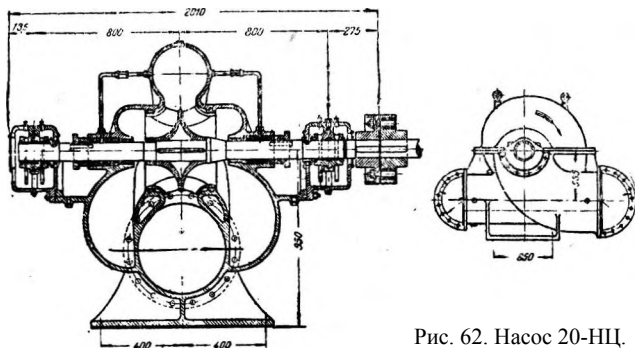


Рис. 62. Насос 20-НЦ.

Рабочее колесо с двухсторонним всасыванием закреплено на валу помощью шпонки и гайки с контргайкой. Направляющего аппарата нет. Из рабочего колеса вода попадает прямо в „улитку“. „Улитка“ (корпус) — разъемная по диаметру, благодаря чему проверка и прочистка рабочего колеса не требуют разборки подшипников и расцепки с электромотором.

Сальники выполнены с гидравлическим затвором, вода к которому подводится из „улитки“. При перебивке сальника необходимо следить за тем, чтобы водяное распределительное кольцо приходилось против отверстия трубки, подводящей воду.

Подшипники у насоса баббитовые с кольцевой смазкой.

На рис. 63 представлена характеристика описываемого насоса, снятая при 730 об/мин.

Кривая  $Q - H$ , как мы видим из рисунка, после оптимальных значений очень быстро падает вниз.

Производительность почти не увеличивается. Расход мощности, будучи максимальным при максимальном к. п. д., при увеличении расхода начинает быстро падать. Оптимальному режиму (максимального к. п. д.) соответствуют следующие параметры:  $Q = 475 \text{ л/сек}$ ;  $N = 12,5 \text{ м}$ ;  $\eta = 72\%$ .

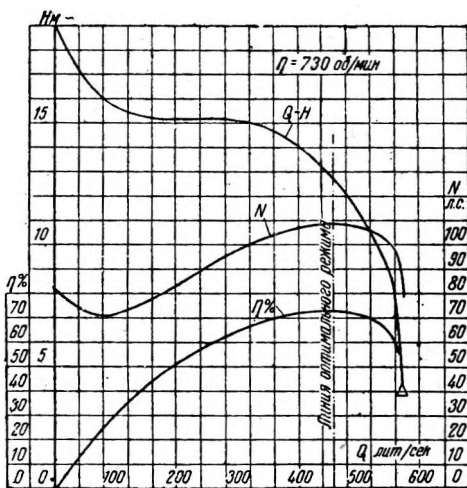


Рис. 63. Характеристика насоса 20-НЦ.

При снижении напора с 8 до 4 м производительность почти не увеличивается. Расход мощности, будучи максимальным при максимальном к. п. д., при увеличении расхода начинает быстро падать. Оптимальному режиму (максимального к. п. д.) соответствуют следующие параметры:  $Q = 475 \text{ л/сек}$ ;  $N = 12,5 \text{ м}$ ;  $\eta = 72\%$ .

Центробежный насос с направляющим аппаратом  
завода „Борец“ в Москве. Марка 26-400

Основные данные:

Производительность — 1 700 м<sup>3</sup>/час.

Напор — 84 м.

Диаметр всасывающего и нагнетательного патрубков — 400 мм.

Число оборотов в 1 мин. — 1 450.

Габариты — 1 760 X 1 220 X 1 675 мм.

Мощность мотора — 680 квт.

Насос завода „Борец“ на гидромеханизации канала Москва—Волга являлся основным. В самых тяжелых условиях эксплуатации (передвижные установки, грязная вода, низкая квалифика-

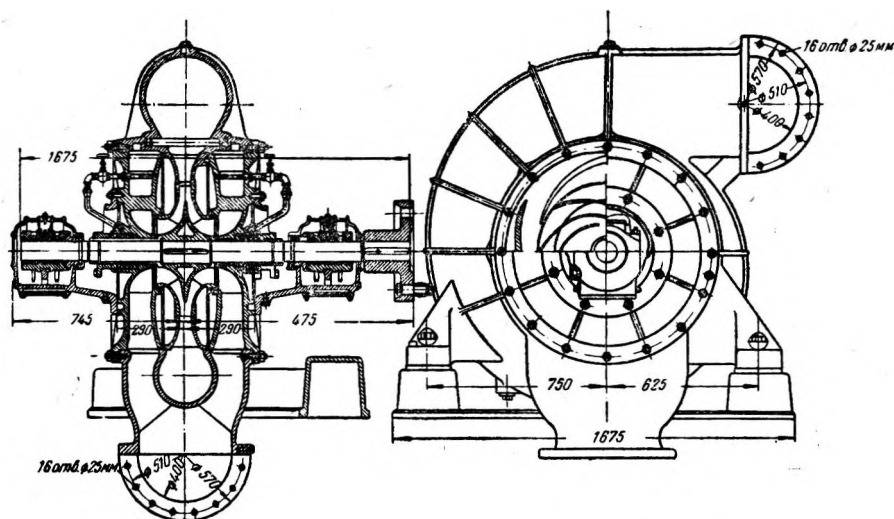


Рис. 64. Насос завода „Борец“ 26-400.

ция обслуживающего персонала и т. д.) этот насос работал безотказно.

Производительность его хорошо увязана с распространенными в СССР землесосами (800 м<sup>3</sup>/час). Он дает воды ровно на два землесоса. Развиваемое давление достаточно для размыва подавляющего большинства грунтов.

Всасывающий патрубок насоса (рис. 64) направлен вниз. Подвод воды к рабочему колесу двухсторонний.

Рабочее колесо сидит на длинной призматической шпонке. В осевом направлении положение колеса на валу насоса фиксируется двумя гайками — предохранительными муфтами. Гайки-муфты защищают вал в месте сальника от износа. Во избежание самоотвертывания левая гайка нарезана левой резьбой. В сальнике имеется водоуплотнительное кольцо, главное назначение которого — охлаждать сальниковое устройство. Как указывалось выше, насос имеет направляющий аппарат. Направляющий ап-

парат изготовлен из чугуна и закрепляется в корпусе двумя специальными шпильками.

Подшипники — баббитовые, с кольцевой смазкой и рубашкой для водяного охлаждения.

В крышках насоса имеются сменные бронзовые уплотняющие кольца, изолирующие полость вакуума от напорной.

Корпус насоса смонтирован на чугунной фундаментной плите.

На рис. 65 представлена характеристика насоса. Характеристика снята при 730 об/мин, но кривые  $H-Q$  и  $N-Q$  пересчитаны на 1450 об/мин.

В отличие от только-что рассмотренной характеристики низконапорного насоса, в этой характеристике расходуемая мощность

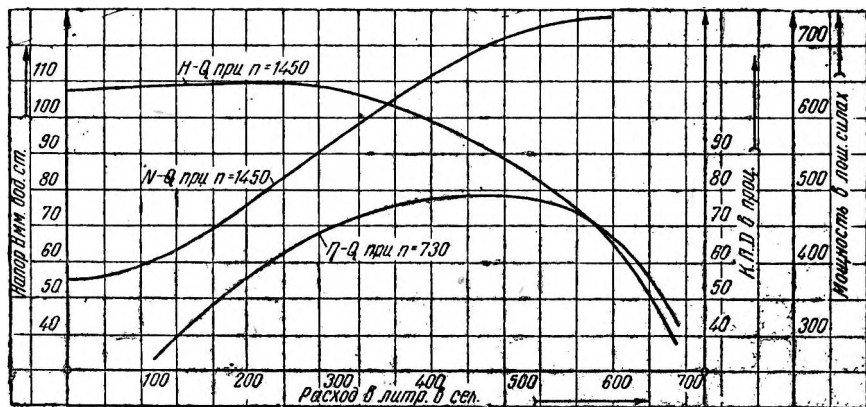


Рис. 65. Характеристика насоса 26-400.

при падении напора непрерывно растет, т. е. есть опасность перегрузки мотора.

Максимальный к. п. д.  $\eta$  при 730 об/мин равен 78%. При полном числе оборотов следует ожидать некоторого снижения к. п. д.

Центробежный насос без направляющего аппарата завода им. Калинина в Москве. Марка 14-НДС

Основные данные:

Производительность — 350 л/сек.

Напор — 80 м.

Число оборотов в 1 мин. — 1450.

Диаметр всасывающего патрубка — 400 мм.

Диаметр нагнетательного патрубка — 350 мм.

Габариты 1 770 X 1 645 X 1 130 мм.

Мощность мотора — 540 квт.

Насос этот (рис. 66) имеет разъем по горизонтали, и его конструкция напоминает описанную выше марку 20-НЦ (того же завода).

Рис. 66 по АБСДЕ

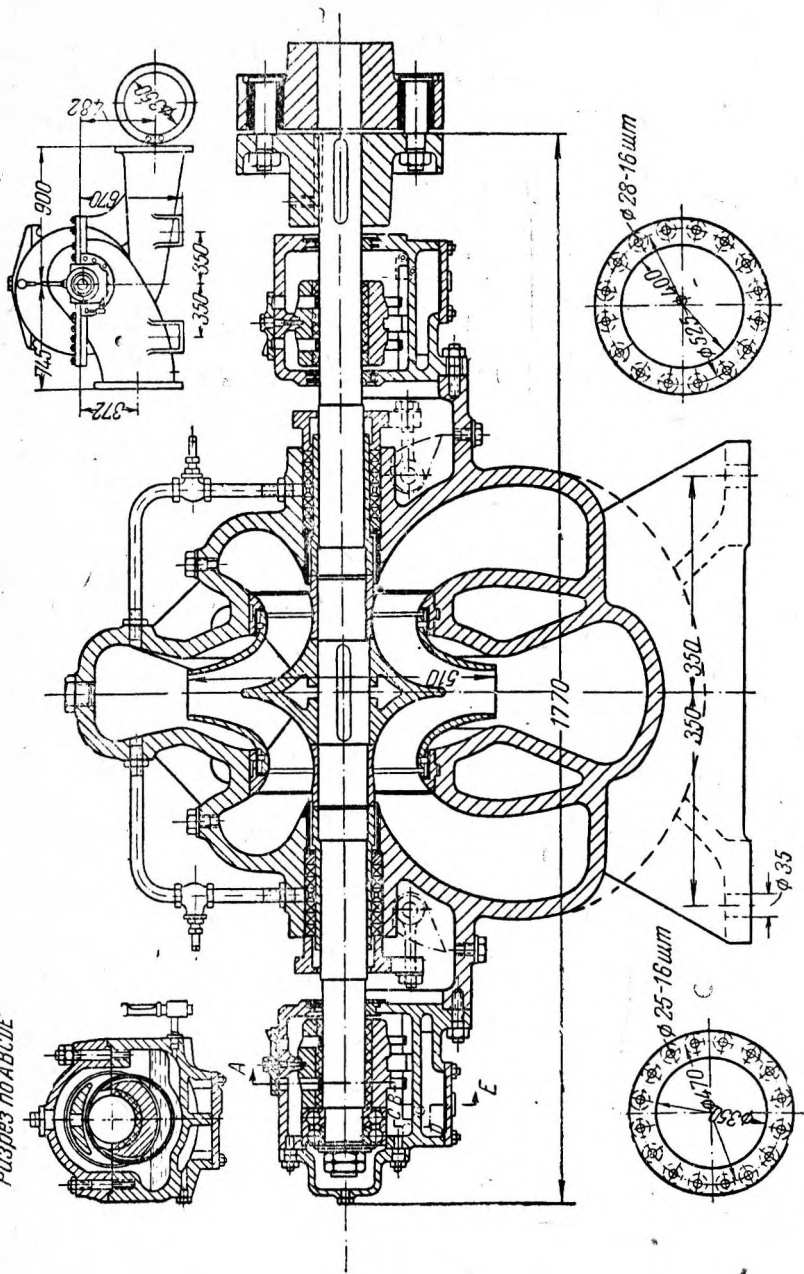


Рис. 66. Насос 14-НДС.

Характеристика насоса представлена на рис. 67. Насос отличается исключительно высоким к. п. д. — 90% — и хорошими эксплуатационными качествами.

Этот насос отлично оправдал себя на ряде гидромеханизированных объектов и может быть безусловно рекомендован для широкого применения в гидромеханизации.

### Многоступенчатые насосы

На рис. 53 показаны продольный и поперечный разрезы типичного для заводов СССР многоступенчатого центробежного насоса.

Насосы этого типа изготавливаются: Сумским заводом им. Фрунзе, заводом „Борец“ и другими насосостроительными заводами.

Корпус насоса собирается из отдельных секций. Каждая секция представляет собой одноступенчатый насос.

Насосы этого типа очень компактны и имеют небольшой вес по сравнению с другими типами многоступенчатых насосов (например цельнокорпусными). Вал насоса вращается в двух выносных подшипниках с кольцевой смазкой.

С всасывающей стороны имеется гидравлическое уплотнение, питаемое напорной водой из первой секции. В каждой секции имеется сменное бронзовое уплотняющее кольцо.

Осевое давление воспринимается гидравлической пятой, устроенной со стороны напорного патрубка. Пята состоит из двух дисков, на периферии которых помощью потайных шурупов закреплены сменные стальные кольца. Один диск скреплен с корпусом, другой — с валом насоса. В пространство между дисками по специальным каналам подводится напорная вода из последней ступени.

Площадь дисков и сечение каналов, подводящих напорную воду, рассчитаны так, что возникающая осевая сила уничтожает осевое давление.

Вода, протекающая между кольцами дисков, отводится специальной трубкой к всасывающему патрубку насоса.

Гидравлическая пята нормально работает при нормальном давлении. При падении напора более чем на 30—35% она начинает греться, и сменные кольца быстро срабатываются.

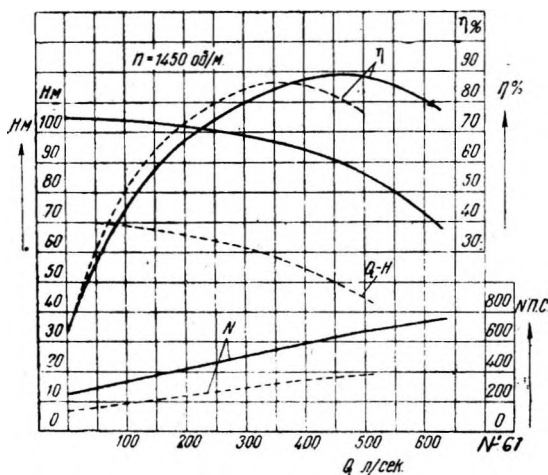


Рис. 67. Характеристика насоса 14-НДС.



Объясняется это тем, что в пространство между дисками начинает поступать недостаточное для разгрузки осевого давления количество воды.

На рис. 68 представлена характеристика насоса Сумского машиностроительного завода им. Фрунзе (тип 2В-250). Насос этот относится к описанному выше типу. Основные данные его следующие:

Производительность. . . . .	9 000 л/мин
Напор. . . . .	101 м.
Число оборотов в 1 мин . . . . .	1 450
Мощность мотора. . . . .	300 л. с.

Кривая  $Q - H$  на участке до расхода 5 000 л/мин почти горизонтальна. Рабочая точка обозначена на чертеже буквами  $PT$ .

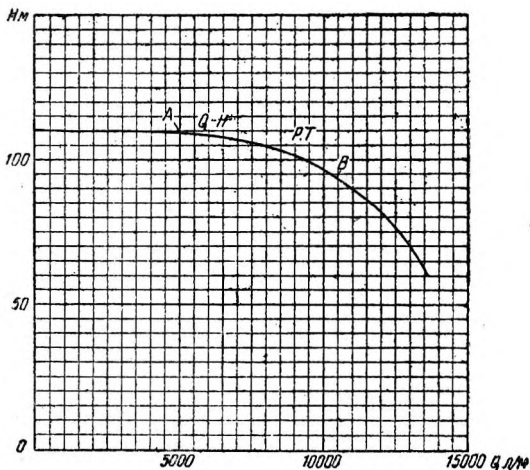


Рис. 68. Характеристика насоса 2В-250 Сумского завода.

После увеличения расхода до 12 000 л/мин развиваемый напор начинает быстро падать.

Насос работает нормально на участке характеристики  $A - B$ .

В приложении дана таблица основных размеров многоступенчатых насосов завода им. Фрунзе.

Центробежный насос в условиях гидромеханизации обычно агрегируется с электромоторами путем непосредственного сцепления муфтой той или иной конструкции.

Электронасосный агрегат, так же как и землесосный, является сердцем всей гидромеханизированной установки; он наиболее сложен по своему устройству и требует тщательного ухода. Выход из строя насосного агрегата, естественно, вызовет перерыв в работе всей установки, поэтому работа насоса должна непрерывно наблюдаться и все замеченные ненормальности немедленно устраняться.

Ниже в табл. 15 приведены наиболее часто встречающиеся неисправности центробежных насосов и способы их устранения.

Ремонт центробежных насосов, как и любого другого оборудования, целесообразно производить не только при выходе насоса из строя, но и профилактически, через определенные промежутки времени.

Ремонт лучше всего приурочивать к переброске насосов с одного объекта на другой. Ремонтную бригаду необходимо обеспечить некоторыми специальными инструментами; работа при демонтаже и монтаже ломом, зубилом, бородком должна быть изгнана из практики ремонта и уступить место блоку и винту.

#### 4. Вспомогательное оборудование насосных станций

Для нормальной эксплуатации центробежных насосов, для их пуска и регулирования во время работы требуется некоторое вспомогательное оборудование. Вопросам рационального монтажа и правильного обслуживания этого оборудования должно быть уделено самое серьезное внимание.

Анализ работы временных насосных станций гидромеханизации показывает, что до 40% всех простоев составляют простои, вызванные вспомогательным оборудованием (всасывающие клапаны, задвижки, вакуумнасосы и т. п.).

##### Приемные (всасывающие) клапаны

Выше указывалось, что центробежные насосы не обладают способностью сухого всасывания, другими словами, перед пуском корпус насоса обязательно должен быть наполнен перекачиваемой жидкостью.

Достигается это или заливкой извне, или путем удаления воздуха из корпуса специальным вакуум-насосом (см. ниже).

При заливке насоса необходимо на всасывающей линии иметь клапан, препятствующий вытеканию воды из насоса.

Таким образом клапан имеет значение только для заливки насоса; во время же работы клапан абсолютно не нужен, и даже больше того — вреден, создавая лишние гидравлические потери во всасывающем трубопроводе. На рис. 69 изображена распространенная конструкция всасывающего клапана.

Хорошая конструкция клапана должна обладать тремя основными качествами:

1) обеспечивать достаточную герметичность для того, чтобы однажды залитый насос не приходилось бы заливать вновь при каждом пуске;

2) конструкция должна быть максимально простой, позволяющей быстро производить смену уплотняющей прокладки и обеспечивающей от заеданий при колебании клапана;

3) гидравлические потери должны быть минимальными.

Одно конструктивное целое с клапаном представляет собой предохранительная сетка.

Суммарная площадь отверстий сетки должна быть по крайней мере в 3—4 раза больше площади всасывающей трубы, так

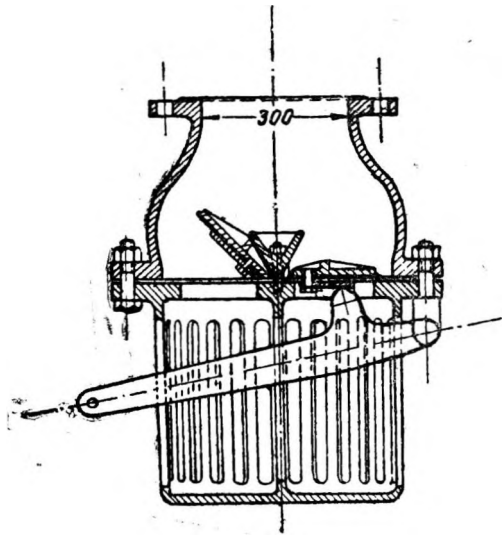


Рис. 69. Всасывающий клапан.

Неисправность	Причина неисправности	Как обнаружить неисправность	Как исправить
I. Насос плохо всасывает	1. Всасывающая труба пропускает воздух 2. Сальник насоса пропускает воздух, потому что: а) износилась набивка б) износился вал насоса в) засорилась труба, подводящая воду к гидравлическому уплотнению	1. При заливке насоса в местах пропуска появляется течь, при работе в местах пропуска "сопит". Эти места легко обнаружить пламенем свечи а) осмотром набивки б) осмотром вала в) вода в трубе нагревается	1. Устранить неисправность: а) заменить набивку сальника б) сменить вал в) прочистить и промыть трубу
II. Подача насоса уменьшается	1. Электродвигатель не развивает нужного числа оборотов вследствие падения напряжения в сети 2. Засорение приемного клапана или предохранительной сетки 3. Засорение самого насоса твердыми осадками 4. Рабочие колеса сдвинулись в осевом направлении так, что частично перекрылся проход из рабочего колеса в улитку 5. Замерзание труб	1. При помощи вольтметра 2. Осмотром 3. Можно обнаружить только при разборке насоса 4. Установительные кольца или пята сработались, ризка на валу для определения правильного положения колеса "ушла в сторону" 5. При постукивании молотком слышен глухой звук	1. Если возможно, повысить напряжение генератора 2. Прочистить 3. Прочистить 4. Сменить кольца или пята, установить вал по ризке 5. Оттапать 1. См. II, § 1
III. Насос не дает нужного напора	1. См. II, § 1		1. См. II, § 1

<p>IV. Слишком большой расход энергии</p>	<p>2. Сильный износ лопастного колеса или уплотнительных колец</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. От сильного износа упорных устройств и трения рабочего колеса о корпус насоса или уплотнительные кольца</li> <li>2. Заедание шеек вала в подшипниках</li> <li>3. В насос попало большое количество грязи или песка</li> </ol>	<p>2. Осмотром и промером при разборке</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Слишком большой „разбег“ вала</li> <li>2. Подшипник нагревается</li> <li>3. В насосе сильный шум, осмотреть перекачиваемую воду</li> </ol>	<p>2. Заменой износившихся частей новыми</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Заменой износившихся частей новыми</li> <li>2. Проточкой вала и подшипников</li> <li>3. Промыть насос, установить причину появления грязи, устранить ее</li> </ol>
<p>V. Хорошо работающий насос вдруг перестает подавать воду</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обнажился сосун, и в насос попал воздух</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Наблюдением за уровнем воды в приемном кольце</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Остановить насос, залить водой и пустить снова</li> </ol>
<p>VI. Дрожание и дребезжание насоса в работе</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ослабление анкерных болтов насоса</li> <li>2. Износ упругой соединительной муфты</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Гаечным ключом</li> <li>2. Выслушиванием насоса</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Креплением болтов</li> <li>2. Ремонт муфты</li> </ol>
<p>VII. Нагрев корпуса</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Насос долгое время (1—2 часа) работает при закрытой задвижке в нагнетательной линии</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. На ощупь</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Открыть задвижку; если насос не возьмет, то залить и пустить снова</li> </ol>
<p>VIII. Нагрев сальника</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неравномерный или чересчур сильный зажим сальника</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. На ощупь</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отрегулировать затяг; если не поможет, то сменить набивку</li> </ol>
<p>IX. Нагрев подшипников</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Загрязнение смазки</li> <li>2. Плохое качество смазки</li> <li>3. Недостаточно смазки в подшипнике</li> <li>4. Дефекты вкладки или кольца</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Смазка густая, темная, при отстаивании дает осадок</li> <li>2. Сравнением с заводом хорошим маслом или специальным анализом</li> <li>3. Кольцо недостаточно погружено в масло</li> <li>4. Осмотром деталей</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Спустить масло, промыть подшипник керосином и залить свежее масло</li> <li>2. Спустить масло, промыть подшипник керосином и залить свежее масло</li> <li>3. Долить масла</li> <li>4. Заменить или отремонтировать</li> </ol>

как иначе гидравлические потери, ею создаваемые, будут слишком велики.

В работе часто наблюдается присос к сетке всевозможных плавающих тел: травы, щепок, веток и т. п. Эти тела закрывают собой часть отверстий; потери сильно возрастают, и производительность насоса соответственно падает.

Для борьбы с этим явлением в условиях гидромеханизации применяют один из трех способов:

а) производят промывку всаса обратной водой из водовода (это возможно только при достаточном напоре в нагнетательной линии);

б) защищают всасывающий колодец дополнительными сетками с большой площадью;

в) производят механическую очистку всаса щеткой, насаженной на длинную палку.

При работе зимой бывает необходимо опорожнять насос и всасывающую трубу от воды.

На рис. 69 показано приспособление для подъема клапана и спуска воды, хорошо оправдавшее себя в зимний сезон 1935/1936 г. на гидромеханизации канала Москва — Волга.

Всасывающие клапаны обычно применяются на трубах до 350 мм в диаметре; при больших диаметрах для запуска насосов применяют вакуумнасосы.

В приложении даны основные размеры и веса всасывающих клапанов, а в табл. 16 — потери напора в клапанах и всасывающих коробках.

Таблица 16

Диаметр клапана в мм	$v$ в м/сек	$Q$ в л/сек	Потеря напора в м	Диаметр клапана в мм	$v$ в м/сек	$Q$ в л/сек	Потеря напора в м
80	1,60	8	1,30	200	2,66	83	2,90
100	2,18	17	2,20	250	1,35	66	0,65
125	2,72	33	3,50	250	1,70	83	1,00
150	1,88	33	1,5	250	2,05	100	1,50
150	2,84	50	3,65	300	1,42	100	0,60
175	1,38	33	0,80	300	2,13	150	1,40
175	2,10	50	1,90	350	1,57	150	0,55
175	2,76	66	3,40	350	2,10	200	1,10
200	1,60	50	1,00	350	2,26	216	1,25
200	2,11	66	1,80	400	1,00	125	0,115

### Вакуумнасос

На рис. 70 изображен водокольцевой вакуумнасос, изготовляемый заводом „Красный факел“ в Москве.

Рабочим органом насоса является крыльчатка 1, расположенная эксцентрично по отношению к цилиндрической полости кожуха 2.

Отделение всасывающего пространства от нагнетательного осуществлено с помощью жидкостного кольца, образующегося

в корпусе насоса под действием центробежной силы при вращении крыльчатки.

Всасывание происходит через окно 3 вследствие того, что полость, ограниченная лопатками колеса, водяным кольцом и кожухом, при вращении по направлению стрелки увеличивается.

При переходе влево за вертикальный диаметр полость начинает уменьшаться и засосанный воздух выталкивается через окно 4 в трубу 5.

Перед пуском насос должен быть обязательно залит водой. Для поддержания постоянного жидкостного кольца к насосу устанавливается специальный питательный бачок 6. Вода необходима и для охлаждения насоса, так как при работе он довольно быстро нагревается.

Регулирование питания и охлаждения насоса осуществляется вентилем 7. Расход воды составляет примерно 250—300 л/час.

Питающая вода не должна содержать механических приме-

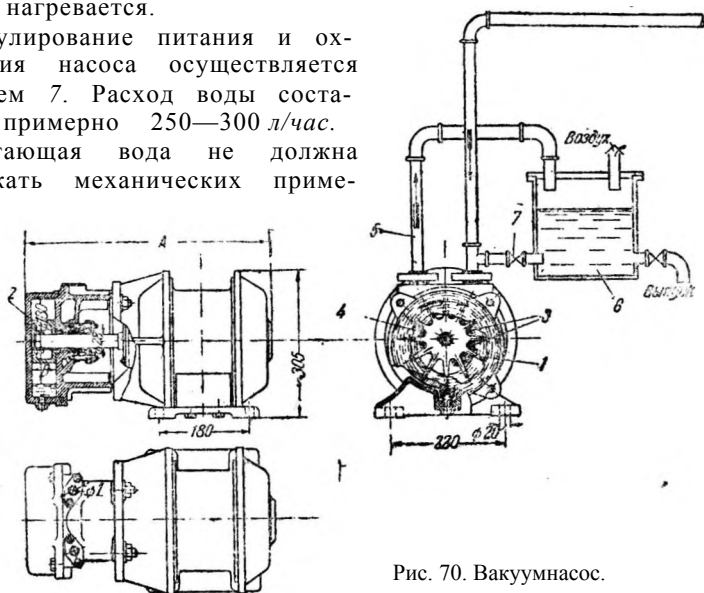


Рис. 70. Вакуумнасос.

сей во избежание истирания точно пригнанных вращающихся частей.

Зимой в неутепленных помещениях при длительных остановках из насоса необходимо спускать воду. Делается это через специальное отверстие в нижней части корпуса. Желательно после спуска воды залить насос маслом и повернуть вхолостую.

Зазор между крышкой и крыльчаткой не должен увеличиваться более чем на 0,1 мм, так как это вызовет падение вакуума. Регулируется зазор путем спиливания крышки.

Как это видно из рис. 70, насос монтируется непосредственно к фланцу мотора. Крыльчатка насаживается на вал мотора. Насос изготавливается двух размеров с шириной крыльчатки 25 и 50 мм. Соответственные производительности и размеры даны в табл. 17.

Оба размера насосов снабжаются моторами, мощностью 1,73 и 2,2 кет с числом оборотов 1 420 в 1 мин.

На рис. 71 представлена характеристика вакуумноса с колесом 25X180 мм.

Таблица 17

### Задвижки

Для регулирования работы насосов применяются задвижки различных типов. Задвижки по сравнению с вентилями, употребляемыми на малых сечениях, имеют два весьма важных преимущества:

1) прохождению жидкости благодаря прямолинейному движению и несуженному размеру сечения и 2) отсутствие гидравлических ударов. Кроме того задвижки позволяют точно регулировать расход жидкости.

К недостаткам задвижек следует отнести: 1) сравнительно быстрый износ рабочих поверхностей из-за их скользящего дви-

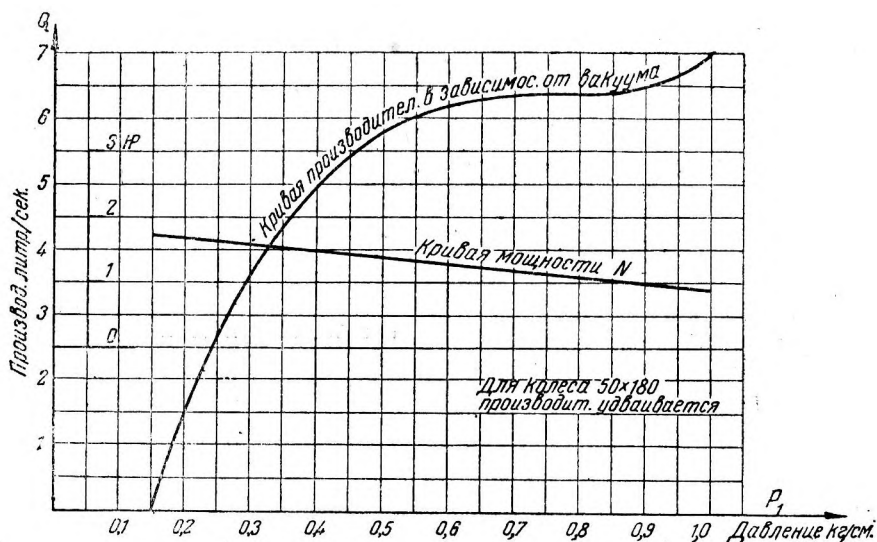


Рис. 71. Характеристика вакуумноса.

жения и 2) более сложную обработку рабочих плоскостей в связи с их не перпендикулярным к направлению оси трубы положением.

Материал задвижек выбирается в зависимости от размера и величины рабочего давления. В гидромеханизации применяются почти исключительно задвижки с чугунными корпусами.

В наиболее распространенных конструкциях задвижек запирающим органом служит клин округлой формы с двумя, а в некоторых конструкциях с одной рабочей плоскостью.

Распространены задвижки типа „Москва“ и типа „Лудло“. Задвижки типа „Москва“ прочнее, и поэтому в гидромеханизации для чистой воды им следует отдавать предпочтение.

Корпуса задвижек чаще всего чугунные, задвижки „Лудло“, специально рассчитанные на высокие давления, имеют корпуса из стали.

При больших сечениях (свыше 350 мм) и напорах (свыше 6—8 ат) открытие задвижки требует огромных усилий; поэтому для разгрузки рекомендуется параллельная установка небольших задвижек (диаметром 100—150 мм).

Предварительным открытием малой задвижки большая задвижка разгружается.

В табл. 18 и 19 даны основные размеры и веса различных типов задвижек. В случае необходимости управления задвижкой на расстоянии могут быть применены специальные электроприводы. Задвижки этого типа изготавливаются рядом заводов.

На рис. 72 показано устройство электропривода для задвижек, рассчитанных на давление в 6 кг/см<sup>2</sup> при диаметре прохода задвижки в 450 и 500 мм.

Таблица 18

Задвижки типа „Москва“ (испытываются на давлении 15 кг/см<sup>2</sup>)

№ п/п	Диаметр		Длина корпуса	Вес в кг (приблиз.)	Приблизит. цена за 1 шт. франко завод в руб.
	прохода	фланца			
1	150	280	350	76	75
2	200	340	400	141	115
3	250	395	450	220	130
4	300	465	500	280	300
5	350	520	550	330	335
6	400	570	600	430	475
7	450	620	650	520	645
8	500	695	700	630	715

Примечание. Размеры в мм.

Таблица 19

Задвижки типа „Лудло“

№ п/п	Диаметр в мм		Длина корпуса строительная в мм	Вес (приблизит.) 1 шт. в кг	Приблизит. цена за 1 шт. франко завод в руб.	Примечание
	прохода	фланца				
1	50	165	155	13	12	Номинальное давление для размеров до 250 мм—25 кг/см <sup>2</sup> , для больших размеров—16 кг/см <sup>2</sup>
2	76	200	190	22	18	
3	100	235	230	37	25	
4	150	280	285	58	41	
5	200	340	345	86	64	
6	250	395	405	120	104	
7	300	465	455	160	180	
8	350	520	510	220	280	
9	400	570	560	280	375	

Электромотор помощью эластичной муфты соединен с червяком. Червяк в свою очередь вращает червячное колесо 1, соединенное с расположенным над ним зубчатым колесом 2. Вращение маховику задвижки передается посредством пальца 3, входящего в соответствующую выемку зубчатого колеса 2.



Палец 3, удерживается в положении, обеспечивающем зацепление помощью пружины 4, регулируемой винтом 5.

Пружина рассчитана и отрегулирована так, что при возрастании усилий свыше некоторой определенной величины палец 3

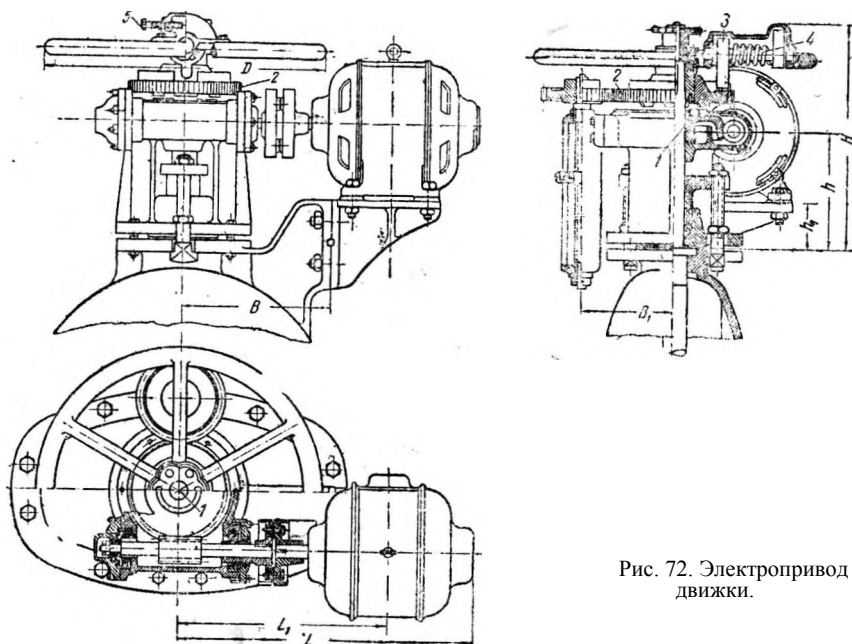


Рис. 72. Электропривод задвижки.

начинает проскакивать, предохраняя все устройство от поломки. С шестерней 2 находится в зацеплении еще одна шестерня, вращающая винт указателя.

Таблица 20

Обозначения	Условный проход	
	450 мм	500 мм
<i>B</i>	317 мм	317 мм
<i>B<sub>1</sub></i>	192,5 "	192,5 "
<i>D</i>	600 "	600 "
<i>H<sub>1</sub></i>	470 "	470 "
<i>h</i>	240 "	240 "
<i>h<sub>1</sub></i>	92 "	92 "
<i>L</i>	525 "	662 "
<i>L<sub>1</sub></i>	390 "	442 "
	Мощность мотора 0,8 квт число об/мин 1 000	Мощность мотора 1,5 квт число об/мин 1 500
	Время открывания	
	1 мин. 15 сек	59 сек.

При открытии задвижки указатель *б* двигается вверх и своим положением показывает степень открытия задвижки. Указатель может быть легко дооборудован конечным выключателем для автоматического отключения мотора в моменты полного открытия или закрытия задвижки.

В табл. 20 даны основные размеры электропривода и некоторая дополнительная характеристика.

Манометры и вакуумметры

Манометры и вакуумметры являются основными

измерительными приборами на насосных станциях и совершенно необходимы для правильной эксплуатации центробежных насосов.

На рис. 73 показана получившая наибольшее распространение схема металлического манометра. Вакуумметр имеет аналогичное устройство. Главным органом манометра является полая, дугообразно изогнутая пружина, деформирующаяся под действием давления жидкости. Эта деформация при помощи системы рычагов и зубчаток передается указательной стрелке.

До известных пределов давления деформации упомянутой трубки (пружины) пропорциональны давлению. Манометрическая трубка (пружина) имеет овальную форму, причем большая ось овала перпендикулярна к плоскости витка пружины, так как только при таком сечении трубка раскручивается пропорционально увеличению внутреннего давления. Если сделать малую ось овала перпендикулярной плоскости витка, то с возрастанием давления такая трубка будет закручиваться.

Чтобы приборы могли исполнять свое назначение продолжительное время, давая правильные показания, необходимо соблюдать следующие правила:

1. Допускаемое давление (постоянное и плавно колеблющееся) должно заключаться в пределах второй трети шкалы. Резко колеблющееся давление должно заключаться между  $1/3$  и  $1/2$  предельного значения шкалы.

В соответствии с этими правилами составлена таблица допускаемых давлений (табл. 21).

Таблица 21

Предельное давление в кг/см <sup>2</sup>		3	5	8	12	16	20	25	30	50	
Допускаемое давление	Для постоянной и плавно изменяющейся нагрузки в кг/см <sup>2</sup>	От	1	1,5	2,4	4	5	6,5	8	10	15
		До	2	3,4	5,4	8	11	13,5	17	20	34
	Для резко колеблющейся нагрузки в кг/см <sup>2</sup>	От	1	1,5	2,4	4	5	6,5	8	10	15
		До	1,5	2,5	4	6	8	10	12,5	15	25

2. Прибор должен быть установлен в нормальном положении. Если на циферблате прибора нет никаких специальных указаний, то нормальное положение будет при расположении циферблата в вертикальной плоскости и ниппеля внизу.

3. Во избежание порчи приборов от замораживания в них воды приборы необходимо предохранять от действия температуры ниже нуля.

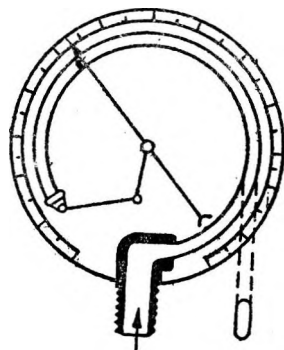


Рис. 73. Манометр.

4. Вакуумметры необходимо защищать от давления выше атмосферного. Если это не представляется возможным, то надлежит применять мановакуумметры, т. е. приборы, позволяющие измерять давление выше и ниже атмосферного.

5. Приборы должны быть защищены от возможного засорения.

6. Во время перевозки приборы не должны подвергаться резким ударам и толчкам.

По степени точности показаний манометры, изготавливаемые на заводах СССР, делятся на 6 разрядов.

В гидромеханизации обычно применяются манометры 3-го разряда. Точность показаний их при правильно сделанном отсчете следующая: у манометров с наибольшим значением шкалы: до  $2 \text{ кг/см}^2$  — 5,5%, от 2 до  $5 \text{ кг/см}^2$  — 3,5%, от 5 до  $30 \text{ кг/см}^2$  — 3,0% от  $30 \text{ кг/см}^2$  и выше — 2,5%. Эта точность конечно вполне удовлетворяет всем практическим запросам гидромеханизации.

## Водомеры

Отсутствие качественных нормативных данных для гидромеханизированных работ делает крайне желательной организацию систематического и достаточно точного учета количества воды, подаваемой насосной станцией.

При выборе водомера приходится учитывать: эксплуатационное давление, область учета, пропускную способность, потерю давления и условия работы. Эксплуатационным давлением называют то давление, на котором должен работать водомер, причем если это давление может колебаться, то при выборе водомера необходимо иметь в виду высший и низший пределы колебания.

Область учета характеризуется отношением наименьшего и наибольшего расходов, при которых водомер еще сохраняет требуемую точность учета.

Для удобства сравнения между собой различных типов водомеров условились максимальным расходом считать такой расход, который проходит сквозь водомер в 1 час при потере давления в 10 м вод. ст. Этот расход называется пропускной способностью водомера.

Уравнение:

$$\frac{Q}{\sqrt{h}} = C = \text{const}, \quad (90)$$

где  $Q$  — расход в  $\text{м}^3/\text{час}$ ,  $h$  — потеря давления в водомере в м вод. ст.,  $C$  — постоянная величина, которую называют характеристической водомера, может служить для определения потерь в водомере, если для различных расходов известна характеристика  $C$ . При выборе водомера необходимо иметь в виду: диаметр трубопровода в месте установки, его материал, тип соединения (фланцы, резьба и т. д.), положение трубопровода и строительную длину водомера.

## Водомеры „Вентури“

Водомеры „Вентури“ в последние десятилетия завоевывают все большее и большее распространение и благодаря ряду положительных качеств для целей гидромеханизации должны быть рекомендованы в первую очередь. К положительным качествам водомеров „Вентури“, особенно ценным в условиях гидромеханизации, следует прежде всего отнести: 1) незначительную потерю давления в водомере, 2) большую пропускную способность, 3) отсутствие в конструкции водомера ломких или быстро изнашивающихся деталей, 4) надежность действия при высоких давлениях, 5) возможность значительных перегрузок, 6) беспрепятственный пропуск крупных посторонних частей и т. д.

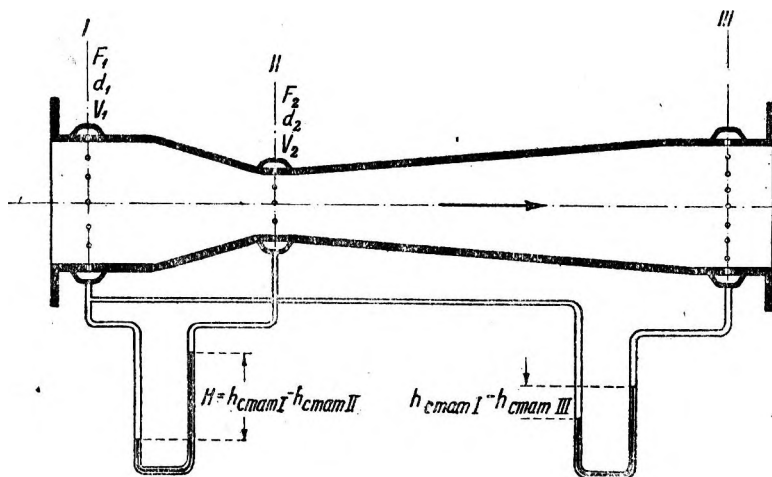


Рис. 74. Водомер „Вентури“.

На рис. 74 представлена схема водомера „Вентури“, поясняющая принцип его действия.

Так как по уравнению Бернулли сумма потенциальной и кинетической энергии установившегося потока идеальной жидкости постоянна, то в горловине водомера будет иметь место уменьшение гидростатического давления за счет возрастания гидродинамического давления.

При увеличении диаметра струи будет иметь место обратное явление.

Разность давлений может быть легко измерена ртутным водомером.

Величина  $H = h_{сман I} - h_{сман II}$  показывает статическое давление, соответствующее некоторой определенной разности скоростей между сечениями I и II. Величина  $H_1 = h_{сман I} - h_{сман III}$  показывает сумму гидравлических потерь в водомере.

Для определения расхода по водомеру „Вентури“ пользуются формулой:

$$Q = kF_2 \sqrt{2gH},$$

где через  $k$  обозначено выражение 
$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{F_2}{F_1}\right)^2}}$$

Здесь  $\mu$  — коэффициент расхода равный  $\frac{Q}{Q_{теор}}$ ;

$F_1$  — площадь сечения водомера до начала конуса;

$F_2$  — площадь сечения горловины в самом узком месте.

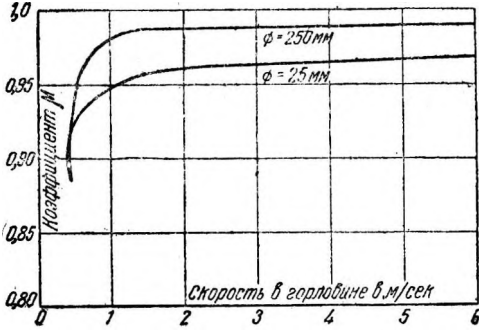


Рис. 75. Кривая  $\mu$  для водомера.

На рис. 75 дано значение  $\mu$  в виде кривых для водомеров „Вентури“ завода „Бони и Рейтер“. Из рассмотрения этих кривых видно, что при малых скоростях  $\mu$  зависит также и от скорости.

Среднее значение коэффициента  $k$  в зависимости от отношения  $\frac{d_2}{d_1}$  показано в виде кривой на рис. 76.

Нормально водомеры „Вентури“ снабжаются автоматическим счетчиком или самопишущим прибором, непосредственно показывающим количество протекшей жидкости.

Для целей гидромеханизации эти приборы не обязательны, так как расход воды колеблется редко и притом всегда с ведома обслуживающего персонала. В условиях гидромеханизации расход обычно определяют путем вычислений или по специальному графику прямо по показаниям дифференциального манометра<sup>1</sup>.

## 5. Насосные станции

Разнообразие природно-топографических и гидрологических условий, для которых приходится решать задачу водоснабжения гидромеханизированных работ, создало большое количество

различных типов насосных станций. Однако все они могут быть разбиты на два основных типа: 1) на стационарные насосные установки и 2) на передвижные насосные установки.

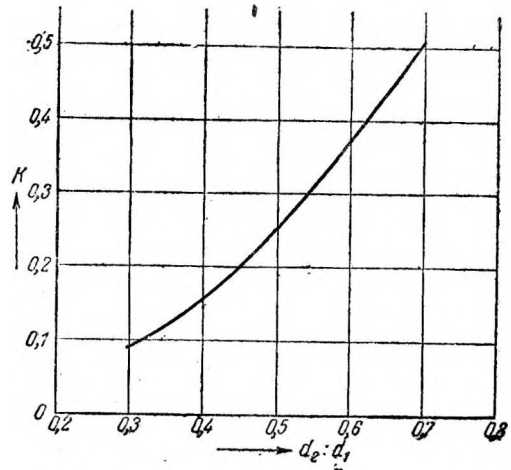


Рис. 76. Кривая  $\frac{d_2}{d_1}$  для водомера „Вентури“.

<sup>1</sup> Подробно см. Ф а л ь к о в с к и й, Водомеры, ГНТИ, 1931 г.

Отличительной особенностью всех насосных станций гидромеханизации является их временный характер, а отсюда и временный характер всех связанных с постройкой станции сооружений.

В обычных насосных станциях стоимость здания станций и водоприемных сооружений превосходит стоимость смонтированного оборудования. В насосных станциях гидромеханизации — наоборот. Стоимость здания обычно не превышает 5—10% от стоимости смонтированного оборудования.

### Стационарные насосные установки

а) Выбор места постройки станции. При выборе места для постройки насосной станции следует руководствоваться следующими соображениями:

1) Источник водоснабжения, на котором строится насосная станция, должен быть достаточен по своему дебиту; в противном случае в него должен быть обеспечен возврат осветленной воды (см. раздел „Производство работ“).

2) Расстояние от насосной станции до места работ должно быть минимальным и трасса водоводов по возможности не должна пересекать дороги, каналы и тому подобные сооружения или естественные препятствия.

3) Место, предназначенное для опускания всасывающих трубопроводов, должно иметь достаточную глубину и по возможности защищено от заиливания.

Подходящее место для всасывающих трубопроводов, в особенности при крупных насосах, далеко не всегда удается подыскать в готовом виде — довольно часто приходится идти на устройство простейших водозаборных сооружений.

4) Горизонт установки насосов целесообразно выбирать наименьший, допустимый по условиям колебания воды в источнике водоснабжения.

5) Местоположение насосной станции должно быть удобным в отношении энергоснабжения.

Правильный выбор места насосной станции имеет большое значение для успеха гидромеханизации. Этот выбор следует производить после детального технико-экономического сравнения нескольких вариантов.

б) Фундаменты насосных агрегатов. Для агрегатов временных насосных станций гидромеханизации могут быть рекомендованы простейшие деревянные фундаменты свайного или ряжевого типа.

Свайные фундаменты широко применялись на гидромеханизации строительства канала Москва — Волга и полностью оправдали себя. Опыт показал, что шестнадцать 20-см свай, забитых ручной бабой на глубину в 2,5—3 м, создают прочную базу для установки крупного центробежного насоса с мотором в 680 квт.

Ряжевые фундаменты под различное оборудование широко применялись на Днепрострое — они несколько дороже свайных

и могут быть рекомендованы в тех случаях, когда невозможно забить сваи, например при скальных грунтах.

Если насосная станция сооружается для работы в течение нескольких лет (3—4 года), то для крупных насосов может оказаться целесообразным устройство каменных или бетонных фундаментов.

в) Здания насосных станций. Здания насосных станций гидромеханизации обычно устраиваются простейшего типа и представляют собой фахверк из тонкомера, обшитый с одной стороны тесом.

Если насосная станция намечается для круглогодичной работы, то обшивка делается двухсторонней; промежутки засыпаются древесными опилками или каким-либо другим дешевым утеплителем.

Стоимость таких зданий (с фундаментами под оборудование) обычно не превосходит 8—10 руб. за 1 м<sup>3</sup> объема.

Здание насосной станции должно удовлетворять условиям нормальной эксплуатации насосов, а именно:

1. Ширина всех проходов должна обеспечить безопасное хождение обслуживающего персонала и позволять свободно производить как частичную, так и полную разборку агрегата.

Указанная выше невысокая стоимость здания делает нецелесообразной постройку тесных помещений, так как это неминуемо поведет к ухудшению эксплуатационных условий при очень небольшой экономии в капитальных затратах.

В табл. 22 приведены приблизительные габариты, площади и объемы насосных станций, оборудованных различным количеством различных насосных агрегатов с высоковольтными моторами. Эти размеры зданий могут быть рекомендованы для временных станций гидромеханизации.

2. Помещение должно быть достаточно светлым и обязательно иметь два выхода.

3. В конструкции здания желательно предусмотреть над оборудованием солидные балки, пригодные для подъема механизмов во время монтажа или ремонта.

4. Крыша и стены насосной станции должны совершенно надежно защищать оборудование от атмосферных осадков.

г) Монтажные схемы стационарных насосных установок. При разработке монтажной схемы насосной станции необходимо стремиться к сокращению количества колен на напорной и в особенности на всасывающей линии.

Все задвижки должны быть установлены в местах, удобных для управления ими, а также для их ремонта. При значительной длине напорной линии или при параллельной работе нескольких насосов в один коллектор целесообразна установка обратных клапанов.

В качестве примера рассмотрим насосную станцию (рис. 77), оборудованную тремя насосами завода „Борец“, производительностью 1 740 м<sup>3</sup>/час каждый при напоре 84 м.

Водозаборное сооружение представляет собой прямоугольный в плане колодец размером 2,5 X 10,5 м при глубине около 2,5 м.

№ п/п	Характеристика насосного агрегата	Число агрегатов на станц.	Размеры здания насосной станции						
			длина в м	ширина в м	высота в м	площадь в м <sup>2</sup>	объем в м <sup>3</sup>	площадь в м <sup>2</sup> на 100 м <sup>3</sup> /час воды	объем в м <sup>3</sup> на 100 м <sup>3</sup> /час воды
1	Насосы завода им. Фрунзе Ø 250 × 300 Q = 500 — 600 м <sup>3</sup> /час H = 40 — 150 м с моторами 3 000—6 000 в								
2	Пуск. ящик ЯЖ-14 . . . . .	2	7,0	6,5	3,40	45,5	155	4,14	14,1
3	То же . . . . .	3	9,5	6,5	3,40	61,7	210	3,75	12,7
4	" . . . . .	4	12,0	6,5	3,40	78,0	265	3,55	12,0
5	" . . . . .	6	17,0	6,5	3,40	110,5	375	3,35	11,3
5	Насосы завода им. Калинина Ø 400 × 400 Q = 1 700 м <sup>3</sup> /час H = 84 м с мотором 6 000 в								
6	Пуск. ящик ЯЖ-14 . . . . .	1	6,5	6,5	3,40	42,25	144	2,50	8,5
7	То же . . . . .	2	10,0	7,0	3,40	70,0	238	2,06	7,0
8	" . . . . .	3	14,0	7,0	3,40	98,0	333	1,92	6,5
8	Насосы завода им. Калинина Ø 500 × 600 Q = 1 700 м <sup>3</sup> /час H = 12 м с мотором 380 в								
	То же . . . . .	1	6,0	4,5	3,40	27,0	92	1,59	5,4
	" . . . . .	2	10,0	4,5	3,40	45,0	153	1,32	4,5
	" . . . . .	3	13,0	7,0	3,40	91,0	310	1,78	6,1

Колодец с водоемом соединен каналом шириной 3 м. Дно колодца защищено каменной наброской, а стенки образованы вертикальными дощатым шпунтом.

В приемный колодец опущены вертикальные всасывающие трубы 1. Напорный коллектор 2 представляет собой 700-мм трубу, в которую под углом в 45° вварены три 400-мм патрубка 3. С патрубками 3 через два прямоугольных отвода 4, задвижку 5 и обратный клапан 6 соединяются напорные патрубки насосов. Для облегчения открытия большой задвижки 5 служат 100-мм задвижки 7, предварительным открытием которых разгружаются основные.

Эвакуация воздуха из насосов производится вакуумнасосом 8. Задвижка 9 служит для выпуска воды из коллектора. Цифрой 10 обозначены пусковые моторные ящики типа ЯЖ-14; цифрой 11 — общий вводный ящик. Пусковые реостаты 12 маяляного типа.

Моторы мощностью 680 квт каждый работают на напряжении 6 000 в.

Для целей гидромеханизации иногда бывает целесообразно иметь возможность переключать насосы с параллельной работы на последовательную или наоборот. Схема, дающая возможность делать такие переключения, показана на рис. 78.

При параллельной работе задвижки 1, 2 и 4 открыты; задвижка 3 закрыта. Для переключения на последовательную ра-



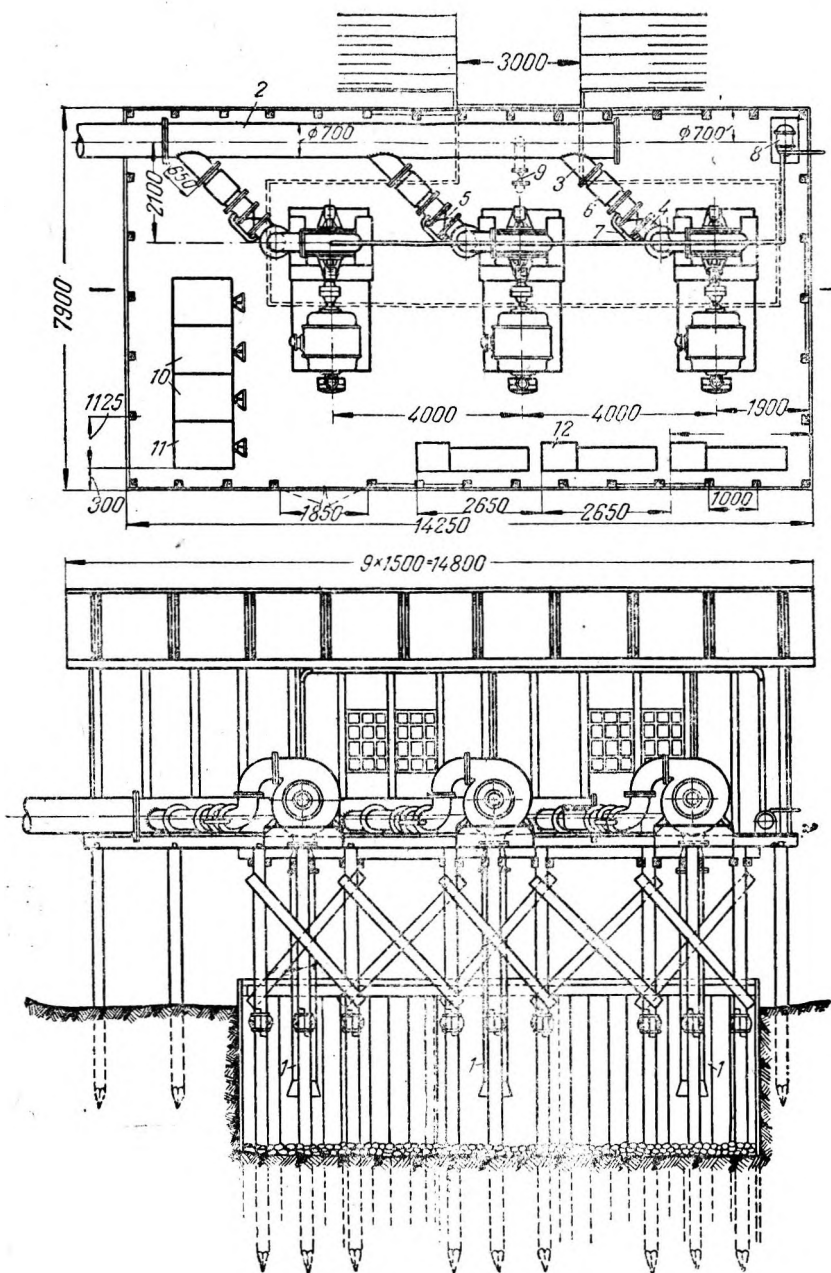


Рис. 77. Насосная станция с насосами завода „Борец“.

боту достаточно закрыть задвижки 1 и 4 и открыть задвижку 3.

Переключение можно делать, не останавливая насоса, в следующем порядке:

- 1) слегка приоткрыть задвижку 3,
- 2) закрыть задвижку 1 и
- 3) одновременно открывать задвижку 3 и закрывать задвижку 4.

Если насосы оборудованы надежными всасывающими клапанами, то задвижки 4 можно не ставить совсем.

Проф. Бурдаковым разработана конструкция двухступенчатого насоса, колеса которого могут переключаться с последовательной работы на параллельную. Переключение не требует остановки насоса, однако насосы этого типа распространения не получили.

### Передвижные насосные станции

Передвижная насосная станция гидромеханизации монтируется обычно на понтоне и является таким образом плавучей станцией.

Плавучие насосные станции применяются в следующих случаях:

- 1) При сильном колебании горизонта воды в источнике водоснабжения;
- 2) при возможности использования одной станции последовательно в нескольких различных точках какого-либо водоема и
- 3) при такой организации работ, когда насосная станция находится непосредственно в размываемой траншее и должна по мере разработки периодически передвигаться вперед.

На хорошевском спрямлении канала Москва — Волга работала плавучая насосная станция с шестью насосами. Три из них имели производительность по  $540 \text{ м}^3/\text{час}$ , развивали напор в 100 м и работали в общий коллектор. Три других имели производительность  $660 \text{ м}^3/\text{час}$  каждый, давали напор в 47 м и имели свой отдельный коллектор.

Всасывающий коллектор был общий на все шесть насосов и представлял собой железную U-образную в плане трубу диаметром 600 мм, уложенную в трюме понтона.

Для заливки насосов применялся вакуумнасос (один на все насосы).

Все насосы работали с электромоторами. Электромоторы — высоковольтные — 3000 в.

Вместе с насосами на понтоне был установлен и трансформатор 6 000/3000 в мощностью 1500 ква.

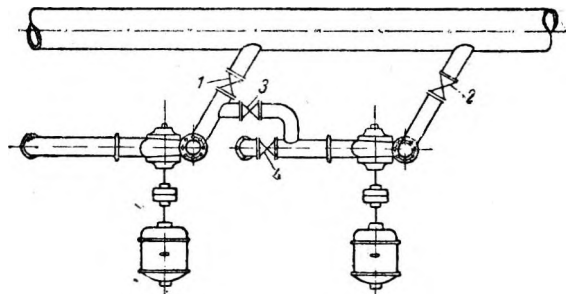


Рис. 78. Схема насосной станции с переключением с параллельной работы на последовательную.

Ток к трансформатору напряжения подводится гибким кабелем марки ГТО-3 X 70.

Плавучие насосные станции в строительной части дороже временных стационарных насосных установок; понтон стоит примерно 50 руб. за 1 м<sup>3</sup>, а стоимость 1 м<sup>3</sup> насосного зала составляет (с учетом стоимости понтона) — около 35 руб. против 8—10 руб. для стационарных установок.

В монтажных схемах передвижных насосных установок нет никаких принципиальных отличий от установок стационарных. Основным требованием к монтажным схемам плавучих станций является максимальная компактность. Для плавучих станций в табл. 22 можно ввести коэффициент  $k = 0,75$ ; однако все габариты станции должны позволять

производить полную разборку и сборку агрегатов.

В тех случаях, когда плавучая станция перемещается в водоеме, глубина которого недостаточна для использования нормальных водозаборных устройств, должны быть изготовлены специальные приемники, предохраняющие насос от проникания в него воздуха и дно водоема — от размыва.

Примером такого приемника может служить приемник, изображенный на рис. 79. Здесь изображен приемник насоса производительностью 1 740 м<sup>3</sup>/час, рассчитанный на работу в водоеме глубиной 0,8 м.

Рис. 79. Всас плавучей насосной станции.

Этот приемник с успехом применялся на передвижных установках гидромеханизации строительства Южной гавани в Москве.

Важным вопросом является соединение плавучей насосной станции с неподвижным трубопроводом. Совершенно очевидно, что это соединение должно быть достаточно гибким, чтобы обеспечить свободу неизбежных колебаний плавучей станции.

В практике гидромеханизации для этой цели обычно применяются резиновые шланги. Для невысоких давлений может быть рекомендовано употребление шаровых шарниров типа, применяемого на плавучих пульповодах землесосных снарядов.

Плавучая станция, работающая на береговой трубопровод, должна быть надежно заякорена, так как ее перемещения в плане неминуемо поведут к расстройству соединения с неподвижным трубопроводом.

## В. ЗЕМЛЕСОСЫ И ЗЕМЛЕСОСНЫЕ УСТАНОВКИ

Принцип действия всех современных землесосов одинаков с принципом действия обычного центробежного насоса, но

в связи с тем, что землесос должен пропускать через себя довольно крупные твердые частицы, конструкция его, естественно, имеет ряд особенностей.

## 1. Краткая историческая справка и общие сведения

Насосы для перекачивания пульпы были применены впервые в порту С.-Назер (Франция) инж. Лаферман в 1859 г.

Первые землесосы были построены по принципу поршневых насосов и применялись для дноуглубительных работ. Сосун был выполнен в виде перевернутой буквы П, спускался наклонно от бортов винтового парохода и при медленном перемещении парохода на якорю вперед, волочась по дну, всасывал смесь воды с грунтом.

Пульпа перекачивалась в трюмы парохода и после наполнения их отвозилась на глубокие участки, отведенные для свалки.

От применения поршневых насосов скоро отказались, и уже в 1864 г. появился во Франции землесосный снаряд, оборудованный центробежным насосом. Снаряд был сконструирован Базеном. Одновременно аналогичный снаряд был построен Вудфордом в Англии.

Оба снаряда предназначались для дноуглубительных работ. Землесос снаряда Базена имел четырехлопастное рабочее колесо и двухсторонний подвод жидкости. Диаметр рабочего колеса был равен 900 мм, а диаметры напорного и всасывающего патрубков—300 мм. Позднее четырехлопастное колесо было заменено двухлопастным.

Такой землесос применялся на строительстве Суэцкого канала.

В 1867 г. Базен впервые применил механический разрыхлитель и построил дноуглубительный землесосный снаряд, дававший до 3 000 м<sup>3</sup> песка в сутки. Грунт укладывался в специальные грунтоотвозные шаланды.

Землесосы быстро начали внедряться главным образом в дноуглубительных работах и уже в 1878 г. Голландия начала серийное изготовление довольно совершенных дноуглубительных снарядов, оборудованных землесосами.

В период 1890—1900 гг. ряд крупных фирм Голландии, Бельгии и Германии выпустили большое количество землесосов и внесли значительное усовершенствование в их конструкцию. Примерно в этот же период землесосы получили широкое распространение в США, причем американские землесосы как по совершенству конструкции, так и по мощности быстро обогнали европейские.

В США землесосы стали применяться не только для дноуглубления, но и для всевозможных земляных и карьерных работ. Начали строить землесосы, способные развивать напоры порядка 4 ат и больше.

В России первые землесосы появились в 1874 г. на р. Неве, а в 1876 г. — на Волге. Это были землесосы Базена, давшие

среднюю часовую производительность около 47 м<sup>3</sup> при средней стоимости около 55 коп. за 1 м<sup>3</sup>.

Число землесосов, работавших на дноуглублении в России, росло довольно быстро, и уже до революции появилось несколько снарядов, изготовленных в основном на русских заводах.

Началом широкого применения землесосов на всевозможных строительных работах в СССР надо считать 1935 г., когда их стало применять строительство канала Волга—Москва.

На механическом заводе этого строительства были впервые в СССР изготовлены специальные землесосы, рассчитанные на напор 35—40 м.

Все ранее изготавливаемые землесосы были предназначены для дноуглубительных работ и развивали напор порядка 10—15 м.

В настоящее время в СССР землесосы изготавливаются рядом заводов, в частности заводом им. Калинина в Москве и Механическим заводом Гулаг в Дмитрове. Последние модели землесосов Дмитровского механического завода по своей конструкции и к. п. д. почти не уступают американским землесосам.

Как уже указывалось выше, все современные землесосы построены на том же принципе, что и центробежные насосы. Поэтому к ним в основном может быть применена теория обычных центробежных насосов, кратко изложенная выше.

Однако следует иметь в виду, что наличие в перекачиваемой землесосами жидкости значительных количеств твердых частиц различной крупности сильно усложняет анализ происходящих в них процессов.

Твердой научно обоснованной методологии расчета землесосов еще нет, однако опыт применения метода расчета центробежных насосов для чистой воды к землесосам показал достаточно удовлетворительные результаты.

## 2. Конструкции землесосов

### а) Землесосы отечественного производства

#### Землесос МВС-800

Землесос этого типа широко применялся на строительстве канала Москва — Волга.

Летом 1936 г. на строительстве канала находилось в эксплуатации до 50 таких землесосов. Ими было перекачено около 10 млн. м<sup>3</sup> грунта.

Землесосы МВС-800 имеют следующую техническую характеристику:

Производительность в м <sup>3</sup> /час.....	800
Полный напор в м .....	35
Максимальное всасывание по вакуумметру в м.....	5
Диаметр всасывающего и напорного патрубков в мм.....	300
Максимальный размер твердых частиц в мм.....	90
Число оборотов в 1 мин.....	720
Потребная мощность в квт.....	250

Габаритные размеры с электромотором:

Длина.....	4500 мм
Ширина.....	1500 „
Высота.....	1500 „

Несмотря на то, что в настоящее время землесос этого типа больше не изготавливается, все же мы считаем целесообразным дать краткое описание его конструкции, так как некоторое количество землесосов МВС находится еще в эксплуатации.

Кроме того конструкция землесоса МВС весьма интересна с точки зрения истории развития землесосостроения в СССР.

Продольный разрез землесоса и вид со стороны всасывающего патрубка представлены на рис. 80 и 80а. На сварной раме из швеллеров (на рис. рама не показана) закрепляются корпус

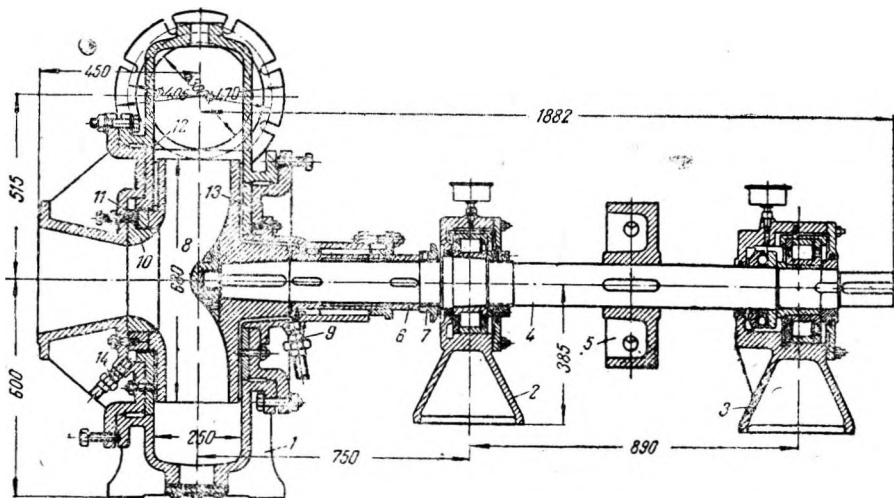


Рис. 80. Землесос МВС-800.

землесоса 1, стойка переднего подшипника 2 и заднего подшипника 3. Вал землесоса 4 вращается на роликоподшипниках, кроме того в задней стойке для восприятия осевых усилий, возникающих при работе землесоса, имеется упорный шарикоподшипник.

На валу между подшипниками насажен специальный шкив 5 в полотно которого имеется ряд отверстий. Этот шкив служит для проворачивания вала вручную помощью ломака.

Ручным проворачиванием перед пуском во избежание аварии проверяют, не забит ли землесос грунтом.

Вал землесоса в сальниковой коробке защищен сменной чугунной рубашкой 6. Рубашка с валом соединена четырьмя шпонками и кроме того помощью гайки 7 прижата к рабочему колесу 8.

Между ступицей рабочего колеса и чулком ставится резиновая прокладка, препятствующая протеканию пульпы под рубашкой.

Для уменьшения износа сальниковой набивки и рубашки вала в сальниковую коробку через штуцер 9 подведена чистая вода под давлением, превышающим давление внутри корпуса землесоса.

Чистая вода, образуя противоток в пространстве между рабочим колесом и сальниковой коробкой, препятствует попаданию частиц грунта в сальниковое устройство.

Рабочее колесо землесоса — закрытого типа, трехлопастное. Минимальная ширина прохода между лопастями — 100 мм; колеса изготавливаются в двух вариантах с диаметрами по лопастям 680 и 600 мм.

Колеса большего диаметра развивают напор до 40 м, а меньшего — до 30 м.

Колеса большего диаметра развивают напор до 40 м, а меньшего — до 30 м.

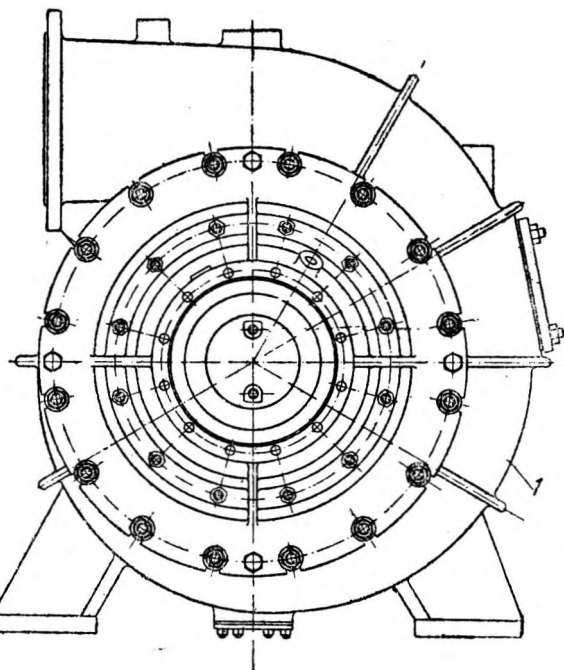


Рис. 80а. Землесос МВС-800.

Материал колес — чугун. В целях уменьшения износа поверхности лопастей покрываются слоем сталинита.

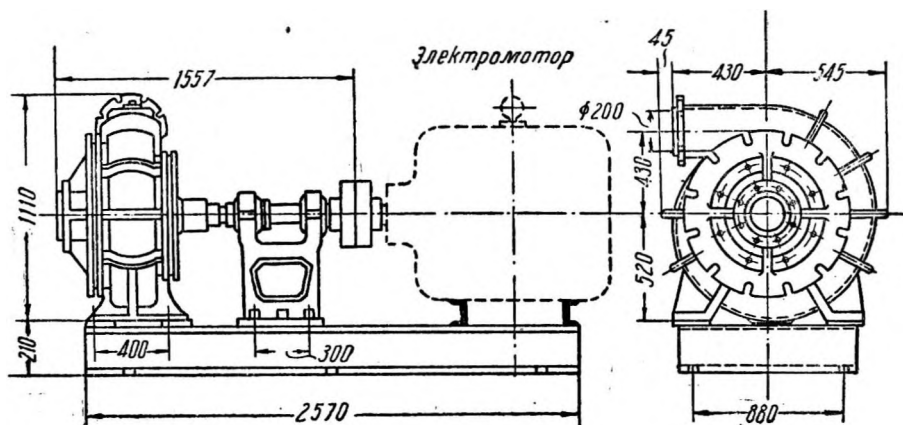


Рис. 81. Землесос Мелитопольского завода.

Для уменьшения зазора между рабочим колесом и всасывающим патрубком в передней крышке имеются горловина 10 и

уплотнительное кольцо 11. Кольцо 11 по мере износа специальными болтами может быть приближено к рабочему колесу.

Передняя и задняя крышки корпуса защищены сменными бронями 12 и 13. В целях уменьшения износа торцевой поверхности рабочего колеса и уплотнительного кольца с горловиной в переднюю крышку через штуцер 14 подведена чистая напорная вода.

Почти аналогичный по конструкции землесос, но с 200-мм патрубками выпускался Мелитопольским заводом Главгормаша. На рис. 81 показаны его габаритные размеры, а в табл. 23 дана его основная характеристика.

Таблица 23

**Технические условия работы землесоса диаметром 200 мм**

<i>H</i> — полный напор в м вод. ст. . . . .	12	14	16	18	20	22	26	30
<i>Q</i> — производительность в л/сек . . . .	70	75	80	85	90	94	102	110
<i>n</i> — число об/мин . . . .	460	500	535	565	595	625	680	730
<i>N</i> — потребная мощность мотора в квт . . . . .	36	45	55	64	75	88	100	125

В результате трехлетней эксплуатации землесоса МВС-800 был выявлен ряд конструктивных дефектов, а именно:

1) Консоль вала (750 мм) при неизбежном дебалансе рабочего колеса оказалась слишком большой и вызывала быстрый износ переднего подшипника, а иногда и поломку вала.

2) Независимое крепление подшипниковых стоек на швеллерной раме не гарантирует нужной точности и также является причиной преждевременного износа подшипников.

3) Крепление рабочего колеса и защитной рубашки на валу недостаточно надежно.

4) Конструкция не дает возможности контролировать зазор между рабочим колесом и уплотнительным кольцом.

5) Неудачно выбрано направление напорного патрубка.

6) Недостаточная пропускная способность рабочего колеса в отношении крупных фракций.

С учетом всех этих недостатков МВС была разработана и в конце 1937 г. испытана новая модель землесоса: ЗГМ-I.

### Землесос ЗГМ-I

На рис. 82 показаны разрез и вид со стороны всасывающего патрубка землесоса марки ЗГМ-I, изготовленного Дмитровским механическим заводом Гулаг.

Рассматривая эту конструкцию как усовершенствование землесоса МВС-800, в описании его мы остановимся только на тех узлах, в которые внесены улучшения.

1) Консоль вала уменьшена с 750 до 500 мм, что достигнуто изменениями, отмеченными ниже в п. 4.



2) Подшипниковые стойки выполнены в виде одной отливки и расточены с одного прохода. Этим достигнута нормальная точность установки подшипников.

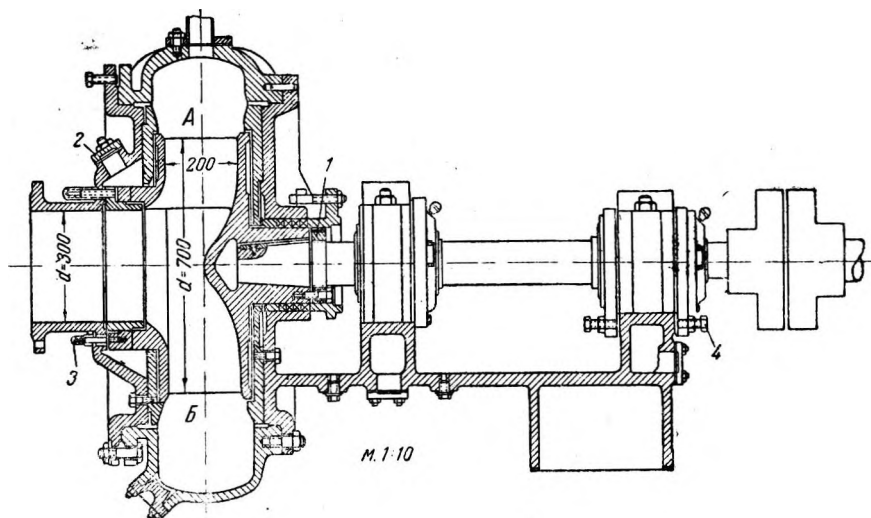


Рис. 82. Землесос ЗГМ-I.

3) Конструкция крепления рабочего колеса на валу изменена совершенно: на вал навинчивается фланец 1, к которому  $3/4$  болтами притягивается рабочее колесо. Такой способ крепления значительно надежнее применявшегося в землесосе МВС-800.

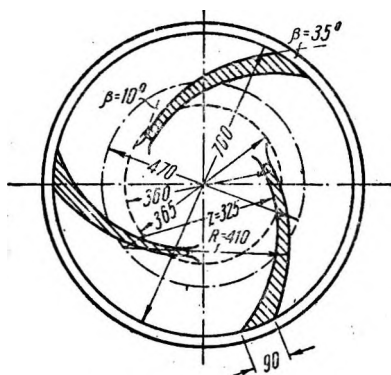


Рис. 83. Рабочее колесо к землесосу ЗГМ-I

4) Защитная рубашка вала как самостоятельная деталь упразднена совсем, ее роль выполняется более надежно цилиндрически обработанной ступицей рабочего колеса.

5) Для контроля зазора между рабочим колесом и уплотнительным кольцом устроен небольшой лаз 2, открыв который, можно заметить зазор обычным щупом.

6) На шпильки, крепящие и регулирующие уплотнительное кольцо, навинчены специальные колпачки 3, назначение которых — препятствовать подосу воздуха через возможные неплотности в резьбе шпилек.

7) Напорный патрубок землесоса ЗГМ-I направлен вертикально вверх, что является безусловно наиболее универсальным решением, так как при помощи одного прямоугольного отвода напорный пульповод может быть направлен в любую сторону.

8) Рабочее колесо ЗГМ-I (рис. 83) рассчитано на пропуск отдельных камней диаметром до 180—200 мм.

9) Брони передней и задней крышек имеют выступы, сглаживающие внезапное расширение при выходе из рабочего колеса в улитку.

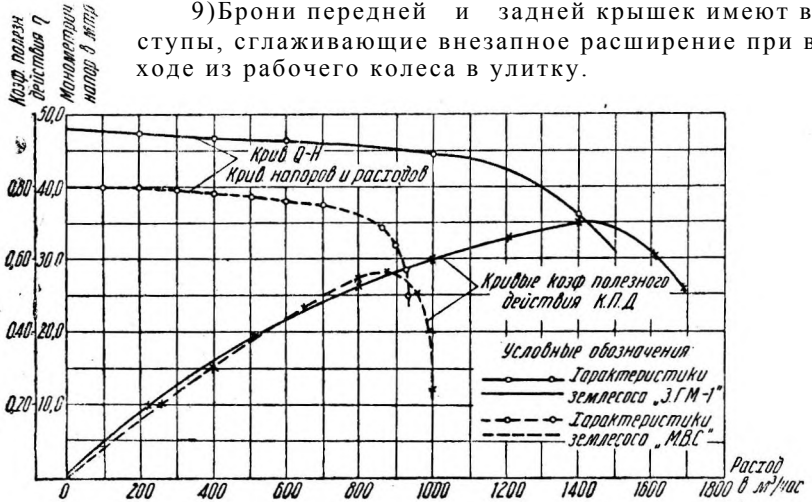


Рис. 84. Характеристики землесосов МВС-800 и ЗГМ-I.

10) При помощи болтов 4 имеется возможность перемещать вал с рабочим колесом на некоторое расстояние в осевом направлении, что весьма важно для правильной регулировки зазоров между рабочим колесом и бронедисками.

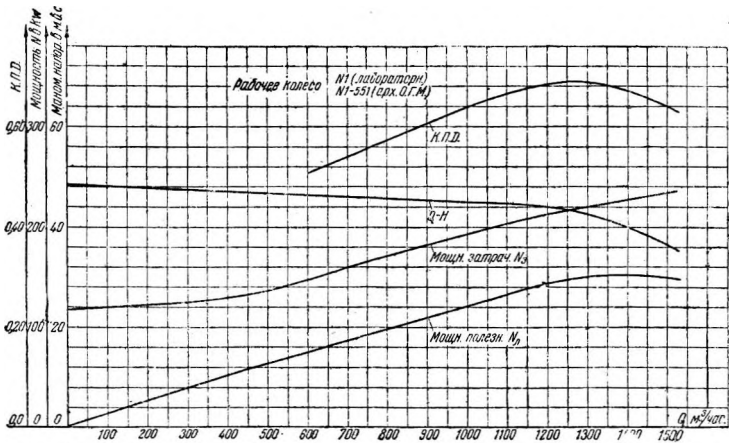


Рис. 85. Характеристика землесоса ЗГМ-I при всасывающей трубе диаметром 300 мм.

11) Подшипниковые стойки имеют ванны для водяного охлаждения.

Лабораторные испытания конструкции ЗГМ-I показали, что помимо несомненных конструктивных преимуществ эти землесосы значительно совершеннее и в гидравлическом отношении.

На рис. 84 представлены характеристики землесоса ЗГМ-I на чистую воду. Для сравнения на том же рисунке пунктиром нанесена характеристика землесоса МВС-800.

К. п. д. землесоса ЗГМ-I достигает 70%. тогда как МВС-800 не давал более 57%.

Производительность землесоса ЗГМ-I при максимальном к. п. д. равна 1400 вместо 900 м<sup>3</sup>/час для землесоса МВС-800.

Напор, развиваемый при максимальном к. п. д., для ЗГМ-I равняется 38 м и для МВС-800 — 33 м.

Остановимся подробнее на некоторых результатах лабораторного испытания землесоса ЗГМ-I.

1) Испытание землесоса на воду. На рис. 85 представлены характеристики для землесоса со всасывающей трубой диаметром 300 мм. Из рассмотрения графиков видно следующее:

а) максимальный манометрический напор  $H_{ман}$  равен 48,5 м;

б) кривая  $Q - H$  на рабочем участке имеет сравнительно крутое падение; рабочий участок размещается в интервале производительностей от 1200 до 1400 м<sup>3</sup>/час;

в) максимальная затрата мощности (на валу землесоса) на рабочем участке кривой не превышает 230 квт;

г) кривая к. п. д. на рабочем участке полого, максимальный к. п. д. равен 0,69.

На рис. 86 представлены характеристики для землесоса со всасывающей трубой диаметром 450 мм, которые показывают, что:

Рис. 86. Характеристика землесоса ЗГМ-I при всасывающей трубе диаметром 450 мм.

а) рабочий участок кривой  $Q - H$  располагается в интервале расходов от 1400—1600 м<sup>3</sup>/час;

б) расход мощности возрастает до 260 квт;

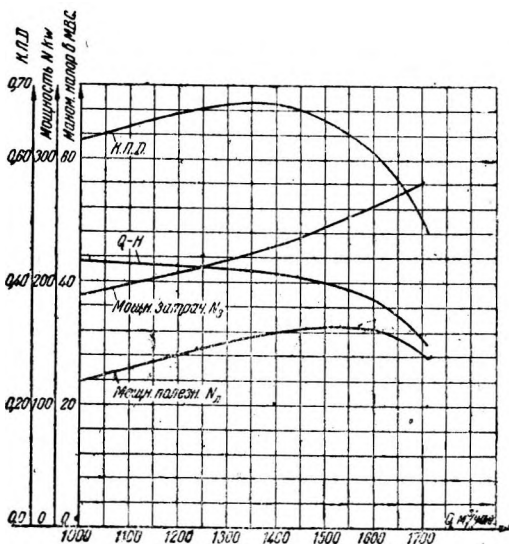
в) максимальное значение к. п. д. остается без изменения.

2) Испытание землесоса на пульпу. Землесос был испытан при трех различных консистенциях пульпы, а именно:  $K_1=1:2 \div 1:2,5$ ;  $K_2=1:2,5 \div 1:3,0$  и  $K_3=1:3 \div 1:4$ .

(Здесь консистенции выражены отношением веса грунта к весу воды).

На рис. 87 показаны результаты испытаний при всасывающей трубе диаметром 300 мм. Из характеристик видно, что:

а) Максимальные напоры, развиваемые землесосом при кон-



систенциях  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$ , соответственно равны 55,5, 53,5, и 52,0 м вод. столба, т. е. снижаются с уменьшением удельного веса пульпы.

Как показывают данные графиков, максимальный напор, развиваемый землесосом на пульпе, связан с максимальным напором, развиваемым землесосом на чистой воде, зависимостью:

$$H_{\text{пульпы}}^{\text{max}} = 0,92 H_{\text{воды}}^{\text{max}} \gamma_n, \quad (92)$$

где 0,92 — коэффициент, учитывающий дополнительные потери для пульпы по сравнению с чистой водой,  
 $\gamma_n$  — удельный вес пульпы.

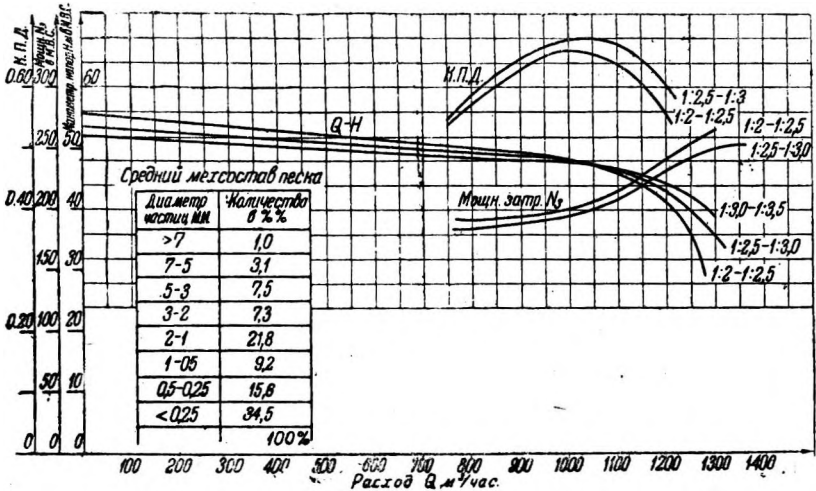


Рис. 87. Характеристика землесоса 3ГМ-I на пульпу.

б) Увеличение консистенции вызывает снижение производительности землесоса, причем интервалу напоров от 40 до 45 м в пределах рассматриваемых консистенций достаточно точно отвечает уравнение:

$$Q_2 = Q_1 \frac{\gamma_1}{\gamma_2}, \quad (93)$$

где  $Q_2$  и  $Q_1$  — расходы пульпы, а  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  — соответствующие им объемные веса.

в) Увеличение консистенции снижает к. п. д. землесоса, однако снижение это весьма незначительно. К. п. д. для пульпы  $K = 1:3,25$  всего на 1,5—2% ниже к. п. д. для чистой воды. На рис. 88 показаны кривые зависимости вакуумметрических высот всасывания от величины расхода при различных открытиях всасывающей трубы  $D = 450$  мм. Рассмотрение этих кривых показывает, что производительность землесоса зависит от степени дросселирования. Явления кавитации в землесосе замечены при вакууме около 7,6 м вод. ст. Специальное изучение

эксплуатационных качеств землесосов ЗГМ-I в производственных условиях позволяет рекомендовать их как лучшие из изготовляемых в настоящее время в СССР (осень 1938 г.).

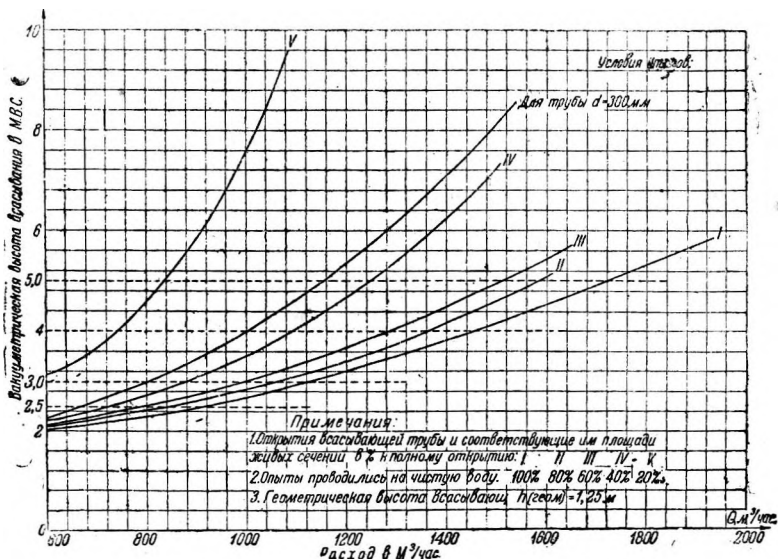


Рис. 88. Кривые зависимости вакуумметрической высоты всасывания от расхода пульпы.

### Землесос 3040

Землесос 3040 запроектирован строительством Куйбышевского гидроузла по типу землесоса ЗГМ-I. Его производительность в 3 раза больше, чем землесоса ЗГМ-I. На рис. 89 представлена теоретическая характеристика землесоса 3040. Конструктивной особенностью этого землесоса является то, что в нем подшипники качения могут быть заменены баббитовыми без каких-либо переделок опорных стоек. Землесосы 3040 в настоящее время находятся в производстве на заводе им. Калинина в Москве.

#### Основные данные землесоса 3040 20-НЗ

Производительность на пульпу.....	3 000 м³/час
Рабочий напор .....	40 м
Мощность мотора.....	750 квт
Число оборотов в 1 мин.....	480
Диаметр патрубков.....	500 мм

Землесос завода им. Калинина в Москве 12-НЗ модель 1936 г.

По заказу строительства канала Москва — Волга на заводе им. Калинина в Москве весной 1936 г. был изготовлен землесос с 300-мм всасывающим и напорным патрубками. На рис. 90 представлен продольный разрез такого землесоса. Рассматривает-

мая конструкция в основном повторяет конструкцию МВС-800, поэтому мы остановимся только на тех узлах, в которые внесены существенные изменения.

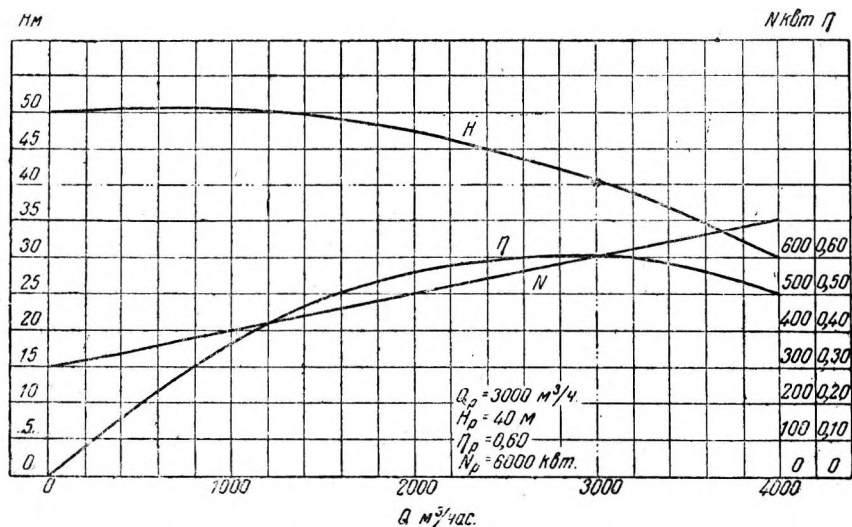


Рис. 89. Характеристика землесоса 3040.

Основное отличие состоит в том, что роликовые подшипники заменены подшипниками скользящего трения. Один сильно

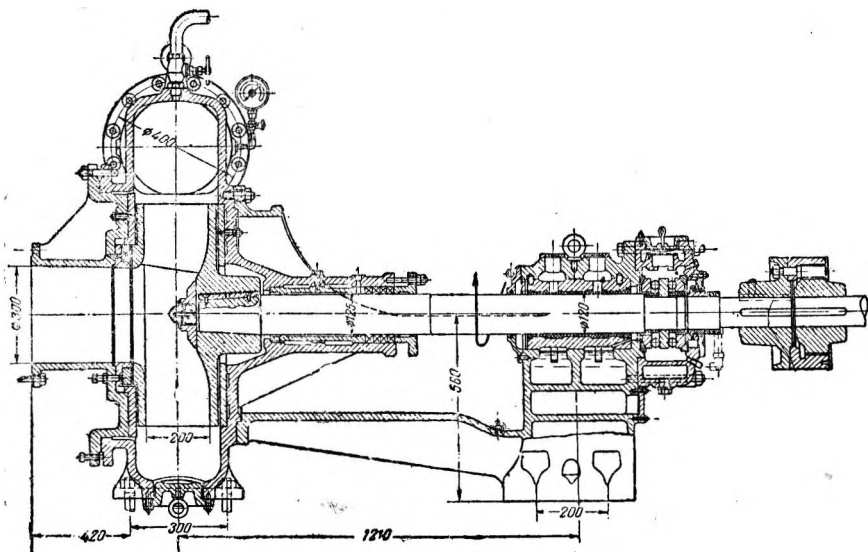


Рис. 90. Землесос завода им. Калинина 12-НЗ, модель 1936 г.

развитый подшипник с двумя смазочными кольцами и баббитовыми вкладышами отстоит от оси рабочего колеса на 1210 мм,

второй перенесен непосредственно к самому рабочему колесу и представляет собой бронзовую втулку, расположенную перед сальниковым устройством. Вал землесоса никаких защитных рубашек не имеет. Для защиты переднего подшипника от пульпы, так же как и в выше рассмотренных конструкциях, подведена чистая напорная вода. Кроме того ту же роль должна выполнять смазка переднего подшипника, подаваемая автоматически под давлением, специальной гидравлической пресс-масленкой. Землесос хорошо выполнен и имеет хорошую характеристику. Безусловным недостатком конструкции является подшипник, вынесенный вперед сальника. Достаточно прекращения подачи чистой напорной воды на 2—3 мин., как подшипник может выйти из строя; прекращение же подачи воды на такой короткий промежуток времени в условиях гидромеханизации конечно возможно. Землесосы этого типа в настоящее время больше не изготавливаются.

### Землесос завода им. Калинина в Москве 12-НЗб

В начале 1938 г. заводом им. Калинина разработана новая конструкция землесоса, в которой устранены недостатки модели 1936 г. и приняты основные принципы конструкции ЗГМ-1. Этот

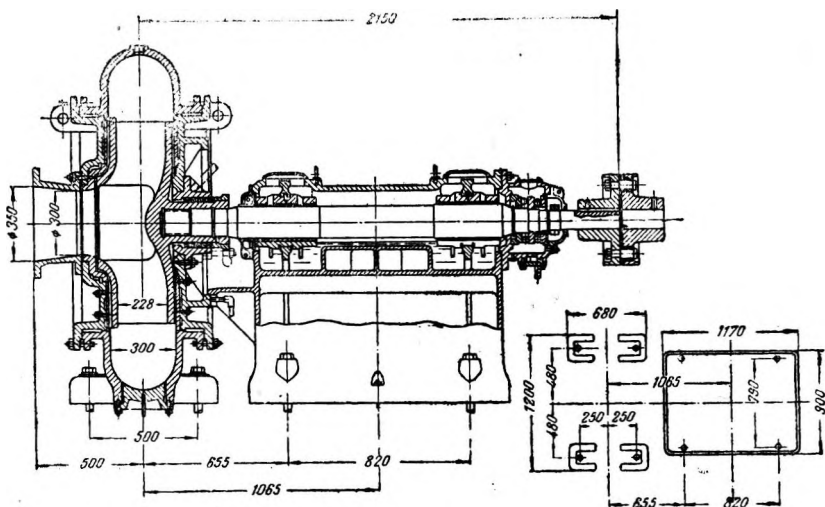


Рис. 91. Землесос 12-НЗб.

землесос пущен в серийное производство в 1938 г. На рис. 91 представлен продольный разрез землесоса 12-НЗб. Остановимся на его конструктивных особенностях:

1) подшипники, как и в модели 1936 г., скользящего трения; подшипник перед сальником устранен вовсе; уменьшение консоли достигается перенесением сальникового устройства на ступицу рабочего колеса, которая одновременно служит и защитной рубашкой вала;

2) рабочее колесо на валу крепится на резьбе; дополнительное крепление дает фланец, к которому на болтах притягивается рабочее колесо;

3) число оборотов снижено до 490 вместо 730 за счет увеличения диаметра рабочего колеса и некоторого снижения напора;

4) диаметр всасывающего патрубка увеличен до 350 мм;

5) уплотнительное кольцо не может поджиматься к рабочему колесу, что несомненно следует отнести к недостатку конструкции;

6) напорный патрубок направлен горизонтально и расположен в нижней части корпуса с левой стороны, если смотреть от приводной муфты.

Заводом разработана аналогичная конструкция 10-НЗ с всасывающим патрубком 300 мм и напорным 250 мм.

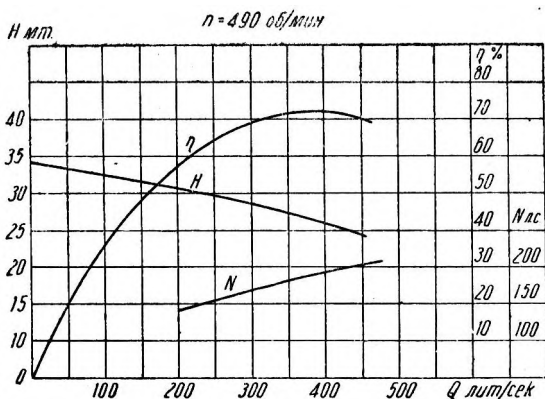


Рис. 92. Характеристика землесоса 12-НЗ-б.

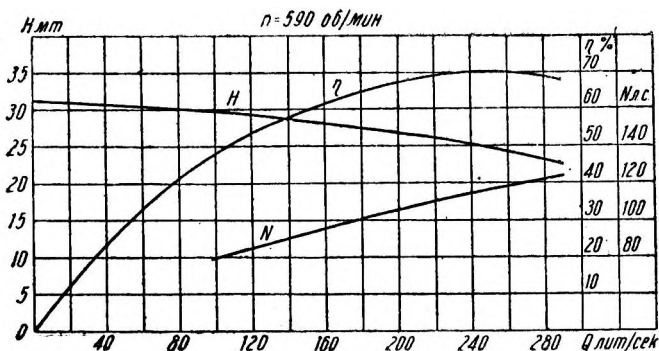


Рис. 93. Характеристика землесоса 10-НЗ.

На рис. 92 и 93 представлены предварительные характеристики для чистой воды (по данным завода) землесосов 12-НЗб и 10-НЗ.

### Песковые насосы завода им. Калинина в Москве

В некоторых случаях гидромеханизации земляных работ могут быть использованы песковые насосы, изготавливаемые в Москве на заводе им. Калинина по типу Песковых насосов Вильфля.

Сальник в насосе отсутствует; он заменен специальным центробежным затвором.



Центробежный затвор состоит из вращающегося колеса, имеющего радиальные лопасти (как у рабочих колес открытого типа), и неподвижной втулки, снабженной канавками. Твердые частицы, проникающие к месту прохода вала в корпус по упомянутым канавкам, попадают к центробежному затвору и отбрасываются им назад. Проникание пульпы к валу во время остановок предупреждается специальным клапаном, действующим от центробежного регулятора. Регулятор закрывает отверстия около вала при остановках насоса.

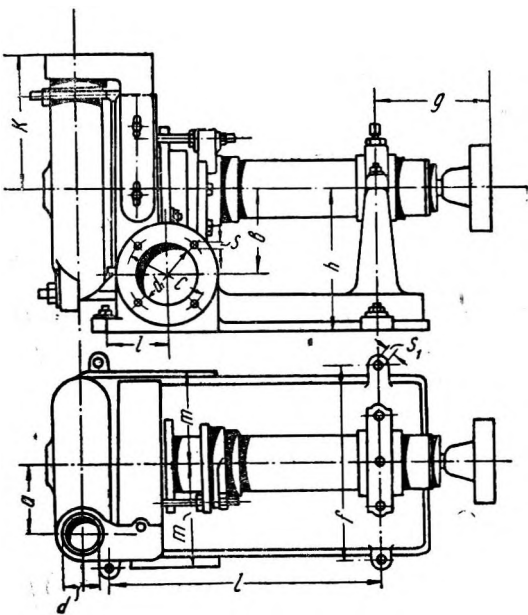


Рис. 94. Схема насоса Вильфлея.

Описанное устройство настолько надежно защищает вал от пульпы, что позволяет применять шарикоподшипники. Рабочее колесо насоса — закрытого типа. Вся конструкция в целом отлично продумана с точки зрения смены износившихся деталей. Специальный кронштейн на корпусе насоса позволяет производить смену корпуса и рабочего колеса

одному-двум рабочим даже в самых крупных насосах. Отсутствие внасосесальника не позволяет работать насосу с вакуумом во всасывающем трубопроводе, поэтому насос работает всегда под заливом.

На рис. 94 показана схема насоса, в табл. 24 даны габаритные размеры.

Таблица 24

**Габаритные размеры землесоса типа Вильфлея**

<i>d</i>	<i>d</i> <sub>2</sub>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>i</i>	<i>f</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>s</i> <sub>1</sub>	Вес в кг полный	Кожух	Рабочее колесо	Бок. об- клатка
50	100	160	185	165	120	65	440	275	670	195	348,5	295	12	25	350	66	25	15
75	125	205	190	200	150	60	500	320	625	225	261,5	325	16	25	570	75	38	24
100	152	245	250	225	185	95	590	370	645	280	413	390	16	25	750	150	68	40
150	200	310	305	270	215	100	685	425	875	325	370	480	16	28	1256	330	108	60
200	250	340	350	332	260	110	576	515	1135	380	325	560	19	28	1620	510	145	80

№ п/п	Диаметр патрубков в мм		Диаметр рабочего колеса в мм	Средняя производительность в л/мин			
	напорный	приемный		при содержании твердых частиц			
				5%	25%	50%	65%
1	75	125	235	945	850	720	660
2	100	150	415	1 890	1 700	1 325	1 135
3	150	200	465	3 785	3 220	2 650	2 270
4	200	250	515	8 300	6 800	6 250	5 660

**б) Землесосы зарубежных марок**

Землесосы фирмы „Бюсайрус Эри“

На рис. 95 показан разрез, а на рис. 96 — внешний вид сверхмощного землесоса, изготовленного фирмой „Бюсайрус Эри“

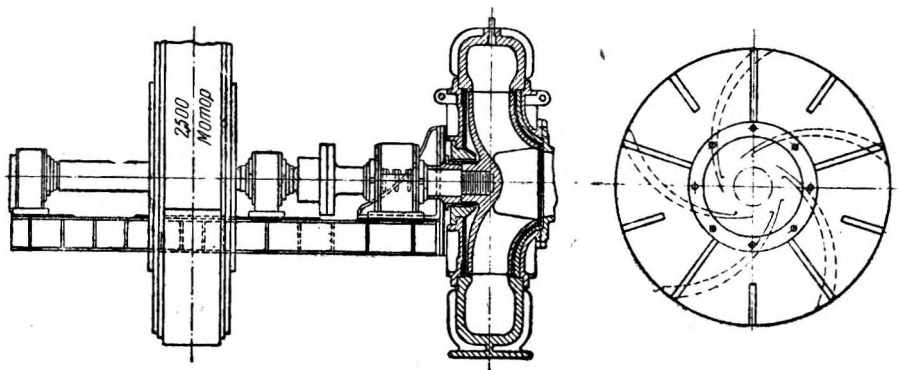


Рис. 95. Разрез землесоса „Эри“.

для строительства плотины „Форт-Пек“ в Америке.

Всасывающий и напорный патрубки землесоса имеют диаметр 700 мм.

Рабочее колесо — закрытого типа с пятью лопатками. Диаметр рабочего колеса —

1950 мм, ширина канала — 400 мм. Колесо способно пропускать через себя камни до 350 мм в диаметре.

На валу рабочее колесо крепится путем навинчивания. В це-

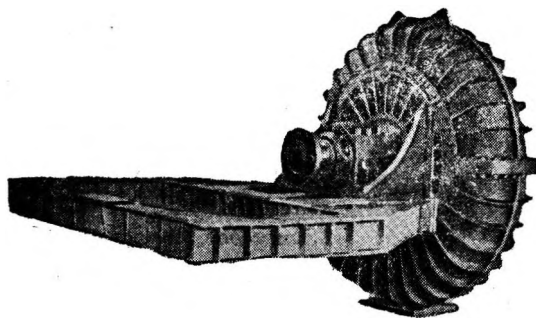


Рис. 96. Внешний вид землесоса „Эри“.

лях сокращения консоли вала сальниковое устройство расположено на ступице рабочего колеса.

Вал землесоса соединен с валом электромотора жесткой дисковой муфтой и работает в таком виде, как одно целое, на трех опорах. Диаметр вала — 350 мм.

Корпус землесоса выполнен разъемным по диаметру.

Всасывающая крышка защищена броневым диском. Кольцо, уплотняющее зазор между рабочим колесом и всасывающей крышкой, футеровано резиной.

Электромотор — трехфазного тока 2500 л. с., с переменным числом оборотов (от 150 до 250 об/мин). Напряжение в сети — 6 600 в.

Землесос развивает напор около 70 при производительности около 8 000 м<sup>3</sup> пульпы в час. Эти землесосы хорошо рекомендовали себя на упомянутом строительстве.

На сооружении величайшего в мире Куйбышевского гидроузла намечено применение еще более мощных землесосов такого же типа.

### Землесосы фирмы „Моррис“

Фирмой „Моррис“ выпущено огромное количество различных моделей землесосов; мы остановимся на некоторых из них. На рис. 97 представлен разрез землесоса, предназначенного

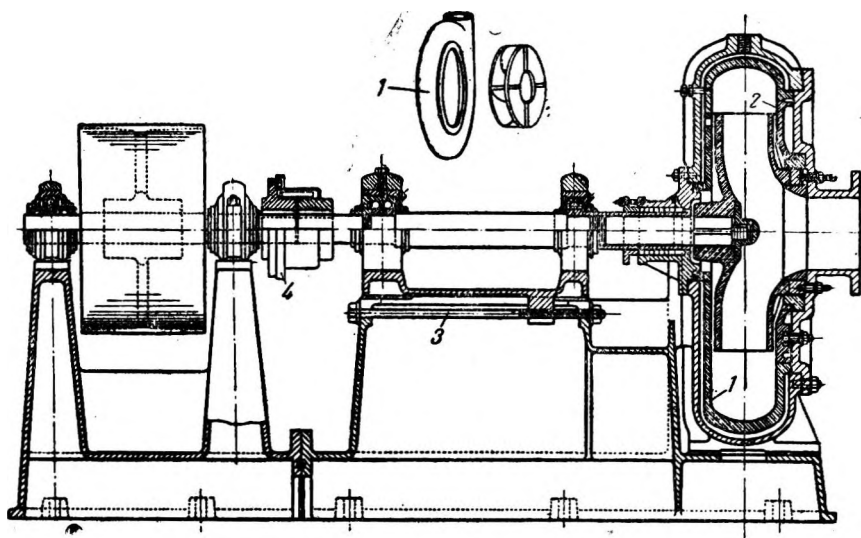


Рис. 97. Землесос „Моррис“ со сплошной футеровкой.

для перекачки грунта высокой абразивности. К особенностям конструкции следует отнести бронировку корпуса. Броня 1 почти полностью повторяет корпус, выполняется из марганцовистой стали и после износа может быть быстро заменена новой. Передняя крышка землесоса защищена специальной броней 2. Второй особенностью конструкции является способ центрирования рабочего колеса в корпусе. Для этой цели служит

винт 3. Вращением винта в ту или другую сторону подшипники с валом и рабочим колесом могут перемещаться вдоль оси вала. На рис. 97 землесос изображен с приставкой для привода ремнем. В случае надобности эта приставка может быть отброшена и землесос помощью эластичной муфты 4 может быть соединен с электромотором или каким-либо другим двигателем.

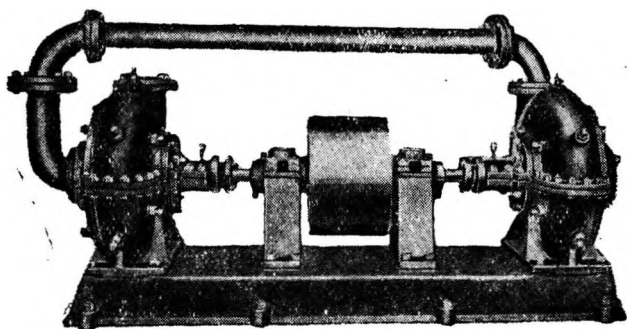


Рис. 98. Землесос „Морис“, последовательно спаренный.

На рис. 98 представлена интересная конструкция из двух 6-дюймовых землесосов. Для получения большого напора два землесоса соединены последовательно в один агрегат, так что всасывающие патрубки смотрят в разные стороны. Такое агрегирование целесообразно с точки зрения разгрузки осевого давления, но имеет тот недостаток, что вследствие необходимости применения трех колен по  $90^\circ$  здесь имеются лишние гидравлические потери. Способ соединения,

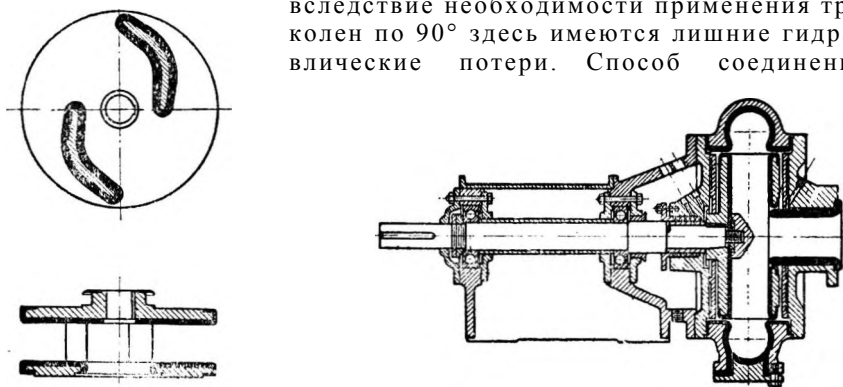


Рис. 99. Землесос фирмы „Интернационал“.

изображенный на рис. 98, может быть поэтому рекомендован только для малых моделей.

### Землесосы фирмы „Интернационал“

Оригинальность конструкции заключается в применении резины для защиты от износа частей, соприкасающихся с пульпой. На рис. 99 представлены разрез землесоса и его рабочее колесо. Жирные черные линии показывают резиновые обкладки, кото-

рые после износа могут быть заменены новыми. Рабочее колесо имеет всего две лопатки, благодаря чему достигается возможность пропускать через землесос крупные фракции размером до 0,8 от диаметра всасывающей трубы, т. е. 120 мм. Землесос — консольного типа, выброс напорного патрубка может быть повернут в любом направлении, что очень удобно при монтаже. Корпус землесоса концентрический. Сальник от пульпы защищается чистой водой, подаваемой под давлением. Вал в месте сальника защищен сменной рубашкой.

### Землесосы фирмы „Аш“

Землесосы аналогичной конструкции (с резиновой бронировкой) изготовляет английская фирма „Аш“. На рис. 100 представлен разрез землесоса.

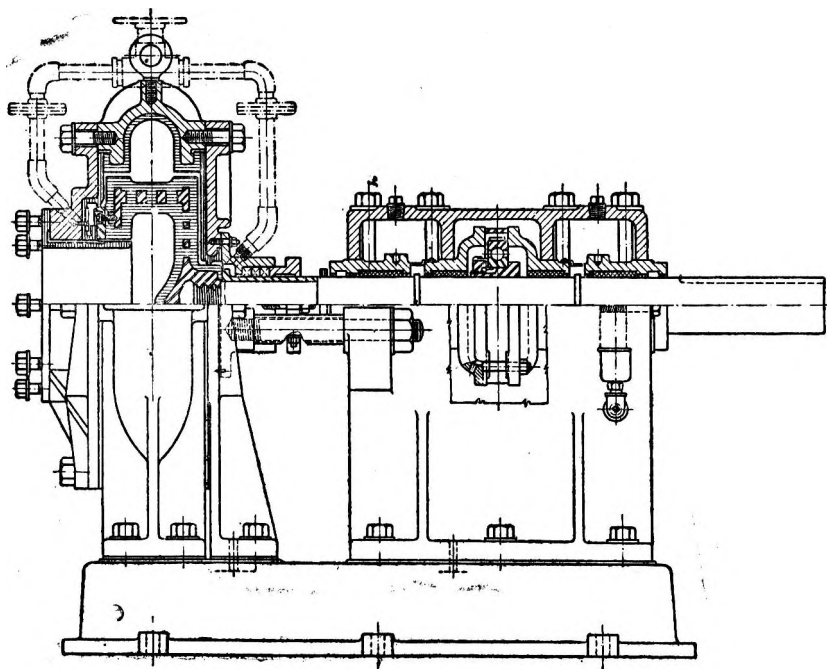


Рис. 100. Землесос „Аш“.

К особенностям конструкции следует отнести то, что как на всасывающей стороне, так и у сальникового устройства промывочная вода используется как уплотнитель подвижных сопряжений между резиной и металлом.

Кроме того вода, подводимая со стороны всасывающего патрубка, уменьшает осевое давление.

Вся резиновая футеровка может быть свободно вынута из корпуса при разборке. Исключение составляет рабочее колесо. Оно выполнено из резины, в которой находятся стальные лопасти, диски и ступица.

В отличие от всех прочих конструкций промывочная вода в землесосах „Аш“ в основной своей части внутрь землесоса не попадает, а специальной трубкой выводится наружу. Эксплуатационных данных о землесосах с резиновой футеровкой автор не имеет. Следует думать, что резиновая броня будет служить хорошо, так как резина хорошо сопротивляется износу. Экспериментальными мастерскими Главрезины в 1938 г. проведены успешные опыты по оклейке плоских металлических поверхностей резиной. В настоящее время в лаборатории гидромеханизации Куйбышевского гидроузла испытывается импортный землесос фирмы „Аш“.

## в) Некоторые общие замечания о конструкциях землесосов

### Общая компоновка землесосов

Все современные землесосы решаются в виде простых одноступенчатых центробежных насосов с односторонним всасыванием. Имеются отдельные попытки проектирования и постройки землесосов с двухсторонним всасыванием, к таким например принадлежат землесосы волжских снарядов № 7 и 8, построенные в 1900 г. заводами „Коккериль“ в Бельгии (см. схему на рис. 101).

Преимущество двухстороннего ввода заключается в отсутствии осевых усилий; отсутствие осевых усилий однако не компенсирует усложнение конструкции и снижение к. п. д. По этой причине землесосы с двухсторонним всасыванием не получили и, очевидно, не получат распространения. Валы землесосов располагаются, как правило, горизонтально, хотя для некоторых специальных целей (обогащительные фабрики и т. п.) изготавливаются иногда землесосы и с вертикальным валом.

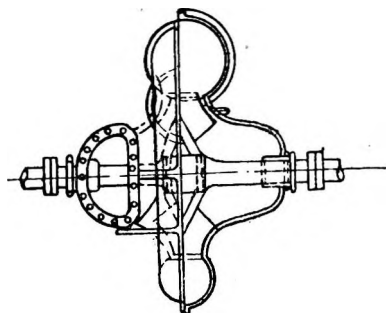


Рис. 101. Землесос с двухсторонним всасыванием.

### Корпуса

Корпуса землесосов чаще всего изготавливаются улиткообразными, но ряд фирм предпочитает корпуса концентрические или с весьма небольшим эксцентриситетом. Для землесосов, предназначенных для пульпы, содержащих крупные фракции, следует признать более правильной формой концентрическую или близкую к ней, тем более, что специальное сравнительное обследование землесосов с концентрическими и улиткообразными корпусами не выявило никаких преимуществ последних.

Напорному патрубку придается различное направление в зависимости от общей схемы компоновки того снаряда, для которого предназначается землесос.

Если землесос универсального назначения, т. е. предназначается для монтажа в самых разнообразных условиях, то удоб-

нее всего иметь вертикальный напорный патрубок, так как в этом случае одно прямоугольное колено дает возможность придать напорному трубопроводу любое направление в плане. В целях удобства монтажа корпуса крупных моделей землесосов изготавливаются иногда разъемными по диаметру. Материалом для корпусов служат сталь литая, сталь листовая или чугун. Иногда выбирают специальные стали — с повышенным сопротивлением износу. При применении для корпусов листовой стали корпус по конструктивным соображениям делается прямоугольным, что несколько снижает к. п. д. Лучшим материалом для корпусов землесоса является литая сталь.

Корпус землесоса должен обязательно иметь лаз для прочистки, а также для быстрой проверки состояния рабочего колеса. Стенки корпуса делаются различной толщины; торцевая сторона, как подверженная большому износу, отливается более толстой.

### Рабочие колеса

В конструктивном отношении рабочие колеса могут быть разбиты на три типа: открытые, полузакрытые и закрытые. Рис. 102 может служить примером открытого колеса. В конструкции лопасти рабочего колеса открыты с обеих сторон. С гидравлической точки зрения открытый тип колеса наименее рационален. Такие колеса распространены на старых низконапорных землесосах дноуглубительных снарядов.

Полузакрытые колеса имеют со стороны, противоположной всасыванию, диск, равный по диаметру лопастям. Со стороны всасывания этот тип рабочих колес совершенно открыт. Полузакрытые колеса встречаются редко, этот тип

является переходным от 1-го к 3-му. Закрытые колеса рис. 103 самые совершенные с точки зрения теории центробежных насосов и наиболее распространены в современных землесосах. Число лопастей в современных землесосах колеблется от 2 до 7. Чаще всего встречаются рабочие колеса с тремя-пятью лопастями. В рабочих колесах землесосов количество лопастей ограничивается соображениями пропуска крупных фракций. В хороших конструкциях современных землесосов проходное сечение рабочего колеса достигает 0,80—0,85 от диаметра всасывающего патрубка. На наружных поверхностях дисков закрытых рабочих колес часто делают небольшие выступы, повторяющие лопасти колеса или направленные по радиусам.

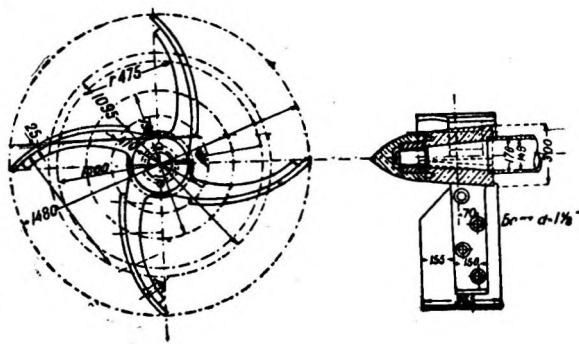


Рис. 102. Открытое рабочее колесо.

является переходным от 1-го к 3-му. Закрытые колеса рис. 103 самые совершенные с точки зрения теории центробежных насосов и наиболее распространены в современных землесосах.

Число лопастей в современных землесосах колеблется от 2 до 7. Чаще всего встречаются рабочие колеса с тремя-пятью лопастями. В рабочих колесах землесосов количество лопастей ограничивается соображениями пропуска крупных фракций. В хороших конструкциях современных землесосов проходное сечение рабочего колеса достигает 0,80—0,85 от диаметра всасывающего патрубка. На наружных поверхностях дисков закрытых рабочих колес часто делают небольшие выступы, повторяющие лопасти колеса или направленные по радиусам.

Выступы эти хорошо видны на рис. 95. Они предназначены для отжима пульпы из пространства между рабочим колесом и крышкой землесоса. Открытые и полузакрытые колеса выполняются обычно с кованой или литой из стали ступицей. Лопастей делаются из листовой стали и приклепываются к спицам, составляющим одно целое со ступицей. Закрытые колеса, как правило, выполняются литыми из стали углеродистой или специальной, реже — из чугуна.

### Крепление рабочего колеса на валу

В современных землесосах получили распространение три способа крепления рабочего колеса, а именно:

1) Ступица рабочего колеса имеет сквозное, на конус расточенное отверстие; на конус обрабатывается и конец вала. Вращательный момент передается одной или двумя шпонками. Крепление колеса осуществляется специальной гайкой. Этот способ имеет наибольшее распространение, его можно видеть на рис. 80.

2) Ступица рабочего колеса имеет несквозное на конус расточенное отверстие, также обработан конец вала. Крепление колеса осуществляется фланцем и несколькими болтами. Эта конструкция показана на рис. 82.

3) Ступица рабочего колеса имеет несквозное нарезанное отверстие, а также обрабатывается конец вала. Примером такой конструкции может служить рис. 91.

Сравнивая перечисленные способы крепления, можно сделать следующие выводы.

Первый способ может быть рекомендован только для малых моделей землесосов (до диаметра 200 мм). Для средних, а тем более крупных моделей крепление по способу первому недостаточно надежно. Второй способ великолепно оправдал себя на землесосе ЗГМ-1 и по нашему мнению является вполне надежным решением задачи как для средних, так и самых крупных машин.

Третий способ безусловно надежен. Он например применялся в описанном выше сверхмощном землесосе „Эри“ и принят для землесосов заводом им. Калинина. Следует заметить, что смена рабочего колеса при третьем способе крепления может потребовать больше времени, чем в первых двух. Свинчивание рабочего колеса будет сопряжено с большими трудно-

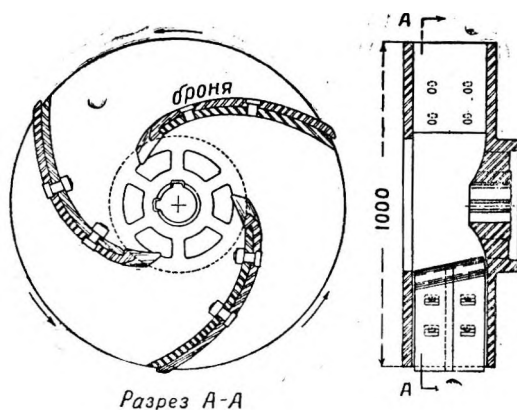


Рис. 103. Закрытое рабочее колесо.



стями. Узел крепления рабочего колеса землесоса является одним из ответственных узлов; от правильного решения его зависит работоспособность землесоса в целом.

### Сальниковое устройство

Сальниковое устройство землесосов находится в непрерывном контакте с пульпой. Контакт с пульпой ведет к быстрому износу трущихся частей. Поэтому основным требованием к конструкции сальника землесоса является требование создания надежной защиты трущихся поверхностей от попадания в него пульпы. Почти во всех современных землесосах защита сальника от пульпы достигается промывкой чистой водой. Идея промывки заключается в создании противотока чистой воды.

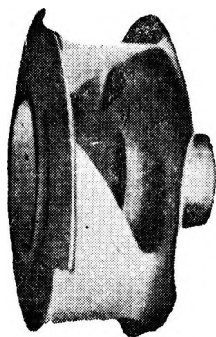


Рис. 104. Изношенное рабочее колесо.

При правильной конструкции и при достаточном напоре промывка дает полное решение этого вопроса. У некоторых землесосов (см. выше „Песковые насосы“) сальниковое устройство заменяется специальным гидравлическим затвором. Такие землесосы получили очень малое распространение, так как они могут работать только под заливом. После некоторого периода работы балансировка рабочего колеса землесоса вследствие неравномерного износа (рис. 104) нарушается. По этой причине на вал землесоса действуют дополнительные изгибающие моменты, пропорциональные длине консоли, т. е. расстоянию от центра переднего подшипника до оси рабочего колеса. Поэтому конструкция сальника должна быть по возможности компактной, так как ее размерами определяется в основном величина консоли вала землесоса. В некоторых землесосах, например в землесосе завода им. Калинина, модель 1936 г., передний подшипник находится между сальниковым устройством и рабочим колесом, но эта конструкция плохо себя зарекомендовала.

Узел сальника очень удачно решен в землесосе ЗГМ-I (рис. 82). В землесосе МВС-800, имеющем те же основные размеры, консоль вала равняется 750 мм, т. е. на 50% больше, чем у землесоса ЗГМ-I, имеющего консоль всего 500 мм. Идея переноса сальникового устройства на ступицу рабочего колеса, благодаря которой явилась возможность сократить консоль вала, широко применяется теперь в ряде конструкций землесосов и, по-видимому, является наиболее удачным решением.

### Трансмиссия землесоса

Землесосы изготавливаются или на подшипниках скольжения, или на подшипниках качения. В малых и средних моделях, делающих от 600 до 1 000 об/мин, предпочтение следует отдать конструкциям, в которых применены подшипники качения.

В качестве опорного подшипника в этих землесосах применяются чаще всего шариковые опорные подшипники.

В крупных землесосах (выше 450 мм), делающих 500 об/мин и ниже, хорошо работают баббитовые подшипники. В качестве упорных подшипников в крупных землесосах применяются специальные пяты конструкции Митшеля или другие аналогичные.

### Защита деталей землесоса от износа

Некоторые грунты имеют способность исключительно быстро истирать детали землесосов, находящиеся в соприкосновении с пульпой. Нередки случаи, когда после работы в течение 40—50 час. требуется смена основных деталей землесоса. На рис. 104 показано, в какой вид пришло рабочее колесо землесоса МВС-800 после непрерывной работы в течение 100 час., что соответствует пропуску  $10000 \div 12\ 000$  м<sup>3</sup> грунта. Анализ простоев землесосов различных конструкций показывает, что основной процент простоев падает на смену или ремонт износившихся деталей; этот вопрос поэтому является одним из координальнейших вопросов землесосостроения. Все мероприятия, направленные к сокращению простоев землесоса из-за износа его деталей, могут быть разбиты на четыре группы:

1) максимальное упрощение конструкции землесосов в целях облегчения их разборки и сборки;

2) изготовление деталей землесосов из специальных материалов повышенной прочности на истирание;

3) защита изнашивающихся деталей легко сменяемой броней из какого-либо специального материала повышенной прочности на истирание;

4) защита некоторых деталей промывкой чистой водой.

Первую группу мероприятий можно в большей или меньшей степени видеть во всех без исключения конструкциях землесосов. Примером тщательно продуманной с этой точки зрения конструкции может служить описанный выше Песковой насос системы Вильфлея.

Для средних, а тем более крупных моделей землесосов ускорение разборки и сборки достигается применением подъемных и других специальных приспособлений.

В современном землесосостроении широко практикуется изготовление некоторых деталей землесосов, например колес, корпусов и т. д., из специальных материалов повышенной прочности на износ. Вопрос применения специальных материалов является прежде всего вопросом экономическим. Иногда может оказаться дешевле и выгоднее сменить десяток рабочих колес из чугуна, чем одно-два из специальной стали.

Бронирование деталей землесоса плитками из марганцовистой стали особенно широкое распространение получило на землесосах дноуглубительных снарядов и несколько менее на средних и крупных землесосах других назначений. Так например, бронирование передней и задней крышек можно видеть во всех описанных выше конструкциях. На рис. 28 показан распростра-

ненный способ бронирования лопаток рабочего колеса. Вал в месте сальника защищается от износа специальной сменной рубашкой. Бронирование резиной широкого распространения пока не получило и находится еще в стадии экспериментальной проверки, но есть все основания полагать, что резина займет почетное место среди материалов, применяемых для бронирования деталей землесосов.

На строительстве канала Москва — Волга для защиты корпусов и рабочих колес землесосов от истирания на истираемые поверхности наплавлялся сталинит. При чугуне это мероприятие особого эффекта не давало, при стальных деталях результаты получались хорошие.

Водяная промывка, как это уже указывалось выше, применяется для защиты сальника, брони передней крышки и уплотнительного кольца.

Выводы. Хороший землесос должен иметь простую конструкцию, позволяющую производить быструю разработку и сборку: все детали (подверженные износу), если это оправдывается экономическими расчетами, должны быть выполнены из марганцовистой или какой-либо другой специальной стали с повышенным сопротивлением истиранию. Материал изнашивающихся деталей должен допускать восстановительный ремонт путем электросварки. Чугун может допускаться в качестве материала для изнашивающихся деталей землесосов только в виде исключения, и для работы на грунтах невысокой абразивности.

Бронирование безусловно должно применяться для крышек землесосов; в других местах броня неминуемо снижает к. п. д. землесоса. Резиновая бронировка, являющаяся в этом отношении исключением, не вышла полностью из стадии экспериментов. Водяная промывка сальника и передней брони делается во всех хороших землесосах.

### **3. Землесосные станции**

Землесосы в гидромеханизации применяются или для непосредственного всасывания грунта из-под воды, или для перекачивания пульпы, получаемой в результате работы мониторов. Установки первого рода называют землесосными снарядами, земснарядами или иногда просто землесосами.

#### **а) Стационарные землесосные установки**

На рис. 105 показан схематический план землесосной станции с двумя землесосами. Приводимая схема может рассматриваться как типовая.

Собственно всасывающий трубопровод соединяется с всасывающим патрубком землесоса при помощи сальникового шарнира (см. ниже). В мелких моделях землесосов (менее 200 мм) сальниковый шарнир с успехом может быть заменен резиновым шлангом. Заметим, что применение шлангов на больших диаметрах не оправдало себя из-за недостаточно высокого качества шлангов.

Напорные линии сведены в общий коллектор. Каждый землесос имеет свой обратный клапан, автоматически изолирующий землесос от линии в случае его остановки. Патрубки напорного коллектора сварены под острыми углами в целях уменьшения гидравлических потерь.

Чистая вода для промывки сальникового устройства и зарядки землесоса подается от специального насоса или же забирается 100-мм трубами из мониторинной линии.

Подвод воды к землесосу обычно выполняют 25-мм резиновые высоконапорные шланги, так как жесткое соединение

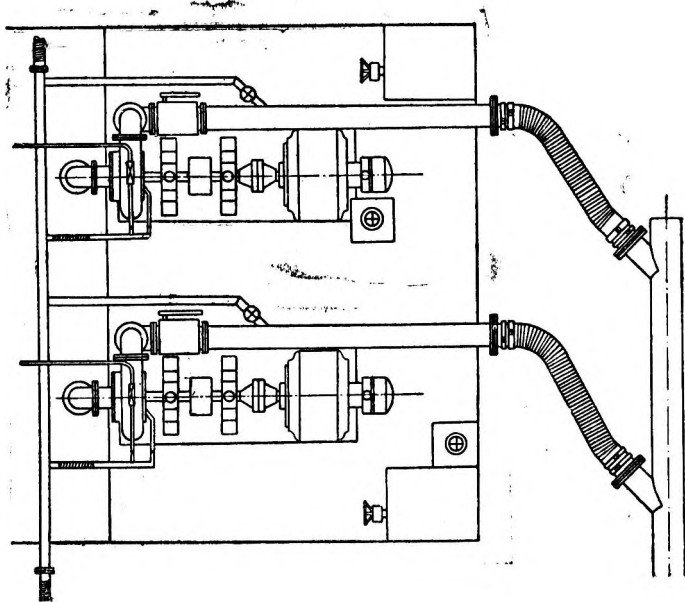


Рис. 105. Схема землесосной станции.

вследствие вибрации быстро расстраивается. Зарядка землесоса делается обычно при помощи эжектора, причем один эжектор может обслуживать два и больше землесоса.

В землесосных станциях целесообразно предусматривать возможность подачи чистой воды под давлением в напорный пульповод за обратными клапанами для возможности промывки пульповода. Кроме того при наполненном пульповоде гораздо легче произвести зарядку землесоса.

В описанную монтажную схему в зависимости от местных условий могут быть внесены те или иные изменения. Так например, если землесосы работают под заливом, то на всасывающей линии необходимо иметь задвижку, надобность в эжекторе отпадает и т. д.

Все, что было сказано о строительной части насосных станций, может быть полностью распространено и на землесосные станции. При устройстве фундаментов следует иметь в виду, что вследствие неравномерного износа рабочего колеса, попа-

дания воздуха в землесос и тому подобных обстоятельств могут иметь место довольно значительные вибрации. Поэтому фундамент под землесос должен быть достаточно массивным и прочным.

При агрегировании землесосов с 6-квт электромоторами площади и кубатуры зданий временных землесосных станций могут задаваться по табл. 26.

Таблица 26

Землесосы $Q = 400 \text{ м}^3/\text{час}$			Землесосы $Q = 1000 \text{ м}^3/\text{час}$		
количество землесосов в станции	площадь землесосной станции в $\text{м}^2$	строительный объем землесосной станции в $\text{м}^3$	количество землесосов в станции	площадь землесосной станции в $\text{м}^2$	строительный объем землесосной станции в $\text{м}^3$
1	30	110	1	35	125
2	54	185	2	62	215
3	75	260	3	85	300
4	90	315	4	105	370

Параллельная работа землесосов аналогична такой же работе насосов. Однако следует иметь в виду, что пульповод будет находиться в оптимальных условиях только при некоторой определенной скорости, которая, естественно, зависит от числа работающих землесосов.

Если сравнить землесосную станцию с несколькими параллельно работающими землесосами со станцией такой же производительности, но оборудованной меньшим количеством более мощных землесосов, то можно отметить, что первая станция:

- 1) требует более многочисленного обслуживающего персонала;
- 2) дает более высокий удельный расход электроэнергии;
- 3) требует большей площади;
- 4) неустойчиво работает на напорах, близких к максимальном; отдельные землесосы начинают „сбрасывать“; если не следить за своевременной сменой износившихся деталей и регулировкой уплотнительных колец, то даже при средних напорах работа может сделаться неустойчивой;
- 5) пуск станции требует большего времени.

Следовательно вторая станция более целесообразна.

Довольно часто землесосы приходится включать последовательно. Известны установки (строительство плотины „Форт-Пек“ в Америке) с пятью последовательно включенными землесосами. Последовательная работа землесосов также аналогична последовательной работе центробежных насосов для чистой воды. Устойчивая работа при последовательном включении достигается легче, чем при параллельном. Если последовательно включенные землесосы расположены в разных зданиях, то должна быть обеспечена надежная сигнализация или, и даже

лучше, автоматическая блокировка. Запуск цепочки последовательно включенных станций следует производить на чистой воде или на пульпе низкой консистенции.

## б) Передвижные землесосные станции

Как указано ниже (в главе о производстве работ), стационарной землесосной установкой редко удастся рационально решить задачу, чаще всего применяются передвижные землесосные станции.

Получили распространение следующие три типа передвижных станций: 1) станции, передвигаемые на колесах, 2) станции, передвигаемые на катках, и 3) станции, передвигаемые на плаву.

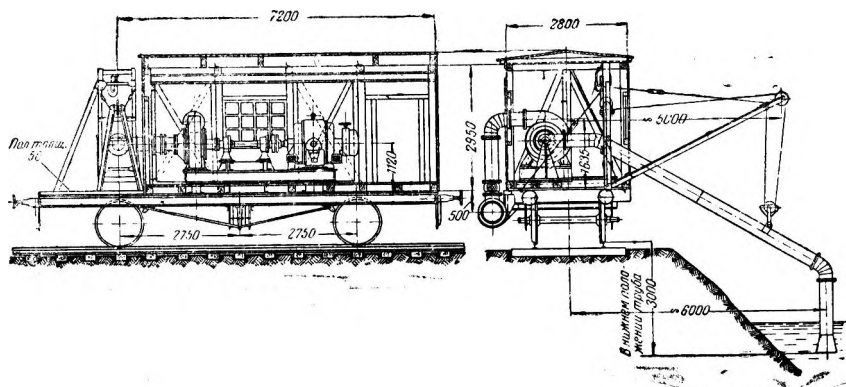


Рис. 106. Землесосная станция на железнодорожной платформе.

На рис. 106 изображена землесосная станция, смонтированная на нормальной железнодорожной платформе.

Фундаментная рама землесоса крепится к поперечным швеллерам, которые в свою очередь прикреплены к основным швеллерам рамы платформы. Всасывающий трубопровод соединен с землесосом сальниковым шарниром и помощью стрелы и ручной лебедки может быть поднят или опущен.

Шатер станции — каркасный, с односторонней обшивкой. К потолку над землесосом подвешена балка № 20, к которой может крепиться таль для производства монтажных и ремонтных работ.

На напорной линии землесоса установлена задвижка, но она может быть заменена на обратный клапан.

Подвод напряжения к станции осуществляется гибким кабелем марки ГТО.

Станции этого типа большого распространения не получили и вряд ли получат, потому что передвижка их требует укладки путей, что в забое, насыщенном водой, может оказаться невозможным или потребует больших, не оправдывающих себя работ.

Станция, передвигаемая на катках, изображена на рис. 107.

Для того чтобы предохранить станцию от затопления в случае внезапного подъема воды в забое, станция смонтирована

на плашкоуте. Нормально станция передвигается на катках так, как это показано на рисунке, в случае же подъема воды станция благополучно всплывает.

Монтажная схема станции, представленная на рис. 107, не имеет никаких особенностей.

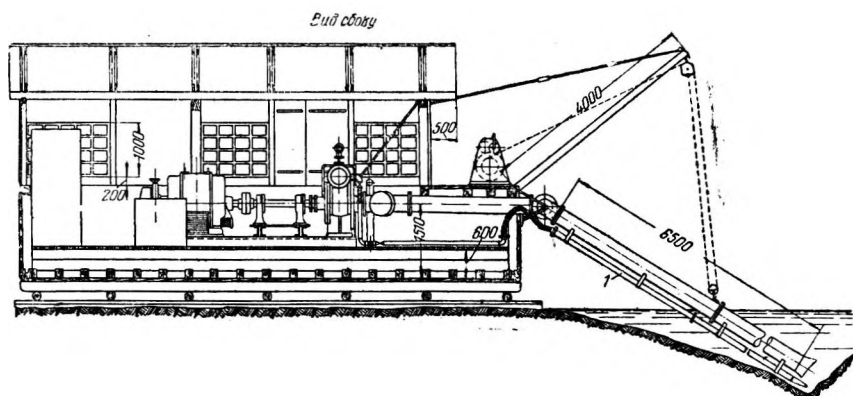


Рис. 107. Землесосная станция на катках.

Эта же станция может быть использована и при передвижении на плаву, следует только несколько увеличить ее размеры в плане, чтобы уменьшить глубину осадки.

Цифрой 1 на рис. 107 обозначено подмывное устройство, представляющее собой насадку диаметром 30 мм, к которой подводится чистая вода под давлением 4—5 ат. Назначение подмывного устройства — способствовать заглублению всасывающего трубопровода и препятствовать его замылу. Подмывное устройство включается периодически, по мере надобности.

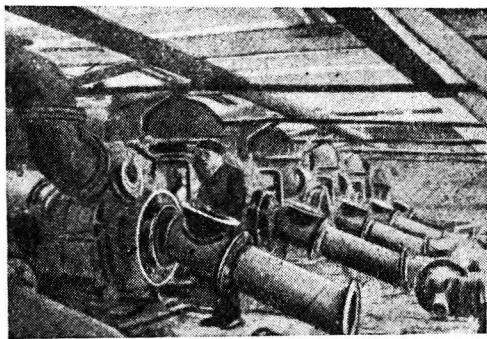


Рис. 108. Шестиземлесосный снаряд.

Землесосные станции на плашкоутах строятся иногда с двумя или тремя землесосами. На Хорошевском участке строительства канала Москва—Волга был построен и в 1936 г. работал плашкоут с шестью землесосами.

Внутренний вид плашкоута в период монтажа показан на рис. 108. Опыт эксплуатации плавучих землесосных станций показал, что строить плашкоуты с числом землесосов более трех нецелесообразно. Шестиземлесосный плашкоут в эксплуатации себя не оправдал.

Лучше других зарекомендовали себя мониторно-землесосные снаряды, т. е. плашкоуты, на которых помимо землесосов был

смонтирован также насос для чистой воды, питающий монитора. Организация работы таким снарядам подробно описана ниже в главе III.

На рис. 109 представлены план и продольный разрез монитроно-землесосного снаряда.

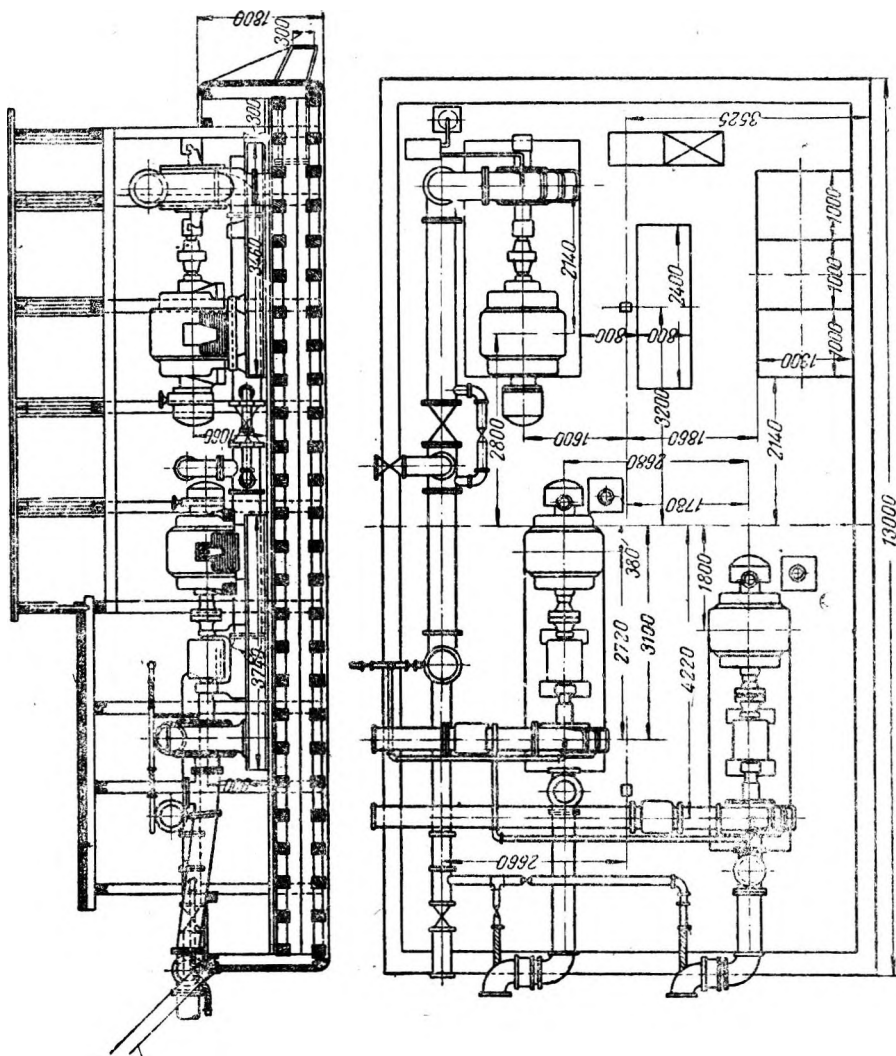


Рис. 109. Монитроно-землесосный снаряд.

В кормовой части расположен насос для чистой воды, в носовой— два землесоса. Монтажная схема не имеет никаких особенностей и понятна из рис. 109. Зарядка насоса чистой воды осуществляется вакуумнасосом, зарядка землесосов — при помощи эжектора.



Плавающие землесосные станции такого типа с успехом работали на строительствах канала Москва—Волга и Южной гавани. В настоящее время такие снаряды широко применяются на Волгострое и ряде других сооружений.

#### 4. Вспомогательное оборудование землесосных станций

Сальниковый шарнир всасывающего трубопровода

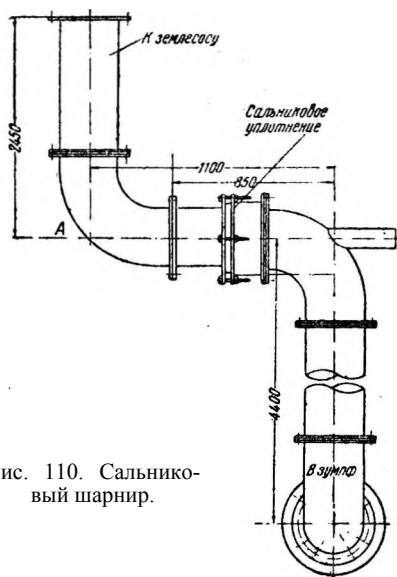
Почти на всех землесосных установках необходимо во время работы иметь возможность изменять глубину погружения всасывающего трубопровода в зумпф или даже довольно часто полностью поднимать всасывающий трубопровод из зумпфа (например для прочистки).

Поэтому приходится всасывающую трубу соединять с землесосом гибким шлангом или каким-либо шарнирным соединением.

На стройках СССР получило распространение и хорошо зарекомендовало себя сальниковое устройство, показанное на рис. 110.

Сальниковый шарнир представляет собой комбинацию из двух прямоугольных колен, одно из которых соединяется с землесосом, а второе — со всасывающим патрубком, опущенным в зумпф. Сальниковое устройство позволяет поворачивать одно колено относительно другого вокруг оси *A—A*, чем достигаются подъем и опускание всасывающего трубопровода.

Рис. 110. Сальниковый шарнир.



#### Обратный клапан

Устройство обратного клапана, применяемого на землесосных установках, показано на рис. 111.

Корпус клапана делается обычно сварным из 8—10-мм железа. Заслонка клапана *1* мертво связана с валом *2* и вместе с ним может поворачиваться на угол около  $90^\circ$ . Одним концом вал выходит через сальниковое устройство наружу и несет на себе рукоятку *3*, служащую для управления заслонкой клапана.

Для возможности осмотра и ремонта клапана верхняя крышка *4* делается съемной на болтах. Плотность закрытия клапана достигается резиновой прокладкой *5*. Описанный клапан

пан предназначен для землесоса с диаметром напорного патрубку 500 мм и имеет следующие основные размеры:

Диаметр патрубков 500 мм.

Расстояние между фланцами 1 000 мм.

Вес 45—50 кг.

### Эжекторы

Как уже указывалось, для удаления воздуха из землесоса удобнее всего применять водяной эжектор.

Принцип действия эжектора тот же, что и гидроэлеватора, поэтому мы здесь ограничимся описанием только конструкции эжектора.

На рис. 112 представлен разрез эжектора диаметром 25 мм конструкции отдела гидромеханизации Управления строительства Куйбышевского гидроузла.

Вода подводится к патрубку 1 и с силой вылетает из насадки 2. Патрубок 3 соединяется с корпусом землесоса.

Такой эжектор при давлении на насадке в 4—5 ат способен зарядить 1000-кубовый землесос с исправной всасывающей линией в течение 2—2,5 мин.

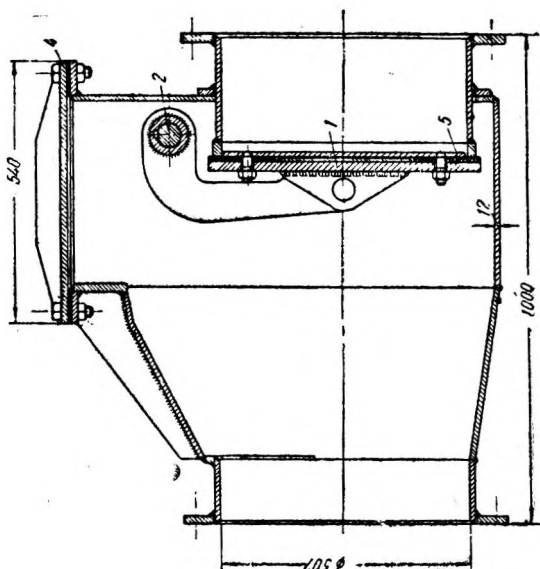
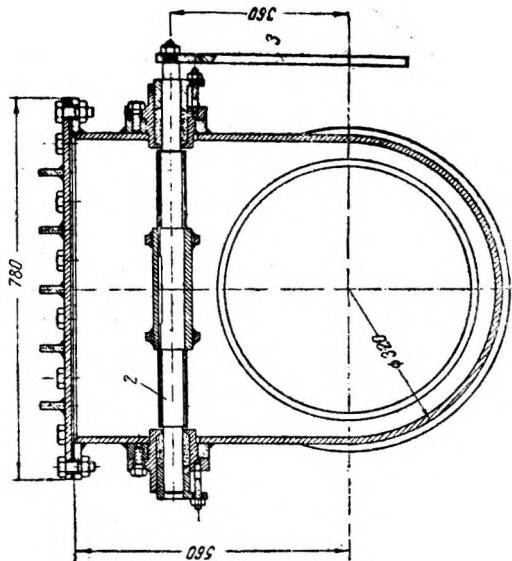


Рис. 111. Обратный клапан.

### 5. Плавающие землесосные снаряды

Плавающие землесосные снаряды, как уже указывалось выше, появились в 60-х годах прошлого столетия во Франции на дноуглубительных работах.

Внедрение землесосных снарядов шло очень интенсивно, особенно в Америке, которая в самом начале машинного землерепания стала на путь использования землесосов.

В России первые землесосные снаряды появились в конце 60-х годов прошлого века, однако прививались они очень медленно, несмотря на их экономическое преимущество перед многочерпаковыми снарядами.

Землесосный снаряд был признан основным типом снаряда для дноуглубительных работ только в 1929- 1930 гг.

В 1937 г. в СССР появляются землесосные плавучие снаряды, специально предназначенные для строительных работ.

Для дноуглубительных снарядов характерным являются их автономность, приспособленность к работе на фарватере и дальней буксировки (а иногда даже и самоходность).

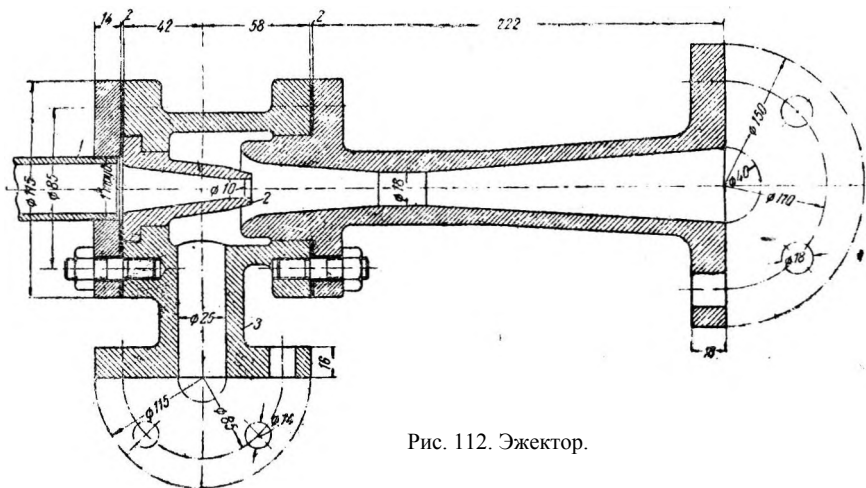


Рис. 112. Эжектор.

Снаряды для строительных целей, как правило, электрические — без собственных силовых установок — во время работы обязательно связаны с берегом. Строительные землесосные снаряды обычно не приспособлены для буксировки на большие расстояния, корпуса их имеют прямоугольные обводы.

Землесосные дноуглубительные снаряды подробно описаны в специальной литературе (см. список в конце книги), поэтому здесь мы остановимся только на специальных землесосных снарядах, питающихся береговой электроэнергией, — на снарядах, применяемых в строительном деле.

Механическая часть землесосного снаряда состоит из: 1) землесоса, 2) приемного устройства, 3) напорного пульповода, 4) пильонажного устройства и 5) корпуса снаряда.

Землесосы описаны выше в специальном разделе, поэтому начнем описание землесосных снарядов с приемного устройства.

### Приемные устройства землесосных снарядов

Приемное, или, что то же, всасывающее, устройство играет решающую роль в работе всего землесосного снаряда в целом,

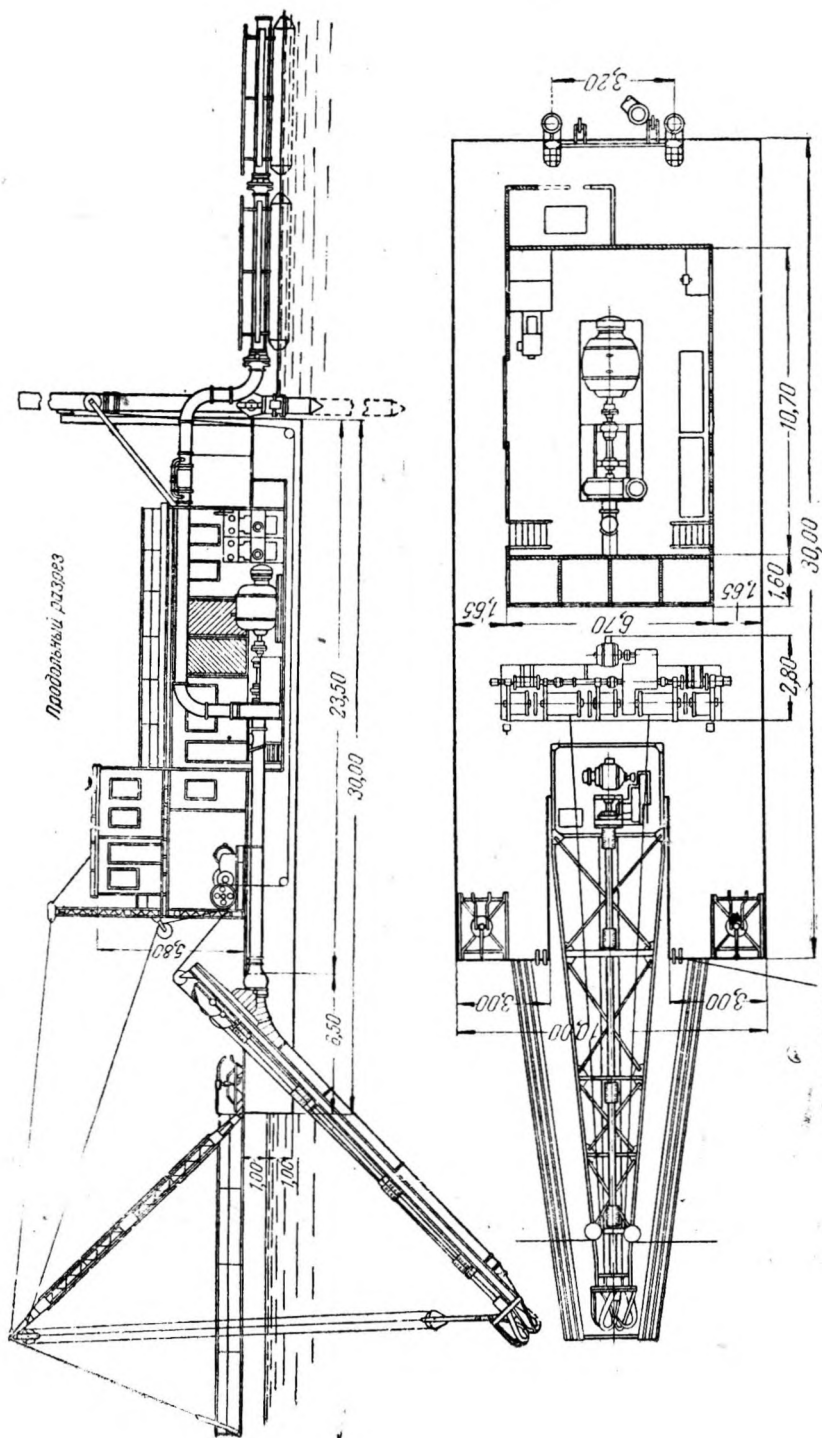


Рис. 113. Землесосный снаряд 300-40.

Стрела снята

так как именно в приемном устройстве образуется пульпа, т. е. смесь грунта с водой, от консистенции которой в первую очередь зависит производительность землесосного снаряда.

На рис. 113 представлены разрез и план типичного строительного землесосного снаряда типа 300-40 конструкции строительства Куйбышевского гидроузла.

Непосредственно к всасываемому фланцу землесоса присоединяется патрубком с лазом.

Лаз делается для очистки землесоса в случае его засорения.

Для возможности всасывания грунта с разных высот у всех без исключения землесосных снарядов приемное устройство крепится на раме, шарнирно соединенной с корпусом. В месте

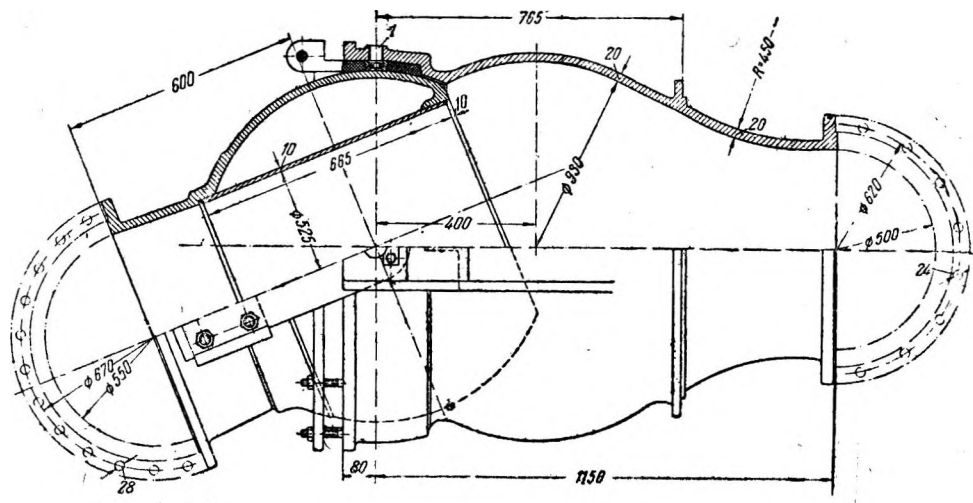


Рис. 114. Шаровой шарнир всасывающей линии.

перехода неподвижной трубы в подвижную устраивается гибкое соединение.

Наибольшее распространение в качестве такого соединения получил шаровой шарнир. Шаровой шарнир землесосного снаряда 300-40 изображен на рис. 114.

К отверстию 1 подведена чистая вода для устранения возможности подсоса воздуха через сальниковое устройство.

Ось шарового шарнира должна точно совпадать с осью вращения рамы, так как иначе будет невозможно вращение.

В некоторых землесосных снарядах (например ЗР-1 и ЗР-2, работавших в Южной гавани в Москве) применяется сальниковый шарнир.

За границей широкое распространение в качестве гибкого соединения получили резиновые шланги специальной конструкции. В одном из крупнейших землесосных снарядов Америки, изготовленном фирмой „Эри“ и работающем на строительстве плотины „Форт-Пек“, при диаметре всасывающей линии в 800 мм с успехом применяется резиновый шланг.

Как уже указывалось, всасывающая труба крепится к специальной раме.

В целях лучшей устойчивости снаряда в большинстве снарядов эта рама располагается в специальной прорези.

На рис. 115 показана рама всасывающей трубы и разрыхлительного устройства мощного американского землесосного снаряда фирмы „Эри“. Как видно из рисунка, рама представляет собой весьма мощную сварную конструкцию, несущую на себе всасывающую трубу, приводное устройство фрезы разрыхлителя, папильонажные блоки и самую фрезу.

Столь солидная конструкция объясняется наличием огромных усилий, возникающих в раме во время работы снарядов.

Рама, как правило, опирается на корпус двумя опорами, располагаемыми по краям прорези корпуса. Для лучшей пере-

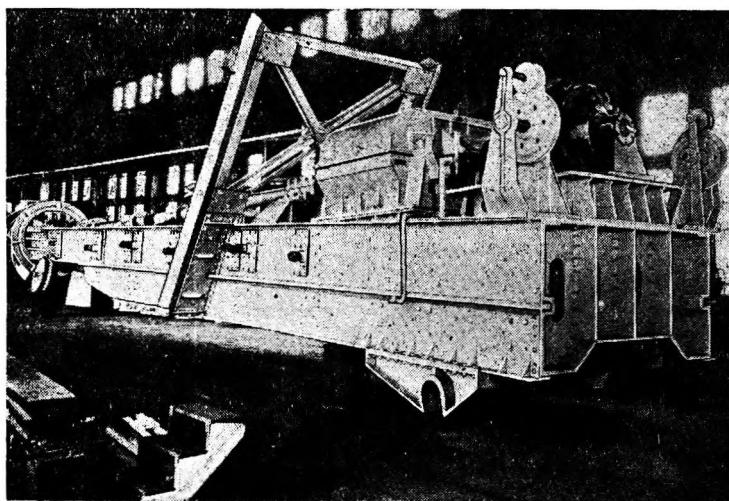


Рис. 115. Рама разрыхлителя „Эри“.

дачи усилий от рамы к корпусу и от корпуса к раме служит специальное направляющее устройство. Нижнее предельное положение рамы фиксируется двумя предохранительными цепями некоторой определенной длины.

Сыпучие грунты, неслежавшийся ил, пльвуны позволяют вести достаточно интенсивное всасывание без предварительного разрыхления механическим способом.

В этом случае всасывающая труба землесосного снаряда снабжается наконечником, приспособленным для всасывания грунта без предварительного разрыхления. На рис. 116 показан пример конструкции такого наконечника.

Опыты показывают, что правильный выбор формы и размеров наконечника при работе без механического разрыхления играет весьма существенную роль в работе землесосного снаряда.

На рис. 116 представлен наконечник простой и вместе с тем хорошо зарекомендовавшей себя формы.

Входное отверстие наконечника имеет вид эллипса со срезанными углами. Для защиты землесоса от крупных фракций делается редкая решетка из полосового железа на ребро.

Подавляющее большинство современных землесосных снарядов оборудовано приспособлением для механического разрыхления грунта.

Американские специалисты считают, что все без исключения снаряды должны иметь разрыхлительное устройство и что при

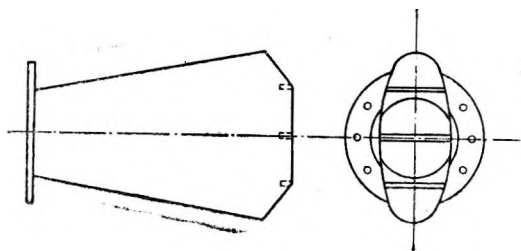


Рис. 116. Сосун без разрыхлителя.

любых грунтах механические разрыхлители дают повышение производительности снаряда.

На рис. 117 представлен общий вид наиболее распространенного типа механического разрыхлителя.

Вращение от мотора через понижающий

редуктор передается валу, несущему на своем конце фрезу, режущую грунт. Срезанный грунт, благодаря соответствующему профилю лопаток фрезы, попадает в ее внутреннюю полость, а оттуда — во всасывающую трубу землесоса.

Для разных грунтов практика выработала разные фрезерные головки. На рис. 118 представлены два наиболее распространенных типа. Головка типа *а* — более пригодна для малосвязных грунтов, чем головка типа *б*.

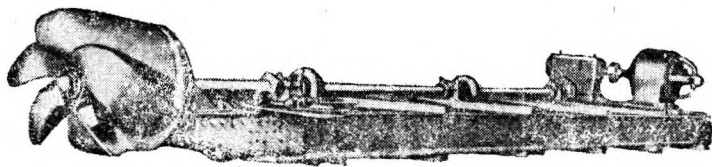


Рис. 117. Общий вид разрыхлительного устройства.

Головка типа *а* изготавливается цельнолитой или со сменными ножами. В последнем случае нож одним концом крепится к кольцу в основании головки и другим к ступице.

При наличии в грунте гравия и булыги ножи вооружаются зубьями, перпендикулярно устанавливаемыми к их режущей кромке и аналогичными по конструкции с зубьями экскаваторных ковшей.

Головки типа *б* конструктивно оформляются в виде стальной литой ступицы, к которой приклепываются или прикрепляются на болтах ножи.

Фрезерные головки одеваются на вал конусной посадкой. Вращательный момент передается помощью шпонок. В ряде конструкций хорошо зарекомендовали себя призматические шпонки.

Вопросу укрепления фрезы на валу следует уделять весьма серьезное внимание, так как условия работы фрезы исключительно тяжелые.

В целях удлинения сроков службы фрезерных головок для изготовления их применяют высококачественные стали (марганцовистую, хромоникелевую и др.).

В некоторых конструкциях делается сменной режущая кромка ножа, однако это мероприятие плохо оправдывает себя, так как нож истирается по всей своей поверхности.

Как уже указывалось выше, для вращения фрезы вдоль оси рамы разрыхлителя укладывается вал.

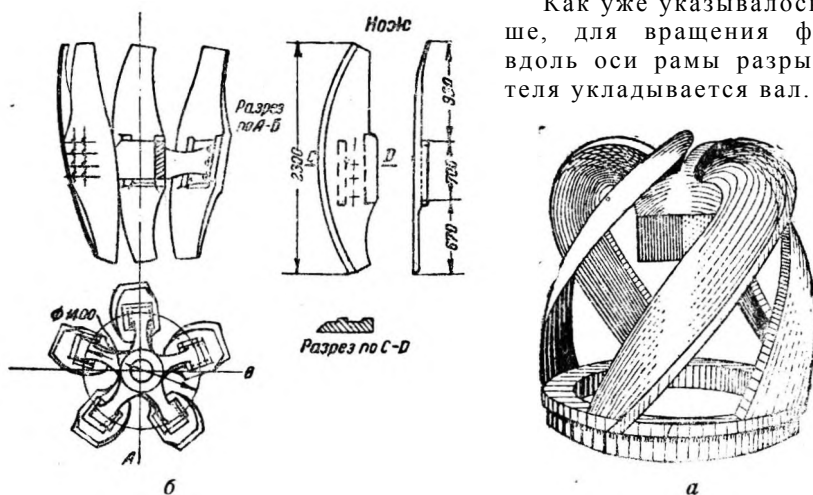


Рис. 118. Разновидности фрезерных головок.

Вал делается из отдельных кусков по 4—6 м длины, соединяемых между собой жесткими дисковыми или цилиндрическими муфтами.

Подшипники в связи с незначительным числом оборотов (от 10 до 25 в 1 мин.) делаются с чугунными вкладышами.

Условия работы подшипников таковы, что заставляют применять ряд мер по защите их от попадания грунта.

В землесосном снаряде 300-40 предусмотрено для этой цели устройство специальных сальников и принудительной смазки под давлением. В некоторых конструкциях с успехом применяются текстолитовые вкладыши с водяной смазкой под давлением.

В результате наклонного положения вала трансмиссии и взаимодействия фрезы с грунтом в трансмиссии разрыхлителя могут возникнуть значительно осевые усилия. Направление осевого усилия может быть различным. Для восприятия осевых усилий устраивается упорный подшипник двустороннего действия.



Конструктивно-упорный подшипник удобно располагать у верхнего конца вала, поэтому муфты вала разрыхлителя должны быть рассчитаны на передачу осевых сил.

В подавляющем большинстве современных конструкций вращение вала разрыхлителя осуществляется при помощи электромотора, монтируемого непосредственно на раме разрыхлителя.

Ось вращения мотора располагается параллельно оси вращения рамы разрыхлителя, благодаря чему при любых наклонах рамы вал электромотора остается горизонтальным.

Получение нужного числа оборотов вала разрыхлителя достигается применением редуктора той или иной конструкции.

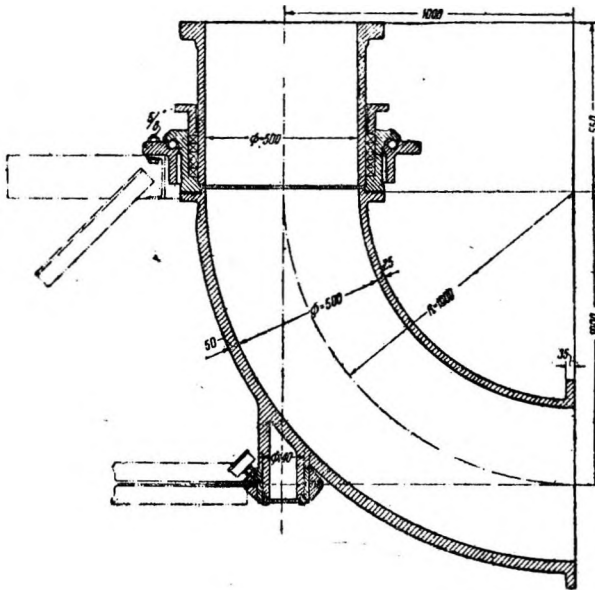


Рис. 119. Сальниковый шарнир снаряда 300-40. землесосного снаряда

сварных или цельнотянутых стальных труб.

Для снижения гидравлических потерь колена делают с увеличенным против нормального радиусом.

На горизонтальном участке пульповода монтируется обратный клапан.

Патрубок для соединения напорной линии с плавучим пульповодом в большинстве конструкций располагается в кормовой части корпуса на высоте оси трубы плавучего пульповода. Между патрубком, закрепленным на корпусе землесосного снаряда, и плавучим пульповодом включаются два шаровых шарнира, назначение которых обеспечить в некоторых пределах свободу относительных перемещений плавучего пульповода и корпуса землесосного снаряда.

В конструкциях 100-35 и 300-40 (строительство Куйбышевского гидроузла) введено важное усовершенствование соединения напорного пульповода с плавучим, а именно — в месте соединения

В малых и средних землесосных снарядах применяются обычно червячные редукторы, в крупных же снарядах по соображениям конструктивного порядка применяются редукторы с цилиндрическими зубчатыми передачами.

Конструкция редуктора должна обеспечивать нормальную работу при любых возможных углах наклона рамы разрыхлителя.

Напорный трубопровод в пределах да выполняется из

устраивается сальниковый шарнир с вертикальной осью вращения.

На рис. 119 показан общий вид сальникового шарнира, снаряда 300-40. Все главные детали шарнира отлиты из стали. Горизонтальные и вертикальные усилия воспринимаются специальной шариковой опорой.

Вертикальный шарнир обеспечивает возможность поворота оси первого понтона напорного пульповода относительно оси корпуса снаряда на угол, равный  $90^\circ + 90^\circ = 180^\circ$ . Эта возможность значительно увеличивает маневренность снаряда и позволяет в ряде случаев значительно сократить длину плавучей части пульповода.

Плавучий пульповод служит для транспортирования пульпы от плавучего землесосного снаряда, монтируется он на понтонах, и отдельные звенья его соединяются между собой удобоподвижными соединениями. Плавучий пульповод подробно описан ниже в разделе о пульповодах.

### Папильонажные устройства

Рабочие движения плавучих землесосных снарядов осуществляются при помощи мощных лебедок и тросов.

Различают якорный и свайный папильонаж.

Якорный папильонаж по сравнению со свайным не требует какого-либо специального оборудования, поэтому он подробно описан ниже в главе о производстве работ.

Папильонажная лебедка при якорном папильонировании должна иметь 6 барабанов: 2 станковых (кормовой и носовой) и 4 бортовых (два правых и два левых). При свайном папильонировании обычно достаточно четырех барабанов — два бортовых (один правый, один левый) и два для подъема и опускания свай.

На снаряде кроме того должна иметься лебедка для подъема и опускания стрелы разрыхлителя; эта лебедка включается иногда также в агрегат папильонажной лебедки. Тогда соответственно получим для якорного папильонирования семибарабанную лебедку и для свайного пятибарабанную лебедку.

На некоторых снарядах вместо многобарабанных лебедочных агрегатов применяется соответствующее количество однобарабанных автономных лебедок.

На рис. 120 представлен общий вид пятибарабанной лебедки землесосного снаряда 300-40.

Все пять барабанов приводятся в действие одним электромотором в 30 квт, 750 об/мин., 220/380 в.

Электромотор рассчитан на одновременную работу не более двух барабанов, что вполне удовлетворяет потребность эксплуатации.

Грузоподъемность каждого барабана — 10000 кг; трос — стальной, его диаметр 28 мм. Диаметр всех барабанов — 700 мм.

Два папильонажных барабана имеют длину по 1 000 мм, что дает канатоемкость по 300 м для каждого. Три барабана имеют длину по 500 мм.

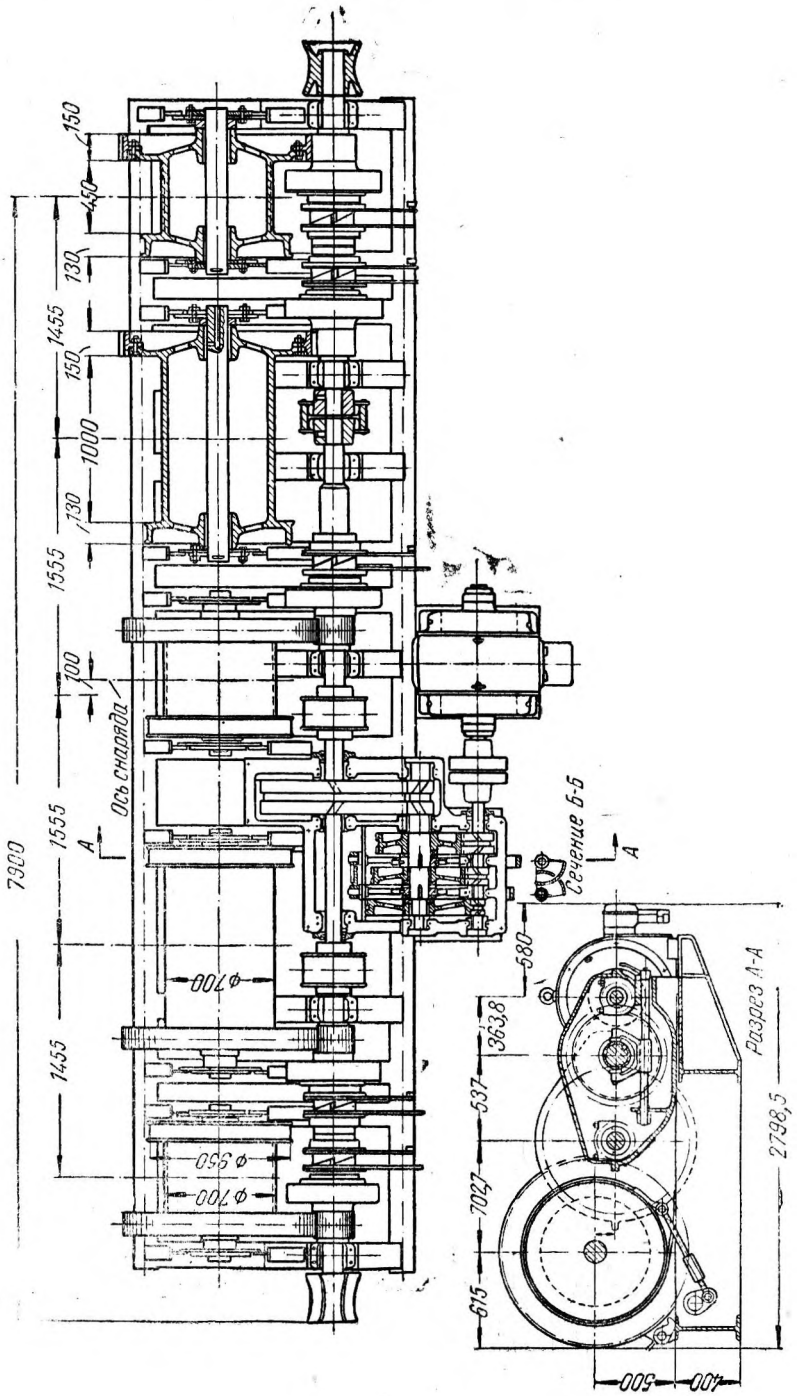


Рис. 120. Лебедка пятибаранная.

Конструкция лебедки позволяет иметь три скорости папильонирования— 2, 4 и 8 м/мин.

Включение отдельных барабанов — фрикционное, с двойным управлением — ручным и пневматическим. Управление тормозами и коробкой скоростей — ручное. Все управление лебедкой централизовано и сосредоточено в рубке управления землесосным снарядом.

Вопрос о потребных скоростях папильонирования и тяговых усилиях изучен еще совершенно недостаточно. Поэтому при назначении основных параметров папильонажных лебедок приходится ориентироваться на изучение опыта работы уже осуществленных конструкций.

Ориентировочно можно принимать, что каждые 10 квт мощности разрыхлителя требуют от 0,6 до 0,9 т тягового усилия лебедки.

### Свайный папильонаж

Свайный папильонаж широко применяется на землесосных снарядах с механическим разрыхлителем. Свайный папильонаж особенно удобен для строительных землесосных снарядов, предназначенных к работе в тесных условиях.

На рис. 121 показана простейшая и наиболее распространенная схема свайного папильонажа. В кормовой части снаряда устраиваются две ходовые сваи. Сваи располагаются в колодцах или в специальных направляющих устройствах, прикрепляемых к корме снаружи.

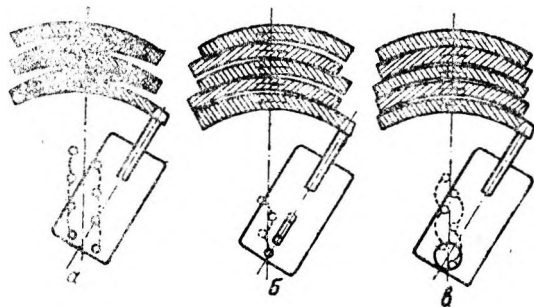


Рис. 121. Траектории папильонирования.

Лебедкой любая из свай может быть поднята; при опускании сваи своим весом погружаются на известную глубину в грунт. В некоторых конструкциях землесосных снарядов применяется принудительная посадка свай, но эти конструкции распространения почти не получили, потому что, не давая никаких преимуществ, они ведут к значительному усложнению конструкции.

Сам процесс папильонирования состоит в повертывании помощью лебедки всего снаряда вокруг одной из свай.

После поворота на известный угол опускается вторая свая, первая поднимается и вращение начинается вокруг второй в противоположном направлении и т. д.

Траектория, описываемая при этом фрезой снаряда, показана на рис. 121, а. Недостаток такого способа папильонирования состоит в том, что стружка одного хода на значительном участке перекрывается стружкой последующего, т. е. снаряд на этом участке будет работать с пониженной производительностью.

Кроме того при этом способе могут оставаться довольно значительные гребешки невыработанного грунта.

В Америке получила некоторое распространение более совершенная конструкция, представленная на рис. 121,б.

Одна из свай помещается в вытянутом вдоль оси судна колодце, вторая — в нормальном колодце на оси судна. Папильонирование осуществляется вращением вокруг второй сваи.

Первая свая служит для подачи снаряда вперед.

На рис. 121, в, изображен еще более совершенный способ папильонирования. Сваи располагаются в роторе, который может вращаться от специального механизма. Принцип папильонирования тот же, но стружки получают вполне равномерными и отдельные хода не перекрывают друг друга.

В тех случаях, когда папильонажный трос не может быть закреплен за мертвяк на берегу (такие случаи встречаются довольно часто), применяются якоря.

В гидромеханизации лучше всего применять однолапые якоря, так как они, не имея выступающих частей, наименее опасны для судоходства. Веса якорей выбираются в зависимости от условий эксплуатации и колеблются от 150 до 600 кг.

Наиболее тяжелые якоря применяются для переднего станкового троса.

Тросы для землесосных снарядов должны быть подобраны по тяговым усилиям лебедок с трехкратным запасом прочности.

### Корпуса землесосных снарядов

Назначение корпуса снаряда состоит в том, чтобы нести на себе все механическое энергетическое, судовое оборудование и все обслуживающие помещения для управления снарядом.

Корпуса снарядов строятся обычно по типу стоечных судов, так как большую часть времени снаряд находится на месте работ и передвигается к новому забою при помощи буксира.

В связи с этим к корпусам землесосных снарядов применяются все требования, предъявляемые техническими условиями Регистра СССР к судам подобного типа.

Обводы и форма корпуса назначаются из условия наибольшего водоизмещения при минимальной осадке.

Этому условно отвечает прямоугольная форма в плане без подъема днища в носовой и кормовой частях. Такие обводы увеличивают сопротивление движения, что играет обычно второстепенное значение по сравнению с преимуществами работы на малых глубинах.

Крен и дифферент корпуса не должны достигать больших величин против заданных по условиям эксплуатации.

Корпуса землесосных снарядов бывают деревянные и металлические. Деревянные корпуса хороши тем, что требуют не дефицитный в нашей стране материал — лес. При высоком качестве лесоматериалов и изготовления деревянные корпуса могут применяться для землесосных снарядов большей производительности. Достаточно указать, что корпуса землесосных снарядов, рабо-

тающих на строительстве плотины „Форт-Пек“ в Америке (производительностью до 1 000000 м<sup>3</sup> грунта в месяц), сделаны из дерева. Конструкции деревянных корпусов землесосных снарядов не имеют каких-либо особых отличий от конструкций, применяемых в деревянном судостроении.

Днище выполняется обычно из еловых досок. Обшивка в подводной части делается также из елового леса, а надводной— из сосны. Продольный набор (кильсоны и кони) при помощи стоек и раскосов образует фермы.

Поперек судна устанавливаются шпангоуты, рамные (усиленные) шпангоуты, а иногда поперечные сквозные фермы. Раскосы

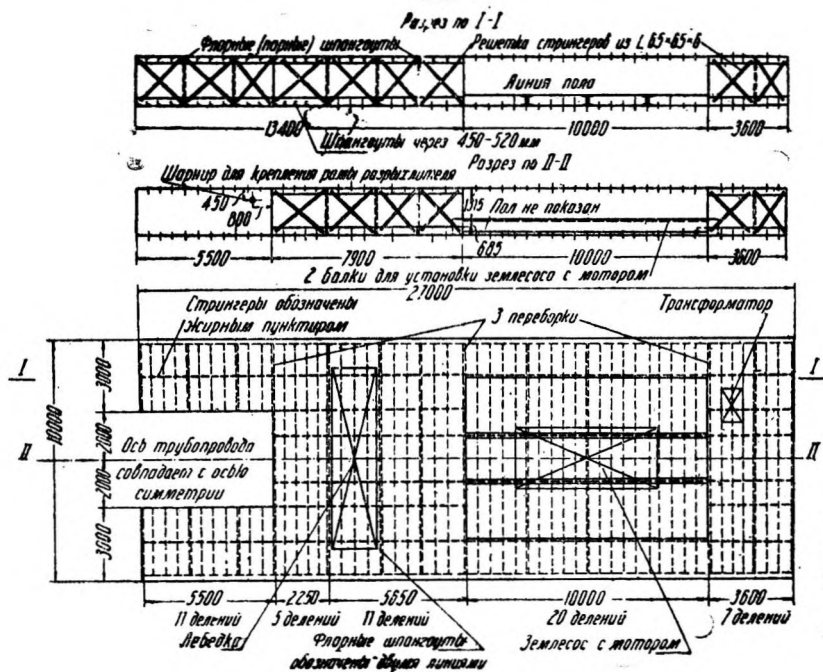


Рис. 122. Металлический корпус.

стесняют трюмное пространство и поэтому обходятся минимальным их количеством.

Конопатка, осмолка и окраска деревянных корпусов должны делаться очень тщательно, так как это предохраняет корпус от протекания и гниения.

Металлические корпуса (рис. 122) делаются главным образом для крупных снарядов. При металлических корпусах устраняется всякое расшатывание, наблюдающееся в деревянных корпусах.

Особо следует указать на широко развивающееся электросварное судостроение. Электросварка, давая до 30% экономии металла, совершенно вытесняет клепку и полностью оправдывает себя в эксплуатации.

В металлических корпусах (сварных и клепаных) металлические палубы и днища полностью включаются в рабочее сечение. Клепаные и сварные корпуса отличаются между собой конструктивным оформлением сопрягаемых элементов. Сварка дает возможность распределять металл наиболее целесообразно с точки зрения сопротивления материалов.

Электросварка в судостроении стала широко применяться только в последнее время. Если в обычном судостроении конструктивные формы, приемы сборки и монтажа получили окончательное четкое оформление, то в электросварном судостроении предстоит еще большая работа по изысканию новых конструктивных решений и главным образом по усовершенствованию методов сварки.

По инициативе автора в 1938 г. для землесосного снаряда 300-40 разработан вариант железобетонного корпуса.

Железобетон в качестве материала для постройки корпусов представляет значительный интерес. Преимуществом его является то, что железобетонный корпус, не уступая металлическому в монолитности, не требует крайне дефицитного листового металла, и изготовление его может быть легко организовано на любой строительной площадке.

Недостатком железобетонных корпусов является большой собственный вес, однако во многих случаях это не будет иметь решающего значения для отказа от его применения.

Большой вес железобетонного корпуса по сравнению с существующими типами в некоторых случаях может иметь даже положительное значение вследствие снижения центра тяжести всего снаряда и увеличения его остойчивости.

Железобетонный корпус конструируется в продольном и поперечном направлениях по принципу безраскосных ферм Виренделя. При этом необходимо стремиться к возможно более узким и высоким балкам и уменьшению толщины палубы, днища и бортов.

Вопросы выбора материала для корпуса землесосного снаряда в каждом отдельном случае должны быть решены в зависимости от технологических факторов.

По конфигурации в плане все корпуса могут быть разделены на две группы:

- 1) корпуса, имеющие вид понтона, обычно прямоугольного сечения или с некоторым скривлением обводов;
- 2) корпуса, имеющие продольные вырезы.

Первые применяются для мониторно-землесосных снарядов.

Вторые, более сложные по своей конструкции, применяются для землесосных снарядов с механическими разрыхлителями.

Расчеты по судовой части должны выполняться согласно нормам, применяемым в судостроении. Проверка прочности производится в соответствии с обычными требованиями строительной техники. Необходимо учитывать специфические условия работы землесосных снарядов — динамические и статические воздействия механизмов, волнение при качке и штормах, а также и влияние ударов волн.

Водоизмещение судна в весовом отношении равно полному весу корпуса и всех действующих на него вертикальных нагрузок.

Весь объем надводной части корпуса составляет запас плавучести судна. Центр тяжести подводной части судна носит название центра величины.

Для определения остойчивости судна, т. е. способности его возвращаться в первоначальное положение, после того как по каким-либо причинам положение это изменилось, требуется знание следующих величин:

- 1) центра величины,
- 2) центра тяжести судна при данном водоизмещении,
- 3) метанцентра и
- 4) момента инерции площади действующей ватерлинии.

Остойчивость подсчитывается в двух направлениях:

а) по длине корпуса — продольная остойчивость, характеризуемая дифферентом, и

б) по ширине корпуса — поперечная остойчивость, характеризующаяся креном.

Углы крена и дифферента при нормальной работе землесосного снаряда не превосходят обычно 2—3°.

### ***Г. ВОДОВОДЫ И ПУЛЬПОВОДЫ***

Водоводные и пульповодные трубы являются одной из основных статей расходов гидромеханизации. Так например, на работах по хорошевскому спрямлению (канал Москва — Волга) в 1935—1936 гг. стоимость труб составила около 50% всех капитальных затрат гидромеханизации, а амортизация их — около 10% стоимости выполненных работ. Можно привести ряд примеров, когда на долю труб приходится еще большая часть капитальных и амортизационных затрат.

Специфичность условий гидромеханизации помимо вопросов стоимости ставит в отношении трубопроводов ряд технических требований.

Все трубопроводы, сооружаемые для целей гидромеханизации, по своему назначению должны быть разбиты на две основные группы: на водоводы и пульповоды.

Первые предназначены для подвода чистой воды к месту работ, вторые — для транспортирования смеси воды с грунтом — пульпы.

#### **1. Водоводы**

Водоводы гидромеханизации отличаются от обычных водопроводов меньшей капитальностью всех устройств, так как при гидромеханизации даже магистральные водоводы редко устраиваются больше чем на 2—3 сезона, а водопроводы, как правило, рассчитываются на десятилетия.

В качестве водоводов наибольшее распространение получили железные цельнотянутые трубы на фланцевых соединениях.

По соображениям механической прочности были бы вполне приемлемы тонкостенные трубы, но к сожалению наша про-



мышленность их почти не изготавливает, так что приходится пользоваться более дорогими и тяжелыми трубами обсадного типа.

В подавляющем большинстве случаев давление напорной воды не превосходит 10 ат.

Для стальной трубы диаметром 350 мм при напоре, равном 10 ат, вычисления (см. ниже) дают толщину стенок  $\delta = 0,0018 \text{ м} = 2 \text{ мм}$  (допускаемое напряжение принято  $950 \text{ кг/см}^2$ , а коэффициент ослабления шва для труб цельнотянутых — 1).

Если даже увеличить эту толщину по соображениям сохранности при транспортировании в 2 раза, то получим сечение  $\delta = 4 \text{ мм}$ . Трубы же, выпускаемые промышленностью при диаметре 350 мм, имеют толщину стенок 8 мм (табл. 27).

Таблица 27

**Трубы стальные бесшовные гладкие общего назначения (по ГОСТ 5098)**

Наружный диаметр в мм	Наименьшая толщина стенок в мм	Условные проходы в мм	Вес в кг/м	Наружный диаметр в мм	Наименьшая толщина стенок в мм	Условные проходы в мм	Вес в кг/м
108	3,75	100	9,64	267	7,0	250	44,9
133	4,00	125	12,7	325	8	300	62,5
159	4,50	150	17,2	376	8	350	72,6
191	5,5	175	25,2	427	9	400	92,8
216	6,5	200	33,6				

Цельнотянутые трубы изготавливаются кусками до 14 м длиной. Такая труба при диаметре 350 мм весит 1,1 т и почти совершенно непригодна для монтажа в условиях гидромеханизации, в особенности на тех участках, где неизбежны частые перекладки. Практика показала несомненную целесообразность разрезки труб на отрезки длиной 6—7 м (для диаметров 300—350 мм).

Существует целый ряд способов соединения труб между собой. Наибольшим распространением пользуются различные фланцевые соединения. Различают фланцевые соединения с закрепленными и свободно вращающимися фланцами. В первых фланец намертво соединен с трубой. Неудобство такого типа соединений заключается в том, что при монтаже для совпадения отверстия приходится вращать всю трубу целиком. При больших диаметрах, применяемых в гидромеханизации, это обстоятельство значительно удлиняет монтаж.

Несколько сложнее, но зато значительно удобнее соединения с подвижным фланцем. В этом случае совпадения отверстий легко достигнуть, поворачивая одни фланцы.

Для получения необходимой плотности в обоих случаях ставится резиновая или другая уплотняющая прокладка.

Когда трубопровод укладывается на несколько сезонов, для

соединения отдельных труб бывает целесообразно применять сварку.

Наоборот, когда эксплуатация трубопровода связана с частыми разборками и сборками, может оказаться выгодным применить быстроразъемное соединение.

Пример такого соединения дан на рис. 123, где представлен стык бетоновода от бетононасоса фирмы „Торкрет“. Это соединение великолепно служит при давлениях в 15 ат и больше. Для соединения или разъединения трубопровода достаточно повернуть рукоятки в стороны.

Строительством Южной гавани в Москве разработаны рабочие чертежи аналогичных соединений. Для диаметров до 300 мм решения получились вполне конструктивными.

На рис. 124 показано быстроразъемное соединение для пульповодов и водоводов типа „Жибо“. Осенью 1938 г. это соединение было испытано на строительстве Куйбышевской гидроузла. Плотность соединения оказалась вполне удовлетворительной, процесс сборки по сравнению с нормальными фланцами ускорился в 3—4 раза. К недостаткам этого соединения следует отнести неспособность к восприятию осевых сил.

Значительная толщина стенок цельнотянутых труб позволяет делать приварку к трубе кованых фланцев из полосового железа. Эти фланцы как по изготовлению, так и по стоимости материала значительно дешевле фланцев из углового железа.

Кованые фланцы подгоняются так, чтобы легкими ударами молотка можно было посадить на трубу. Плоскость фланца должна быть установлена перпендикулярно к оси трубы, так как иначе трубу при монтаже будет вводить в сторону.

После приварки фланцев необходимо проверить все торцы труб, и если где-либо труба выступает за плоскость фланца, то ее необходимо обрезать, так как иначе это место после сборки даст течь.

За 8-часовой рабочий день один сварщик с одним подсобным рабочим может наварить на трубы диаметром 350 мм около 10 фланцев.

В Карамышевском районе канала Москва — Волга сварщики-стахановцы, работая с двойным электрододержателем, давали в смену до 15 фланцев. При работе двойным электрододержателем сварщик не теряет время на вставку электродов. Электроды вставляет подсобный рабочий.

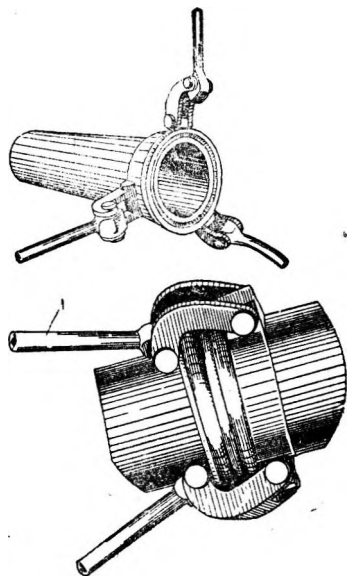


Рис. 123. Быстроразъемное соединение типа „Торкрет“,

Аккуратно сделанный кованый фланец при правильной сборке отлично работает на давлениях до 15 ат.

В целях ускорения монтажа и экономии болтов иногда с успехом применяются фланцы с уменьшенным против ОСТ количеством отверстий. Так например, в фланцах для труб диаметром 350 мм вместо 16 отверстий по ОСТ делают только 12; в трубах диаметром 300 мм вместо 12 — только 8 и т. д. Уменьшение количества отверстий не рекомендуется при давлениях выше 6—8 ат.

Если нужно повернуть ось монтируемого пульповода на незначительный угол (до 15°), то применяют косогон, т. е. короткий

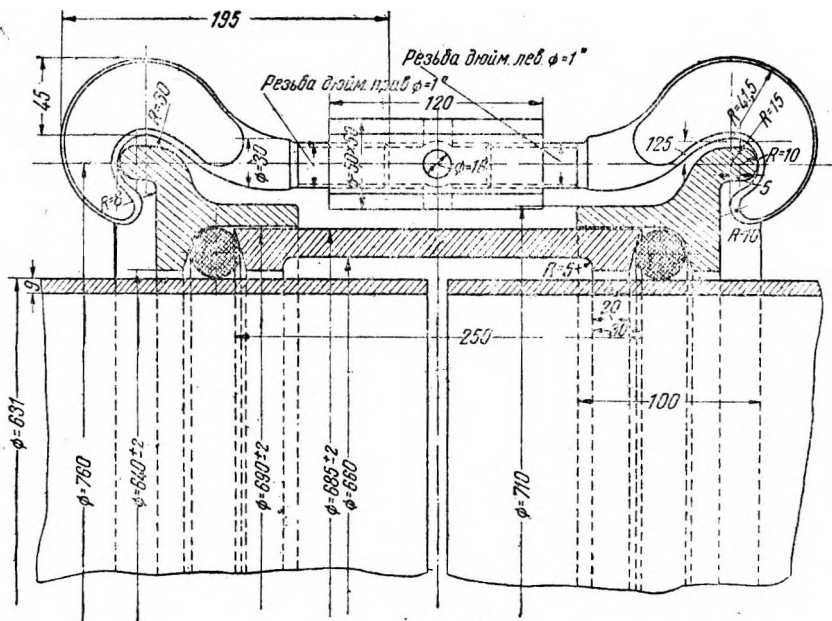


Рис. 124. Быстроразъемное соединение типа „Жибо“.

патрубок с непараллельными фланцами. Более значительные углы поворота достигаются при помощи обычных колен.

Так как чугунные колена значительно тяжелее железных, то в гидромеханизации следует отдавать безусловное предпочтение железным сварным коленам, изготовляемым обычно непосредственно на строительной площадке во время монтажа водовода.

Железные трубы подвержены сильному износу от коррозии. Ржавчина очень быстро уменьшает толщину стенок. Опыт гидромеханизированных приисков показывает, что трубы с толщиной стенок в 2 мм в местах соприкосновения с лежнями разъедаются ржавчиной насквозь в течение 1—1,5 сезонов.

Для удлинения амортизационных сроков водопроводные линии покрывают различными предохранительными составами.

В американской практике известен целый ряд специальных рецептов, например:

Асфальт.....	40%
Очищенный каменноугольный деготь.....	58%
Чистое льняное масло.....	2%

У нас в Союзе на гидромеханизации применяется следующий состав (по весу):

Каменноугольная смола.....	95%
Лак асфальтировочный.....	3%
Негашеная известь.....	2%

Покрытие труб предохраняющим составом для достижения хорошего контакта с металлом следует производить в ванне, подогреваемой до 150—180°. Покрытие труб кистью не дает желаемых результатов и ведет к значительному перерасходу смеси.

Средний расход смеси на покрытие 1 м<sup>2</sup> поверхности трубы с двух сторон — около 5 кг.

При небольших давлениях (до 4—5 ат) и на участках водоводов, не подлежащих переключкам в процессе работ, с успехом могут применяться деревянные трубы непрерывного или звеньевоего типа. Подробнее об этих трубах будет сказано ниже в разделе о пульповодах.

Трассировку водопроводной магистрали производят так, чтобы сумма капитальных и эксплуатационных расходов была минимальной.

Прямолинейная трассировка, давая наименьшую длину трубопровода, не всегда возможна и в условиях сильно пересеченной местности вызывает необходимость устройства большого числа колен в вертикальной плоскости или громоздких искусственных сооружений в виде эстакад. Первые увеличивают эксплуатационные расходы за счет увеличения гидравлических потерь на местные сопротивления, вторые же значительно увеличивают капитальные.

Таким образом ось трубопровода, криволинейная в плане, может дать решение, экономически более выгодное, чем прямолинейная.

Выше уже указывалось, что водопроводная линия часто оказывается самой дорогой частью гидромеханизированной установки. Это обстоятельство обязывает очень серьезно отнестись к вопросу выбора трассы. Выбор ее делают на основе разработки и сравнения нескольких вариантов.

В условиях гидромеханизации водопроводы, как правило, не закапываются, а укладываются (в целях предохранения от коррозии) на невысоких козелках.

## 2. Пульповоды

В гидромеханизации принято различать сухие и плавучие пульповоды. Первые укладываются на специальных деревянных подставках или непосредственно на поверхности земли. Вторые

укладываются на специальных понтонах и служат для подачи пульпы от снарядов дноуглубительного типа.

Для сухих пульповодов в практике гидромеханизации СССР часто применяются деревянные трубы. Первые деревянные трубы изготовлялись путем высверливания целых древесных стволов. Внутренний диаметр таких труб, а следовательно и пропускная способность ограничены диаметром стволов и необходимой по соображениям прочности толщиной стенок. Внутренний диаметр сверленных труб обычно не превосходит 150 мм. В настоящее время такие трубы применяются очень редко.

Распространение получили трубы, собираемые из отдельных клепок. Различают звеньевые и непрерывные клепочные деревянные трубы.

Звеньевые трубы собираются из клепок на заводах при помощи специальных машин звеньями от 1,5 до 6,0 м длиной. Арматурой служит непрерывная спирально навитая железная

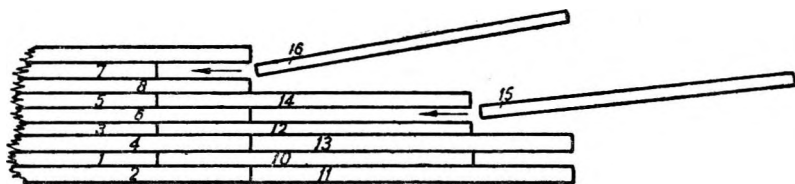


Рис. 125. Схема сборки непрерывного трубопровода.

проволока. Проволока наматывается с натяжением около 1 500 кг/см<sup>2</sup>.

Три или четыре начальных витка наматываются плотно друг к другу и закрепляются на трубе специальными скобочками.

Непрерывные трубы собираются из отдельных клепок непосредственно на месте их укладки. Диаметры таких труб колеблются в пределах от 500 мм до нескольких метров.

Наибольшая труба непрерывного типа построена в Калифорнии на р. Кламат и имеет диаметр около 5 м.

В Ингушетии (Кавказ) построена труба диаметром 2,5 м, а на Нивастрое — 3,68 м.

Продольные стыки непрерывных труб делаются вразбивку. На схеме рис. 125 представлена труба в развернутом виде. Номера, стоящие на отдельных клепках, показывают порядок сборки.

Качество труб зависит от лесоматериала, примененного для их постройки. В качестве материала для деревянных труб обычно применяются мягкие смолистые породы: сосна, ель или лиственница. Требования, которым должны удовлетворять пиломатериалы, идущие на приготовление клепки, могут быть сформулированы следующими пунктами.

1. Дерево должно быть крепким, мелкослойным, здоровым, без свилеватости и смоляных мешков.

2. Дерево должно иметь наибольший удельный вес, свойственный данной породе.

3. Сердцевинные трещины не должны идти глубже чем на  $\frac{1}{8}$  толщины клепки.

4. Сучки, исключительно здоровые и односторонние, не должны занимать по ширине более  $\frac{1}{3}$  клепки, а по длине ее не должны быть расположены чаще чем через 400 мм друг от друга.

5. Влажность пиломатериалов, идущих на приготовление клепки, не должна превышать 15%, потому что при большей влажности способность леса разбухать сильно падает и для свежесрубленного леса (влажность 40 — 60%) близка к нулю, разбухание же, т. е. увеличение объема, создает водонепроницаемость деревянных труб. Наоборот, высушивание трубопровода, собранного из клепки, имеющей большую влажность (в жаркое время года), ведет к расстройству всей трубы.

6. Небольшая поверхностная синева может быть допущена. Лес с сильной глубоко идущей синевой употреблять в дело не рекомендуется.

Инж. Г. В. Мальцев в журнале „Механическая обработка дерева“ № 3, 1934 г. по этому поводу пишет, что, основываясь на строго научных и исследовательских данных, можно прийти к выводу, что поражение деревянных труб синевой (даже труб, работающих на давлении свыше 2 ат) не может служить препятствием к их эксплуатации. Особенно это относится к основным трубам как к наиболее изученным.

Расход лесоматериалов на 1 пог. м трубы указан в табл. 28 В этой же таблице даны размеры досок и число клепок по окружности.

Таблица 28

Диаметр трубы в мм	Сечение досок в мм	Число клепок по окружности в шт.	Количество пиломатериалов на 1 пог. м трубы	
			в пог. м	в м <sup>3</sup>
150	25 × 70	8	8	0,016
200	25 × 70	10	10	0,025
250	30 × 90	11	11	0,030
300	30 × 90	13	13	0,035
350	30 × 100	14	14	0,042
400	30 × 100	15	15	0,045
450	30 × 100	17	17	0,051
500	30 × 110	17	17	0,056
600	35 × 130	19	19	0,800

При постройке трубы для небольших напоров (2—3 ат) толщину стенок труб целесообразно снижать против указаний этой таблицы, так как замечено, что клепка в этом случае не пропитывается насквозь водой и подвержена поэтому загниванию.

Как указывалось выше, звеньевые трубы обматываются проволокой. У нас в Союзе для этой цели применяется железная оцинкованная проволока. Может применяться проволока и не-

оцинкованная, но тогда во избежание ее ржавления нужно обратить особое внимание на покрытие труб смолой.

За границей в особо ответственных установках иногда применяется медная или алюминиевая проволока. В настоящее время у нас в Союзе прорабатывается вопрос о выпуске стальной нержавеющей проволоки. Такая проволока безусловно вытеснит все другие сорта проволоки из трубостроения.

Ориентировочный расход проволоки и диаметр ее могут быть определены по табл. 29 (звеньевые трубы).

Таблица 29

Диаметр трубы в мм	Вес проволоки в кг на 1 пог. м трубы для давления в ат						№ калибр. прово- локи	Диаметр прово- локи в мм
	1	2	3	4	5	6		
150	1,52	1,83	2,33	2,53	2,86	3,50	9	3,76
200	2,08	2,40	3,26	3,83	4,51	5,41	8	4,19
250	2,54	3,47	4,34	5,22	6,07	6,93	7	4,57
300	3,60	5,11	6,01	7,26	8,64	10,5	7	4,57
350	5,22	5,85	7,06	8,27	9,71	11,15	6	4,90
400	6,21	7,50	9,45	11,43	13,97	16,56	6	4,90
450	6,70	9,00	10,65	14,31	17,05	19,80	5	5,60
500	7,13	10,62	11,23	15,94	17,70	23,58	5	5,60

Для бандажей непрерывных деревянных клепочных труб служит круглое сортовое железо диаметром от 9 до 25 мм в зависимости от размера трубы.

Бандажи из полосового железа применяются редко.

Диаметры бандажей, ориентировочное число их и башмаков на 1 пог. м, а также их вес для труб разных диаметров и рассчитанных на разные давления, приведены в табл. 30.

Таблица 30

Диаметр труб в мм	Напор в ат	Диаметр бандажа в мм	Число шт. бандажа на 1 пог. м	Вес банда- жа в кг	Вес баш- мака в кг	Диаметр труб в мм	Напор в ат	Диаметр бандажа в мм	Число шт. бандажа на 1 пог. м	Вес банда- жа в кг	Вес башма- ка в кг
350	1	9	5,5	0,84	0,4	500	1	9	9	1,01	0,6
	2	9	10,0	0,84	0,4		2	9	13	1,01	0,6
	3	9	12,5	0,84	0,4		3	12,5	8,5	1,98	0,7
	4	12,5	8	1,54	0,5		4	12,5	10,5	1,98	0,7
	5	12,5	9,5	1,54	0,5		5	12,5	12,5	1,98	0,7
400	1	9	7,5	0,85	0,5	600	1	9	10,0	1,35	0,7
	2	9	11	0,85	0,5		2	13	7,5	2,48	0,8
	3	9	14	0,85	0,5		3	13	9,5	2,48	0,8
	4	12,5	8,5	1,58	0,6		4	13	12,0	2,48	0,8
	5	12,5	9	1,58	0,6		5	16	9,0	2,78	0,8

Башмаки бандажей (рис. 126) изготавливаются литыми из чугуна или чаще штампованными из железа. За границей для из-

готовления бандажей широко применяется ковкий чугун с допустимым напряжением на растяжение  $1\ 500\ \text{кг/см}^2$ .

Существует целый ряд специальных конструкций как для соединения труб между собой, так и для соединения деревянных труб с железными или чугунными.

Из приведенного ниже рис. 127 понятен простейший способ соединения между собой деревянных звеньевых труб.

На одном конце трубы делается шейка, на другом—соответствующая выточка. Ударами колотушки шейка одной трубы загоняется в выточку другой. При невысоких давлениях (до  $4\text{--}5\ \text{ат}$ ) такой стык работает вполне удовлетворительно.

Звеньевые трубы иногда соединяются при помощи муфт. Различают две разновидности такого соединения (рис. 127): а) соединение звеньевой трубы при помощи постоянной муфты и б) соединение звеньевой трубы при помощи разборной муфты (муфта собирается из отдельных клепок подобно самой трубе).

Второй тип является более рациональным, так как позволяет произвести в случае надобности замену любого звена пульповода.

При монтаже деревянных пульповодов неизбежно приходится сталкиваться с соединением деревянных труб с металлическими трубами. На рис. 128 приведены две простейшие, хорошо зарекомендовавшие себя на практике конструкции соединений, одинаково при-

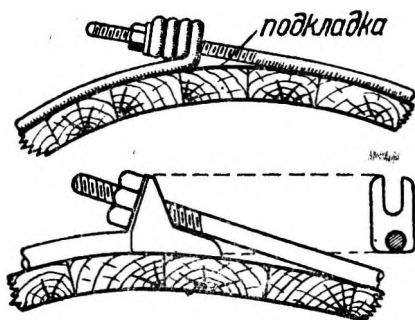
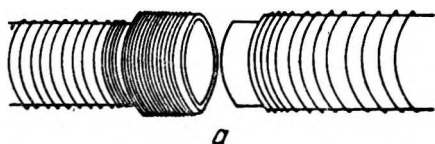
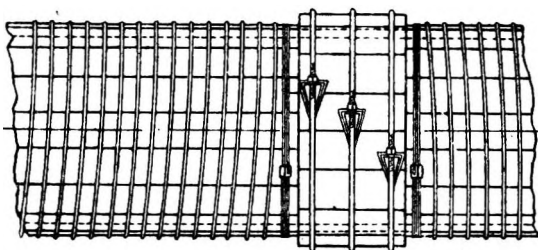


Рис. 126. Башмак для бандажей.



а



б

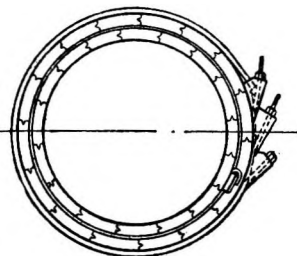


Рис. 127. Соединение деревянных труб.

годные как для непрерывного, так и для звеньевых типа. Дадим их краткое описание.

а) Очень надежное и к тому же легко разборное соединение построено по типу сальника. Набивка делается из пакли или какого-либо другого подходящего материала. Болты нажимного



кольца сальника следует подтягивать равномерно по всей окружности. Сальниковое соединение легко выдерживает давление в 5—6 ат.

б) Более простое соединение, но менее прочное и трудно разборное таково.

Металлический патрубок просто туго заколачивается в сухую трубку, и затем устанавливаются дополнительные бандажы. Этот способ соединения широко применялся на гидромеханизации строительства канала Москва — Волга. При тщательном выполнении и правильном подборе наружного диаметра металлического патрубка такое соединение хорошо служит при давлениях до 5 ат.

Если в деревянной трубе большого диаметра требуется присоединить под прямым углом деревянную же или металлическую

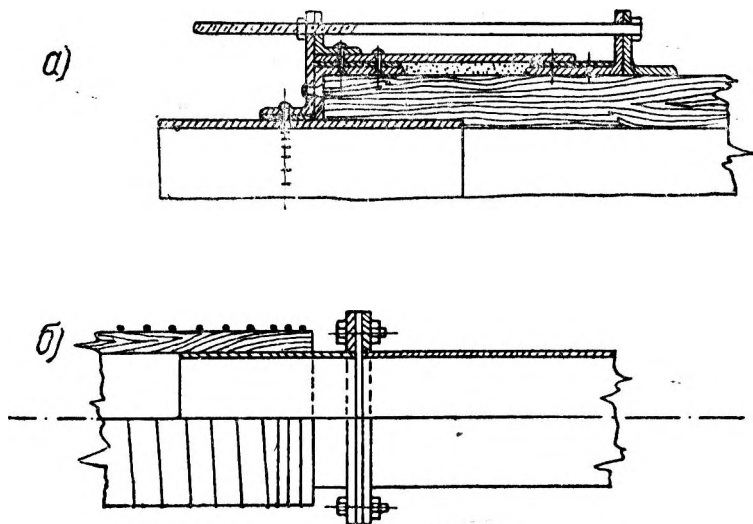


Рис. 128. Соединение деревянных труб.

трубу значительно меньшего диаметра, то применяются специальные чугунные или железные сварные седелки, соединяемые при помощи бандажей с трубой. Между седелки и трубой кладется резиновая прокладка. На рис. 129 показана конструкция такого соединения.

Деревянные трубопроводы для гидромеханизации собираются или на подкладках или на невысоких эстакадах; поэтому существующие нормы, учитывающие неудобства работы в траншеях, для условий гидромеханизации непригодны.

Сборку непрерывных пульповодов ведут при помощи внутренних и наружных кружал. При сборке необходимо следить за разбивкой продольных стыков клепки. Если требуется сделать поворот собираемой непрерывной трубы, то закрепляют участок трубы, от которого должен начинаться поворот, ослабляют гайки

бандажей, изгибают трубу по нужному радиусу, затем затягивают бандажи, и труба остается в изогнутом положении.

При изгибании трубы необходимо следить за состоянием продольных стыков отдельных клепок. Опытные укладчики могут изогнуть трубу по окружности с радиусом до 10—11 диаметров трубы.

Для ускорения сборки иногда приходится начинать сборку одновременно в нескольких точках и затем стыковать монтируемую трубу. Стыкование непрерывного трубопровода можно поручать только достаточно опытным сборщикам. В месте стыка шаг бандажей следует уменьшать вдвое.

Сборка звеньев трубопровода по своей технике значительно проще. На эстакадах вместо колотушки удобнее пользоваться обрезком бревна, работая им как тараном. Рекомендуется сборку трубопровода вести вперед выточкой и обязательно подкладывать под трубу деревянную подушку, так как иначе легко поломать тонкие кромки трубы. Поворот достигается применением коротких патрубков за счет неполного забития заточки в выточку. Ось одной трубы относительно оси соседней трубы возможно повернуть на угол примерно  $10^\circ$ . В табл. 31 показаны радиусы поворота трубы, которые можно получить, пользуясь патрубками различной длины.

Таблица 31

Длина отдельных патрубков в м.....	0,7	1,0	1,3	1,5
Минимальный радиус поворота в м.....	4,02	5,74	7,45	8,61

Минимальный радиус изгиба звеньевой трубы может быть подсчитан по формуле:

$$r_{\min} = 5,74 l, \quad (94)$$

где  $l$  — длина патрубка, образующего поворот.

Для укладки пульповодных труб применяются простейшие эстакады. 1 пог. м такой эстакады при средней высоте 1,5 м стоит в деле 20 руб.

На поворотах в пульповоде возникают значительные смещающие силы, поэтому труба на поворотах должна тщательно крепиться в эстакаде, а эстакада в свою очередь должна быть рассчитана на восприятие боковых усилий.

Эстакады должны обеспечивать неизменность оси пульповода, в особенности это относится к звеньевым трубам. Автору известно большое количество аварий пульповодов, происшедших вследствие просадок эстакад.

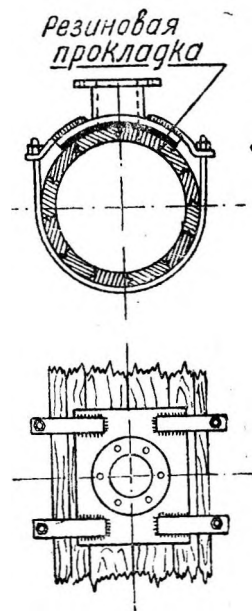


Рис. 129. Присоединение седелки к пульповоду.

Непрерывные же пульповоды совершенно безболезненно могут переносить довольно значительные деформации. Например ранней весной 1936 г. на Хорошевском участке строительства канала Москва—Волга был построен пульповод диаметром 800 мм из непрерывных клепочных труб, причем часть эстакады в силу необходимости была построена на зимних отвалах гидромеханизации. Отвалы представляли собой замерзший, насыщенный водой грунт со значительными прослойками льда.

Летом вся эстакада в связи с оттаиванием дала неравномерную осадку, местами ось пульповода просела более чем на 0,75 м.

На рис. 130 показана пунктиром ось пульповода, занивелированная непосредственно после постройки (начало апреля). Сплошная линия представляет собой результат нивелировки в конце августа. Несмотря на такую сильную деформацию,

труба не дала ни одной течи и великолепно служила до конца работ.



Рис. 130. Профиль просадки пульповода.

### Износ труб

При правильной эксплуатации деревянные трубы на пульповодах могут свободно служить 5 — 7 сезонов. Износ труб грунтом весьма незначителен, так как вследствие процес-

са саморегулирования скоростей образуется неподвижный защитный слой грунта в трубе и наиболее крупные частицы транспортируются влечением по этому слою.

Практика полностью подтверждает эти теоретические соображения. Так например, установка № 101-бис на гидромеханизации Хорошевского участка канала Москва—Волга имела пульповод с профилем, представленным на рис. 131. На горизонтальных участках А—А и С—С после пропуска 100000 м<sup>3</sup> грунта (крупного и среднего песка с включением до 10% гравия) можно было обнаружить только самые незначительные следы износа, участок же А—В, на котором вследствие значительного уклона (около 55°) не мог образоваться защитный слой, трубы приходили в негодность после пропуска каждых 25 000 м<sup>3</sup> грунта.

В условиях гидромеханизации пульповодные трубы, как правило, часто перекадываются с места на место. Разборка и сборка труб и главным образом их перевозка даже при аккуратном обращении дают некоторый процент боя заточки и выточки. Поэтому на больших работах совершенно необходимо иметь простейший станок для ремонта деревянных труб.

На строительстве Южной гавани в Москве такой станок был изготовлен своими силами и при его помощи было отремонтировано около 6 км труб.

### Засорение и промывка пульповодов

При перекачивании пульпы высокой консистенции, в особенности при наличии крупных фракций, не исключена возможность засорения пульповодов.

Причиной засорения обычно является чрезмерное падение скоростей в пульповоде в результате снижения производительности землесоса, или появление в пульповоде какого-либо препятствия, делающего очагом образования пробки, или наконец нецелесообразный профиль пульповода.

Следует отметить, что причины засорения пульповодов изучены еще совершенно недостаточно. В практике автора были случаи, когда пульповод диаметром в 800 мм засорялся на участке длиной до 200 м и совершенно достоверных причин этого явления установить не удавалось. Однако большинство известных автору случаев засорения объясняется одной из трех приведенных выше причин.

Иллюстрируем сказанное примерами:

1. На Хорошевском участке строительства канала Москва — Волга работала мощная передвижная землесосная установка в пульповод диаметром 800 мм. По мере хода работ длина пульповода как за счет наращивания на отвалах, так и в результате продвижения установки в забое непрерывно увеличивалась. Когда длина пульповода достигла 900 м (при разности отметок зумфа и конца пульповода в 15 м), начали наблюдаться систематические засорения пульповода вследствие чрезмерных сопротивлений и соответствующего падения производительности землесосов.

Пульповод пришлось укоротить на 200—250 м, и явления засорения больше не повторялись.

2. На бесперебойно работавшей гидроустановке № 103 (тот же участок строительства канала Москва—Волга) вдруг начали наблюдаться частые засорения пульповода диаметром 450 мм. После долгих поисков причин было установлено, что при ремонте течи в трубу забили пробку, причем значительный конец ее (около 150 мм) торчал внутри трубы. За конец пробки зацепилась большая сосновая ветка, и таким образом образовался очаг

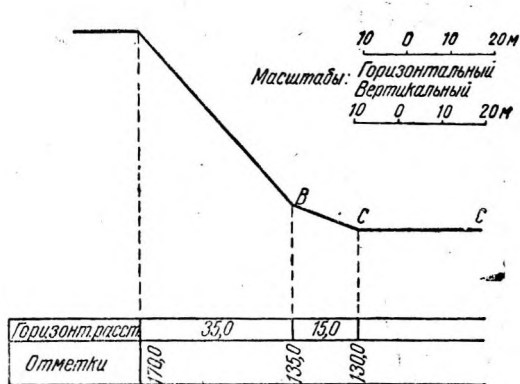


Рис. 131. Профиль пульповода на установке № 101-бис.

закупорки пульповода. После удаления торчавшего конца пробки закупорки совершенно прекратились.

3. Зимой 1935 г. (Хорошевский участок строительства канала Москва — Волга) работала стационарная установка, имевшая профиль пульповода с пониженной средней частью.

При периодических неизбежных остановках пониженный участок трубы постепенно заилялся, слой за слоем намерзал выпадавший из пульпы грунт, и так как температура пульпы зимой обычно близка к нулю ( $0,5—2,5^{\circ}$ ), то намерзающие слои таяли медленнее, чем образовывались новые, и в конце концов пониженный участок пульповода оказался полностью забитым замерзшим грунтом.

Пульповод пришлось бросить до весны и уложить рядом новую нитку. На рис. 132 показана фотография трубы этого пульповода с замерзшим в ней грунтом. На фотографии ясно видно постепенное наслоение.

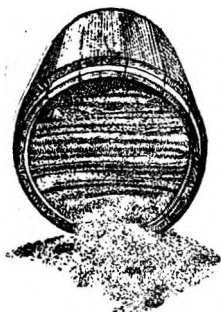


Рис. 132. Труба, забитая песком.

Борьба с засорениями пульповодов должна носить прежде всего профилактический характер. Анализ известных автору случаев засорения, а также и теоретические соображения позволяют рекомендовать следующий обязательный минимум правил устройства и эксплуатации пульповодов.

1) Расход в пульповоде никогда не должен падать ниже расхода, обеспечивающего пронос (при сечении, заиленном на  $\frac{2}{3}$  диаметра) всех возможных фракций пульпы. Если землесосы по каким-либо причинам такого расхода обеспечить не могут, то необ-

ходимо добавлять в пульповод соответствующее количество чистой воды.

2) В пульповодах, работающих с постоянным заилением более чем на  $\frac{1}{3}$  диаметра, должен быть установлен систематический контроль за величиной заиления.

3) Пульповодные трубы не должны иметь на внутренней поверхности никаких выступающих частей. Пробки, которыми затыкаются контрольные и другого назначения отверстия в деревянных трубах, ни в коем случае не должны выступать внутрь трубы.

4) Трассы пульповодов должны выбираться по возможности с уклоном в одну сторону. Если неизбежно устройство пониженных участков, то они должны быть оборудованы достаточным количеством надежно работающих выпускных устройств. При остановках такие пульповоды должны обязательно опорожняться и промываться чистой водой.

5) К пульповодам должна быть подведена чистая вода с некоторым запасом напора.

Начало закупорки пульповода обычно возможно обнаружить по приборам: показания амперметра и вакуумметра начинают падать, показания манометра — скачкообразно расти.

В этих случаях необходимо немедленно прекратить всасывание грунта и, не останавливая землесоса, пустить в пульповод чистую воду. Если все же пульповод окажется совершенно забит и чистая вода не будет в состоянии пробить образовавшуюся пробку сразу на всей длине, то промывку пульповода ведут участками.

В забитом участке трубы через 10—20 м делают отверстия и держат их открытыми до тех пор, пока вода не очистит от песка данный отрезок трубы. По мере промывки отверстия закрываются. Размер отверстия выбирают в зависимости от крупности транспортируемых фракций, но не менее 50—60 мм.

Может оказаться, что отверстия сделаны слишком редко и вода не в состоянии просочиться к ним. В этом случае приходится делать еще ряд отверстий.

### 3. Плавающие пульповоды

При работе плавучими землесосными снарядами, непрерывно перемещающимися в процессе работы, пульповод монтируется на специальных понтонах. Плавающие пульповоды называют иначе рефулерными. Так как пульповод соединяет неподвижную точку на берегу (начало сухого пульповода) с непрерывно движущейся точкой (землесосный снаряд), то он должен иметь достаточную гибкость. Гибкость достигается тем, что отдельные трубы соединяются между собой гибким или шарнирным соединением.

В практике дноуглубительных работ наибольшее распространение получил плавающий пульповод, представленный на рис. 133.

Пульповодная труба плавает на двух эллиптических или цилиндрических металлических поплавках. Концы поплавков для

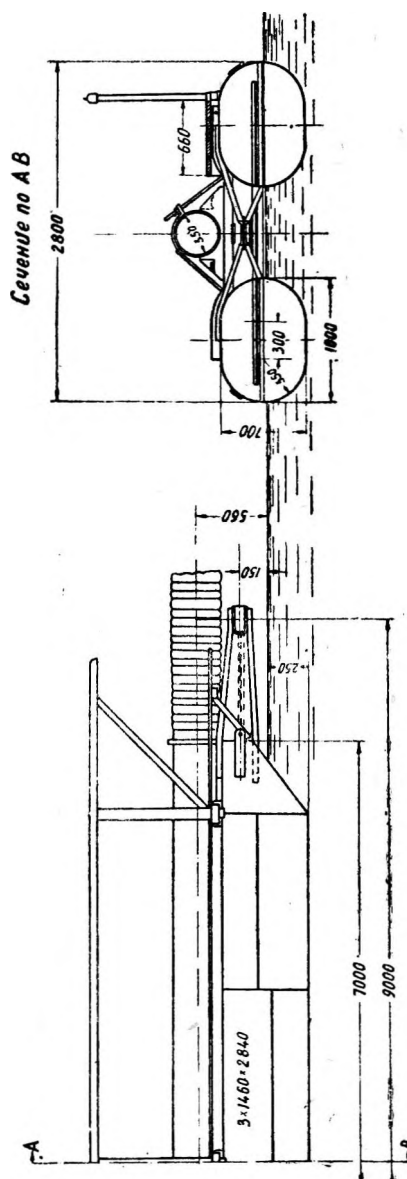


Рис. 133. Плавающий пульповод.

уменьшения сопротивления при буксировании делаются иногда коническими.

Понтон из двух поплавков имеет хорошую остойчивость, что значительно повышает маневренность землесосного снаряда.

Трубы соединяются между собой шлангами или шаровыми шарнирами. Существует ряд конструкций шаровых шарниров. Хорошо зарекомендовала себя конструкция, изображенная на рис. 134. Эта конструкция применяется в последних моделях землесосных снарядов, выпускаемых Горьковским заводом „Красное Сормово“. Отличительной особенностью рассматриваемого шарового соединения является наличие двух жестких осей вращения (шарнир Гукка), благодаря которым все растя-

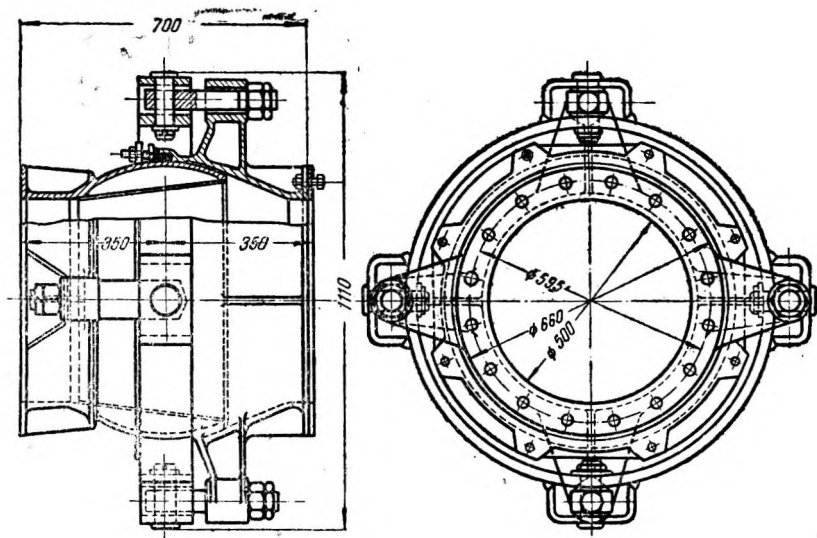


Рис. 134. Шаровой шарнир.

гивающие и сжимающие усилия передаются на шарниры. Шаровая поверхность служит только для уплотнения. Конструкция шарового шарнира позволяет поворачивать одну трубу относительно другой на угол  $18-20^\circ$  в любой плоскости.

На одном из понтонов устанавливается лебедка, необходимая для маневрирования при постановке плавучего пульповода на якоря.

В трубах пульповода устраиваются быстроотъемные люки, необходимые для ревизии и прочистки пульповода в случае засорения.

На рис. 135 показан плавучий пульповод сверхмощных землесосных снарядов, работающих на строительстве плотины „Форт-Пек“ в Америке. Понтоны деревянные, соединения — стальные шаровые.

На строительстве Южной гавани в Москве применялся пла-

вучий пульповод на деревянных понтонах с соединением отдельных труб специальными резиновыми шлангами.

Размеры понтона 2,5 X 5,0 X 0,7 м. Стоимость 1 шт. с оковкой, трубой диаметром 350 мм и 2-м высоконапорным резиновым шлангом—2000 руб. Этот тип пульповода хорошо зарекомендовал себя и может быть рекомендован для мелких землесосных снарядов. Он рассчитан на давление до 5 ат.

Чтобы не передавать на шланг растягивающих или сжимающих усилий, понтон снабжается специальным сцепом. Для того чтобы не вызывать лишних напряжений при волне, конструкция сцепа не должна препятствовать взаимному перемещению понтонов в вертикальной плоскости. Угол поворота в горизонтальной плоскости ограничивается боковыми цепями.

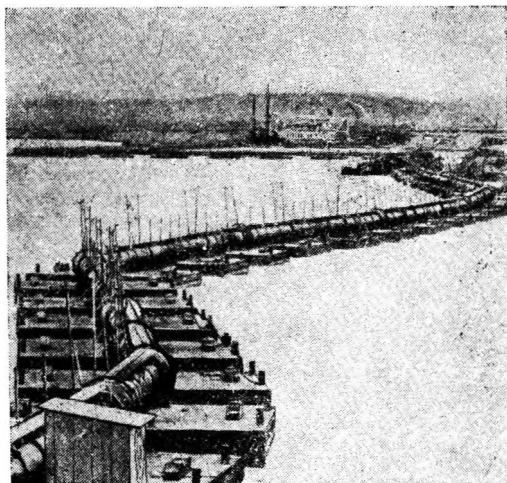


Рис. 135. Плавающий пульповод землесосного снаряда „Эри“.

На некоторых волжских и камских землесосных снарядах в качестве гибкого соединения применяют кожаные клепаные шланги с проволочной оплеткой. Такие шланги дороги, недостаточно прочны и могут применяться только при малых напорах (порядка 10 — 15 м).

#### 4. Расчет трубопроводов

При расчете трубопроводов различают:

- 1) гидравлический расчет и 2) прочие расчеты.

##### а) Гидравлический расчет

Полная стоимость трубопровода (сумма капитальных и эксплуатационных затрат) будет минимальной при некотором определенном в каждом отдельном случае диаметре труб.

Объясняется это тем, что уменьшение диаметра трубопровода хотя и снижает сумму капитальных затрат, но увеличивает гидравлические потери, а следовательно и эксплуатационные расходы.

Оптимальные значения диаметров трубопроводов определяются на основе сравнения нескольких вариантов гидравлических расчетов.



Гидравлический расчет труб сводится по существу к определению суммы гидравлических потерь.

Существует большое количество формул, составленных различными авторами, пригодных для определения величины гидравлических потерь. Отсылая читателей для подробного ознакомления с этими формулами к специальным курсам, ограничимся приведением формулы Маннинга:

$$i = 0,0014825 \frac{Q^2}{D^{5,33}}. \quad (95)$$

Эта же формула может быть выражена в функции скорости:

$$i = 0,000796 \frac{v^2}{d^{1,33}}. \quad (96)$$

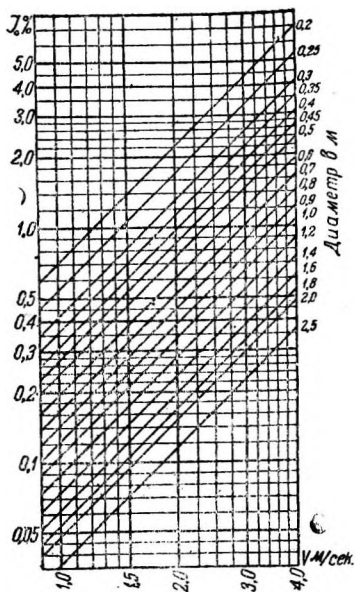


Рис. 136. Номограмма для расчета по Скобею деревянных труб.

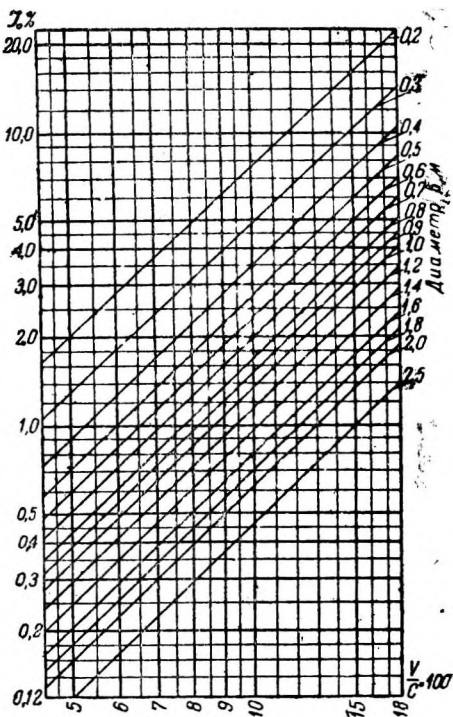


Рис. 137. Номограмма для расчета по Скобею стальных труб.

Численные коэффициенты в этих формулах, как указывает проф. Гениев в предисловии к своим таблицам, достаточно точно характеризуют трубы, уже бывшие в эксплуатации, но в которых еще не образовался значительный осадок.

Дробные показатели формулы Маннинга делают затруднительным непосредственное вычисление по ней, поэтому на практике всегда пользуются готовыми таблицами или номограммами.

Подробная и удобная для пользования таблица составлена проф. Гениевым (Транспечать НКПС, Москва, 1930 г.).

На рис. 136 приведена номограмма для определения потерь в деревянных трубах по формуле Скобея. На рис. 137 дана аналогичная номограмма по той же формуле для стальных труб. В этой номограмме по горизонтальной оси отложена величина  $\frac{v}{C''} 100$  — где  $v$  — скорость в метрах в секунду, а  $C''$  — коэффициент, зависящий от срока эксплуатации и конструкции трубопровода.

Для сварных и цельнотянутых труб можно предложить  $C'' = 40$ .

В гидромеханизации как для чистой воды, так и для пульпы часто применяются резиновые шланги.

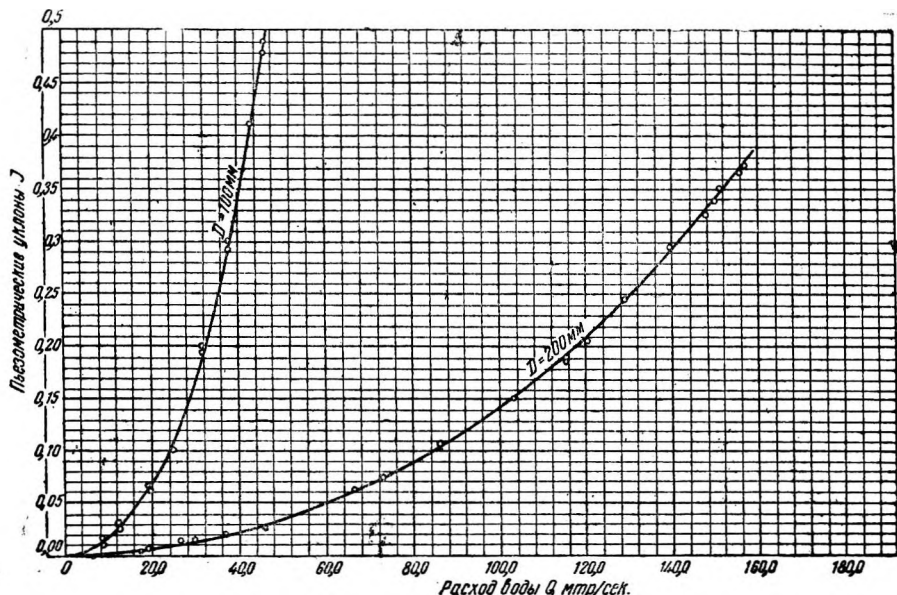


Рис. 138. Кривые испытаний шлангов.

О гидравлических потерях в шлангах в литературе имеется ряд работ (работы Фримана, Ясюковича и др.), но в этих работах рассматриваются потери напора в шлангах малых диаметров.

В гидромеханизации же чаще всего приходится иметь дело со шлангами больших диаметров (свыше 100 мм).

Специальные исследования, проведенные по этому вопросу лабораторией гидромеханизации строительства канала Москва — Волга, показали, что имеющиеся формулы для потерь напора в резиновых шлангах для больших шлангов неприменимы.

Лабораторией гидромеханизации строительства канала Москва — Волга найдены следующие расчетные формулы:

для напорных гладких шлангов:

$$I = 0,000205 \frac{Q^{2,15}}{D^{4,30}}; \quad (97)$$

для шлангов с внутренней проволочной спиралью и не защищенных резиновым слоем:

$$I = 0,000239 \frac{Q^{2,15}}{D^{4,30}} \quad (98)$$

В этих формулах:

$I$  — потеря напора на единицу длины;

$D$  — диаметр шланга в  $\text{мм}$ ;

$Q$  — расход воды в  $\text{л/сек}$ .

На рис. 138 приведен результат испытаний шлангов диаметром 100 и 200  $\text{мм}$ . Изображенные кривые могут служить как расчетные номограммы для 100- $\text{мм}$  и 200- $\text{мм}$  шлангов.

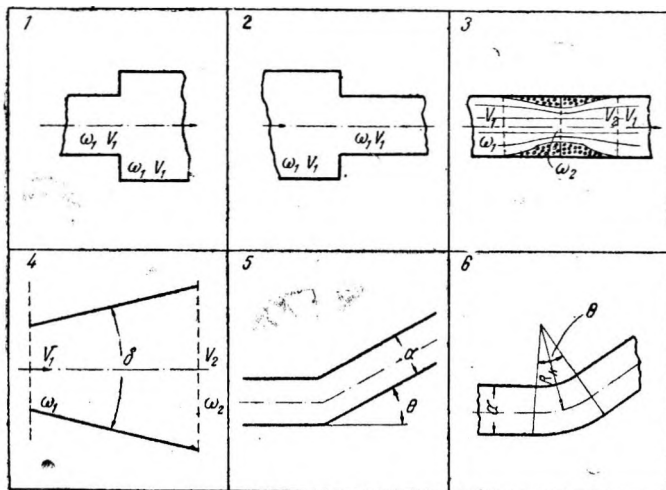


Рис. 139. Местные потери (схемы).

Приведенные формулы и номограммы справедливы только для прямолинейных цилиндрических участков.

Особо приходится учитывать потери от изменения направления или сечения трубопровода. Эти потери объединяют под общим названием местных потерь в трубопроводе. Они определяются по следующим формулам:

1) Внезапное расширение (рис. 139, фиг. 1) — по формуле Вейсбаха:

$$h_{в.р} = \xi_{в.р} \frac{v_2^2}{2g}, \quad (99)$$

где

$$\xi_{в.р} = \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2. \quad (100)$$

2) Внезапное сужение (рис. 139, фиг. 2) — по формуле:

$$h_{в.с} = \xi_{в.с} \frac{v_2^2}{2g}, \quad (101)$$

где  $\xi_{в.с}$  есть соответствующий коэффициент сопротивления, значения которого по Мерриману-Кригеру приведены в табл. 32.

Таблица 32

Отношение площадей сечений $\frac{\omega_2}{\omega_1}$ . . . . .	0,01	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\xi_{в.с}$ по Мерриману-Кригеру	0,45	0,39	0,35	0,28	0,20	0,09	0,00

3) Диафрагма в трубе постоянного сечения (рис. 139, фиг. 3) — по формуле:

$$h_{\partial} = \xi_{\partial} \frac{v_1^2}{2g}. \quad (102)$$

Значение коэффициента сопротивления диафрагмы по Вейсбаху приведены в табл. 33.

Таблица 33

Отношение площадей сечений $\frac{\omega_2}{\omega_1}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\xi_{\partial}$ по Вейсбаху . .	226	47,8	17,5	7,80	3,75	1,80	0,8	0,29	0,06	0,00

4) Переходный конус (расходящийся) (рис. 139, фиг. 4) — по формуле:

$$h_{пер} = \xi_{пер} \frac{v_2^2}{2g}, \quad (103)$$

где

$$\xi_{пер} = k \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right). \quad (104)$$

Значения  $k$  в зависимости от угла  $\delta$  приведены в табл. 34.

Таблица 35

$\delta$	$K$	$\delta$	$K$
5°	0,13	30°	0,71
10°	0,17	40°	0,90
15°	0,26	45°	0,98
20°	0,41	50°	1,03

Таблица 36

$\theta$	20°	40°	60°	80°	90°	100°
$\xi_{пов}$	0,045	0,14	0,36	0,74	0,98	1,26

5) Резкий поворот на трубе (рис. 139, фиг. 5) — по формуле:

$$h_{пов} = \xi_{пов} \frac{v_2^2}{2g}, \quad (105)$$

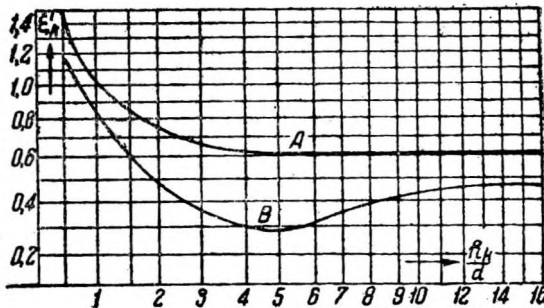


Рис. 140. График для определения  $\xi$ .

где

$$\xi_{пов} = 0,946 \sin \frac{\theta}{2} + 2,05 \sin^4 \frac{\theta}{2} \quad (106)$$

В табл. 35 приведены значения  $\xi_{пов}$ , подсчитанные для часто встречающихся углов.

6) Плавное закругление (колени) (рис. 139, фиг. 5).

Вопрос о движении жидкости на закруглении до сих пор не разрешен вполне удовлетворительно. Акад. Павловский считает наиболее достоверными результаты опытов Кригера, которыми и рекомендует пользоваться при определении потерь в коленах.

Обозначая коэффициент сопротивления для колена в 90° через  $\xi_{90}$  и коэффициент сопротивления для колена с любым центральным углом  $\theta$  через  $\xi_{\theta}$ , по Кригеру можем написать:

$$\xi_{\theta} = a \xi_{90} \quad (107)$$

$\xi'$  определяют по рис. 140, величину же  $a$  определяют по рис. 141.

Кривая  $A$  построена по опытным точкам, дающим наибольшие значения  $\xi_{\kappa}'$ , а кривая  $B$  проведена по средним опытным значениям  $\xi_{\kappa}'$ .

Как видно из рассмотрения кривой  $B$ , наименьшие потери в коленах имеют место при радиусах закругления:

$$R_{\kappa} \approx (3-7)d. \quad (108)$$

Соотношению (108) будет соответствовать соотношение:

$$\xi_{\kappa}' \approx 0,33 \quad (109)$$

По мнению Кригера для сварных труб значения  $\xi_{\kappa}'$  определяемые по рис. 140, следует увеличивать на 50%.

При пользовании всеми приведенными выше формулами и кривыми следует помнить, что ими учитывается только влияние искривления потока, потерю напора на трение по длине колена следует определять особо для прямолинейных труб, вводя в

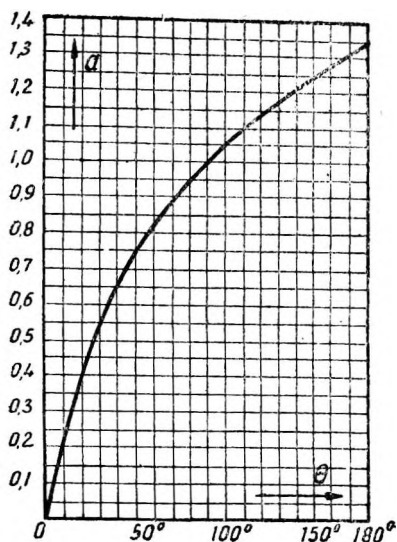


Рис. 141. График для определения  $a$ .

Схема фасонной части	$\xi_{\phi}$	Схема фасонной части	$\xi_{\phi}$
I	0,5	IV	3,0
II	1,0	V	0,05
III	1,5	VI	0,15

Рис. 142. Схемы фасонных частей.

соответствующие им коэффициенты сопротивлений. Стрелки показывают то направление течения, для которого приводятся значения коэффициента  $\xi_{\phi}$ .

Учитывая, что гидравлический расчет водоводов подробно изложен в ряде специальных руководств, мы считаем возможным ограничиться этими краткими указаниями.

Вопрос о гидравлических потерях в пульповодах рассматривается нами в главе I.

по тем же формулам, что и расчет длины осевой линии закругления.

7) Фасонные части труб. Потери в фасонных частях определяются по формуле:

$$h_{\phi} = \xi_{\phi} \frac{v^2}{2g}. \quad (110)$$

Значение  $\xi_{\phi}$  по предложению Кригера может быть принято согласно рис. 142, где показаны различные схемы фасонных частей и соответ-

## б) Прочие расчеты трубопроводов

1) Определение толщины стенок металлических труб. Толщина стенок трубы связана с внутренним давлением и диаметром трубы уравнением:

$$\delta = \frac{dH}{2\eta\sigma}, \quad (111)$$

где

$\delta$  — толщина стенок в м;

$d$  — диаметр в свету в м;

$H$  — полный напор (статический динамический в атм);

$\eta$  — коэффициент ослабления в шве;

$\sigma$  — допускаемое напряжение материала на растяжение в кг/см<sup>2</sup>.

Для труб, укладываемых по поверхности, величину допускаемого напряжения можно принимать:

$$\begin{array}{ll} \text{трубы из литого железа} & \delta = 850 \text{ кг/м}^2 \\ \text{„ „ стали} & \delta = 1\,500 \text{ кг/см}^2 \end{array}$$

Коэффициент безопасности для продольных швов разной конструкции принимают:

$$\begin{array}{ll} \text{для шва заклепочного} & \eta = 0,8 \\ \text{„ „ сваренного впритык} & \eta = 0,7 \\ \text{„ „ „ внахлестку} & \eta = 0,9 \end{array}$$

Необходимо отметить, что при малых и даже средних давлениях толщина стенок трубы, получаемая по формуле (111), оказывается неприемлемой по конструктивным и транспортным соображениям.

2) Расчет на прочность деревянных труб. Конструкция и размеры отдельных деталей деревянных труб выработаны в результате многолетней практики их применения. Поэтому, хотя отдельными авторами и разработаны подробные схемы статического расчета деревянных труб, но практически эти расчеты используются при расчете стягивающих бандажей.

Для расчета бандажей вводим следующие обозначения (по Попкову):

$S$  — усилие, приходящееся на бандаж, в кг;

$\omega$  — сечение стержня в см<sup>2</sup>;

$\delta_{\text{жс}}$  — допускаемое напряжение железа на растяжение (принимают 1 100 кг/см<sup>2</sup>);

$\rho$  — внутреннее давление воды в кг/см<sup>2</sup>;

$R$  — внутренний радиус трубы в см;

$A$  — расстояние между осями соседних бандажей в см.

Силы, действующие на бандаж, могут быть разбиты на три группы:

1) Силы, возникающие от внутреннего давления воды:

$$S_1 = pRA \text{ кг.} \quad (112)$$

2) Усилие, возникающее в результате разбухания клепки:

$$S_2 = K_q t A \text{ кг,} \quad (113)$$

где

$K_q$  — напряжение разбухания (для хвойных пород около  $8 \text{ кг/см}^2$ );

$t$  — толщина клепки в см.

3) Силы, возникающие от предварительной затяжки бандажей при их установке. Эту силу принято определять из уравнения:

$$S_3 = 1,5ptA \text{ кг.} \quad (114)$$

Полное усилие в бандаже будет:

$$S = S_1 + S_2 + S_3,$$

или, делая подстановку вместо  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  их значений, получим

$$S = pRA + K_q t A + 1,5ptA,$$

а после алгебраического преобразования

$$S = A [p(R + 1,5t) + K_q t]. \quad (115)$$

Пусть  $d$  — диаметр бандажа в см. Тогда:

$$\left. \begin{aligned} w &= \frac{\pi d^2}{4} = \frac{S}{\delta_{жс}} \\ S &= \frac{\pi d^2}{4} \delta_{жс}. \end{aligned} \right\} \quad (116)$$

Это уравнение для окончательного определения сечения бандажа непригодно, потому что оно совершенно не учитывает явления смятия бандажом клепок трубы.

Усилие  $S_{см}$ , допускаемое в бандаже по соображениям смятия, если предположить, что ширина смятия равняется радиусу бандажа, можно выразить уравнением:

$$S_{см} = \sigma_q (R + t) \frac{d}{2}, \quad (117)$$

где  $\delta_q$  — допускаемое напряжение пропитанного водой дерева на смятие (для основной клепки  $\delta_q = 15-18 \text{ кг/см}^2$ ).

Диаметр бандажей рационально построенной трубы должен, очевидно, удовлетворять как равенству (116), так и (117). Таким образом можно написать:

$$S = S_{см}$$



или

$$\frac{\pi d^2}{4} \delta_{жс} = \delta_q (R + t) \frac{d}{2}.$$

Окончательно получим:

$$d = \frac{2\delta_q}{\pi\delta_{жс}} (R + t). \quad (118)$$

На практике диаметр бандажей обычно определяют по приведенной выше таблице, которая представляет собой заводскую спецификацию, составленную на основе опытных данных, расчетом же пользуются для определения шага бандажей.

Из формулы (115) имеем:

$$A = \frac{S}{p(R + 1,5t) + K_q t}; \quad (119)$$

подставляя вместо  $S$  его значение из уравнения, получим:

$$A = \frac{\pi d^2 \delta_{жс}}{4[p(R + 1,5t) + K_q t]}. \quad (120)$$

Утечку воды из деревянных труб можно получить, пользуясь формулой, предложенной проф. Н. Н. Гениевым на IV Всесоюзном водопроводном и санитарно-техническом съезде:

$$Q = \delta d p l, \quad (121)$$

где

$Q$  — суточная утечка воды в л;

$\delta$  — коэффициент, который колеблется в зависимости от качества трубопровода в пределах от 140 до 600;

$d$  — диаметр трубы в см;

$p$  — внутреннее давление в ат;

$l$  — длина трубы в км.

Строго говоря приведенные значения коэффициента  $\delta$  относятся к моменту испытания деревянных трубопроводов, т. е. к концу строительного промачивания пульповода. В эксплуатации  $\delta$  обычно снижается. При значительных расходах воды в условиях гидромеханизации утечка из исправного деревянного водопровода так невелика, что учитывать ее объем не имеет смысла.

4) Расчет шлангов на прочность. Шланги делятся на всасывающие и напорные. Первые должны рассчитываться на наружное давление атмосферы, а вторые — на внутреннее гидравлическое давление. Здесь мы остановимся только на расчете на внутреннее давление.

Для расчета прочности шлангов на внутреннее давление существует несколько формул. В основу формул кладется прочность тканевых прокладок как наиболее прочного элемента конструкции.

Приближенные формулы исходят из внутреннего диаметра по резиновому слою и рассчитывают трубы как тонкостенный цилиндр.

Более совершенные формулы учитывают диаметры по прокладкам, неравномерность прочности ткани при изменении длины куска и изменение диаметра шланга в зависимости от давления.

При обычно применяемых тканевых прокладках эти формулы после упрощений принимают вид:

упрощенная формула Бостонского рукавного завода:

$$p = 16N \sqrt{\frac{25,4}{D}} (1 - 0,21 \sqrt{N-1}); \quad (122)$$

старая формула Резинотреста:

$$p = \frac{250N}{D}; \quad (123)$$

упрощенная формула Барлоу:

$$v = \frac{250LNs}{Ns + \frac{D}{2} + t}, \quad (124)$$

где

$p$  — внутреннее давление в  $кг/см^2$ , при котором наступает разрыв прокладок;

$N$  — число прокладок;

$D$  — внутренний диаметр в  $мм$ ;

$s$  — толщина одной прокладки в  $мм$ ;

$t$  — толщина внутреннего резинового слоя в  $мм$ ;

$L$  — коэффициент равномерности ткани, зависящий от длины шланга, а именно:

Длина шланга в м.....	1	5	10	20
Значение $L$ .....	0,9	0,75	0,7	0,6

Формула (122) не учитывает толщины внутреннего резинового слоя и поэтому может применяться для шлангов, совсем не имеющих внутри резинового слоя или когда этот слой имеет весьма незначительную толщину (порядка 1—1,5  $мм$ ). Формула (123) дает результаты, близкие к действительности только при тонком внутреннем слое резины и небольшом количестве прокладок.

Рекомендуется пользоваться ею для шлангов диаметром выше 150  $мм$ .

Формула (124) дает хорошие результаты, но при незначительной длине шлангов, т. е. когда  $L > 0,8$ .

При испытании шлангов не рекомендуется брать давление более 0,5 — 0,6 от разрывного, чтобы не вызвать чрезмерной деформации проверяемых шлангов.

5) Гидравлический удар. Водоводы, а главным образом пульповоды, необходимо проверять на прочность и со стороны гидравлического удара, т. е. внезапного значительного повышения давления.

Рассмотрим это явление на конкретном примере гидравлического удара, возникающего в пульповодах при промывке или заливке землесоса из пульповода.

Всасывающую линию можно промыть пульпой в момент остановки землесоса, задержав обратный клапан в открытом положении и дав этим возможность вытекать пульпе через землесос в зумпф. После окончания промывки, не выпуская из пульповода всей пульпы, дают возможность обратному клапану закрыться. В момент закрытия обратного клапана и возникает гидравлический удар. Определим величину гидравлического давления, возникающего при ударе.

Примем следующие обозначения:

- $L$  — длина пульповода в  $m$  от обратного клапана до конца;
- $h$  — статический напор у обратного клапана в  $m$ ;
- $h_1$  — возрастание давления в  $m$  у обратного клапана в момент его закрытия;
- $T$  — время закрытия обратного клапана в секундах;
- $a$  — скорость распространения возрастания давления в пульповоде в  $m/сек$ ;
- $v$  — скорость течения пульпы в  $m/сек$  до момента закрытия обратного клапана;
- $g$  — ускорение силы тяжести в  $m/сек^2$ .

Для расчета необходимо прежде всего определить величину  $T$ , так как в зависимости от нее выбирают формулу для дальнейших расчетов. Время  $T$  в основном зависит от скорости  $v_k$  обратного течения пульпы через клапан, которая может быть определена по формуле:

$$v_k = \frac{\omega_g}{\omega_k} r \sqrt{2gH}, \quad (125)$$

где

- $\omega_g$  — площадь сечения всасывающей трубы в  $m^2$ ;
- $\omega_k$  — площадь сечения обратного клапана в  $m^2$ ;
- $r = 0,75$  — коэффициент истечения;
- $H$  — статический напор в  $m$  относительно горизонта пульпы в зумпфе.

В случае землесоса  $Q = 800 \text{ м}^3/\text{час}$ ; диаметром 300 мм будем иметь  $\omega_g = 0,07 \text{ м}^2$ ;  $\omega_k = 0,096 \text{ м}^2$ ;  $H = 17 \text{ м}$ .

Подставляя в формулу (49) эти значения, найдем:

$$v_k = \frac{0,070}{0,096} 0,75 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 17} = 1 \text{ м/сек.}$$

При пульповоде диаметром 450 мм будем иметь:

$$\omega_k = \frac{\pi \cdot 45^2}{4} = 0,159 \text{ м}^2$$

и соответственно:

$$v = \frac{0,096}{0,159} 1 = 0,6 \text{ м/сек.}$$

Время закрытия клапана может быть определено по нашей формуле, составленной в предположении, что мгновенные окружные

скорости центра давления декеля в любой момент равны нормальной составляющей скорости  $v_k$  по формуле:

$$T = \frac{r}{v_k} \int_0^{85^\circ} \frac{1}{\cos \alpha} d\alpha, \quad (126)$$

где  $r$  — расстояние центра давления декеля от оси вращения (в данном случае  $r = 0,175$  м) или приближенно согласно равенству:

$$T = \frac{v_k + 0}{2}.$$

Для  $v_k = 1$  м/сек по формуле (150) получаем:

$$T = 0,55 \text{ сек.}$$

Критерием к выбору формулы для определения давления, возникающего при гидравлическом ударе, служит неравенство:

$$T \geq \frac{2L}{a}.$$

Для деревянных труб  $a = 1000$  м/сек, так что

$$\frac{2L}{a} = \frac{2400}{1000} = 0,8,$$

т. е.

$$T < \frac{2L}{a}.$$

По теории гидравлического удара при наличии такого неравенства следует принять формулу:

$$h_1 = \frac{av}{g} = \frac{1000 \cdot 0,6}{9,81} = 61 \text{ м.} \quad (127)$$

Суммируя со статическим напором, найдем общее давление в обратном клапане и пульповоде:

$$h_{ноА} = 61 + 17 = 78 \text{ м} = 7,8 \text{ ат.}$$

Такое давление может оказаться разрушающим для пульповода.

Если бы неравенство имело вид  $T > \frac{2L}{a}$ , то следовало бы применить формулу:

$$h_1 = m - h - \sqrt{m^2 - m'^2}, \quad (128)$$

где

$$m = h + \frac{av}{g} + \frac{v^2}{2g^2h} \left( a - \frac{2L}{T} \right)^2;$$

$$m' = h + \frac{av}{g}.$$

6) Смещающие силы в коленах с круговой осью. Полная смещающая сила  $N$  в колене выражается уравнением:

$$N = K_c + K_u,$$

где  $K_c$  — сила в кг, являющаяся результатом разницы полной величины статического давления на внешнюю и внутреннюю дугу колена. Сила  $K_c$  направлена по среднему радиусу от центра и определяется по формуле:

$$K_c = 2P \sin \frac{\theta}{2}, \quad (129)$$

где

$P = p\omega$  — сила, действующая на площадь поперечного сечения колена в кг;

$\theta$  — центральный угол колена;

$K_u$  — вызывается центробежной силой, возникающей вследствие движения жидкости по дуге круга. Величину  $K_u$  определяют по формуле:

$$K_u = \frac{Qv^2}{gR}, \quad (130)$$

где

$Q$  — вес воды в колене в кг;

$v$  — скорость воды в колене в м/сек;

$g$  — ускорение силы тяжести;

$R$  — радиус колена в м.

Сила  $N$  в трубопроводах большого диаметра может достигать очень большой величины и должна обязательно учитываться при проектировании анкерных устройств. При устройстве колен в виде ломаной линии можно с достаточной для практических целей точностью пользоваться этими же формулами.

7) Температурные влияния на трубопровод. Колебания температуры в трубопроводах, уложенных на поверхности, могут вызывать значительные температурные деформации, а значительное понижение температуры может вызвать замерзание воды в трубе.

Пусть некоторый трубопровод длиной  $L_1$  уложен при температуре  $t_1$ ; пусть в другое время года его температура будет  $t_2$  и соответствующая длина  $L_2$ .

На основании закона линейного термического расширения можно написать:

$$L_2 - L_1 = \beta(t_2 - t_1)L_1,$$

где  $\beta$  — коэффициент линейного расширения.

Изменение длины трубопровода на единице равно:

$$\frac{L_2 - L_1}{L_1} = \beta(t_2 - t_1) = \lambda,$$

следовательно напряжения, возникающие в результате изменения температур, будут равны:

$$\sigma = E\lambda = E\beta(t_2 - t_1). \quad (131)$$

**Пример.** Трубопровод был уложен в жаркие летние дни и имел среднюю температуру в  $30^\circ$ . Требуется определить растягивающие напряжения, которые возникнут в трубопроводе зимой при средней температуре воздуха  $-10^\circ$ .

Так как модуль упругости железа  $E = 2\ 150\ 000\ \text{кг/см}^2$ , а коэффициент расширения  $\beta = 0,000011$ , то, подставляя эти значения в формулу (155), получим:

$$\sigma = 2\ 150\ 000 \cdot 0,000011 (-10 - 30) = -950\ \text{кг/см}^2.$$

Такая дополнительная нагрузка трубопровода конечно недопустима.

Для предохранения трубопровода от разрушения температурными деформациями применяют компенсаторы.

Наибольшее распространение получили компенсаторы сальникового типа. Они имеют очень простую конструкцию (рис. 143) и вполне надежны в эксплуатации. Уход за ними прост и состоит в наблюдении за состоянием набивки. При появлении течи подтягивают крышку сальника.

При значительных скоростях в трубах гидромеханизации замерзание воды в них — явление очень редкое.

При определении необходимого расхода для предупреждения замерзания воды в стальных трубах американские специалисты пользуются следующей формулой:

$$q = 0,0246 TA, \quad (156)$$

где

$q$  — расход в л/сек;

$A$  — незащищенная поверхность трубы в  $\text{м}^2$ ,  $A = \pi dL$ , где

$d$  — наружный диаметр трубы и  $L$  — длина незащищенной части;

$T$  — температура ниже  $0^\circ$  в градусах Цельсия.

По этой формуле получается, что труба диаметром 350 мм при незащищенной длине в 500 м и температуре воздуха  $-10^\circ$  гарантирована от замерзания при расходе, большем 142 л/сек, или при скоростях, больших 1,48 м/сек.

#### Д. СИЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ

Гидромеханизация земляных работ является весьма энергоемким видом механизации, поэтому вопрос об энергоснабжении является основным фактором, влияющим на эффективность применения гидромеханизации.

Основными механизмами гидромеханизации являются центробежный насос и землесос. Оба эти механизма как по числу оборотов, так и по характеру нагрузки весьма удобны для агрегирования с электромоторами. Кроме того электромотор является наиболее простым в эксплуатации, компактным и совершенно безотказным двигателем.

Эти преимущества электродвигателей, с одной стороны, и непрерывный бурный рост количества и мощности электростанций — с другой, позволяют рассматривать электрический ток

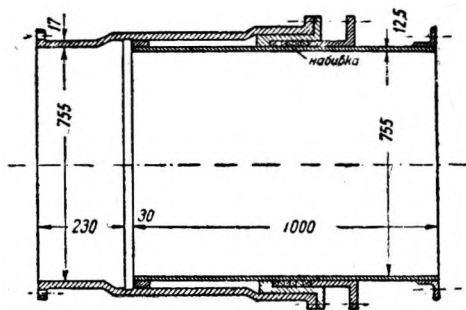


Рис. 143. Сальниковый компенсатор.

как основной вид энергии для гидромеханизированных работ.

Опыт существующих гидроустановок полностью подтверждает это положение.

Значительные мощности электромоторов (в среднем 300—600 квт) заставляют применять высокое напряжение — 6 кв.

Такое напряжение было например на установках гидромеханизации на строительстве канала Москва — Волга, на ряде других строек как в СССР, так и за границей. Подвод энергии, как правило, осуществляется нормальной воздушной линией.

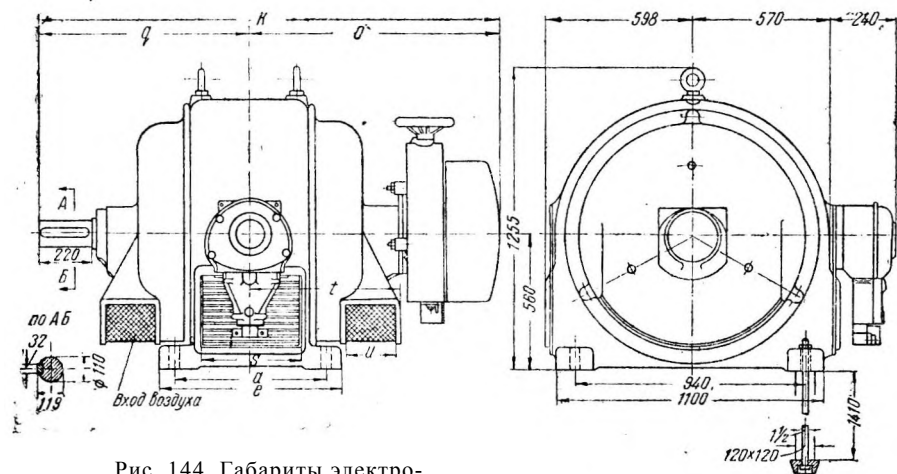


Рис. 144. Габариты электромоторов АМО.

При передвижных агрегатах последний пролет делают из гибкого кабеля. В тяжелых условиях гидромеханизации великолепно зарекомендовал себя кабель марки ГТО. На протяжении четырех лет широкого его применения автору неизвестно ни одной аварии кабеля ГТО за исключением пробоя в воронках, причем пробой всегда являлся результатом недостаточно тщательной разделки.

Кабели ГТО к воздушной линии присоединяются при помощи воронки Фирсова. Прокладка его к снаряду осуществляется на маленьких козелках.

На плавающие снаряды кабель прокладывается по понтонам плавучего пульповода.

На рис. 144 показан общий вид, а в табл. 36 дана основная характеристика мотора типа АМО-14 (значение букв см. на рис. 144). Моторы этого типа хорошо работали на строительстве канала Москва — Волга и на ряде других строек, поэтому они могут быть рекомендованы для широкого применения на гидромеханизации.

Таблица 36

Позиция	Тип	Число об/мин	Мощность в кВт			Вес мотора в кг	а	е	k	o	q	S	t	u	z	Муфта		Расход масла в л/ж. вод.	CD <sub>2</sub> в кг/м <sup>2</sup>
			6 000 об/мин	3 000 об/мин	500 об/мин											тип	вес в кг		
1	АМО 1410-4	1 500	680	850	—	3 380	870	1 010	2 160	1 150	1 010	670	750	200	1 050	ЭМ44	325	147	125,0
2	АМО 148-4		540	700	—	2 980	770	910	2 060	1 100	960	570	700	200	980	ЭМ44	325	136	110,0
3	АМО 147-4		470	600	—	2 815	770	910	2 060	1 100	960	570	700	200	980	ЭМ44	325	120	102,8
4	АМО 146-4		390	500	—	2 630	670	810	1 960	1 050	910	470	650	200	930	ЭМ40	205	105	95,5
5	АМО 1410-6	1 000	410	500	—	3 175	870	1 010	2 160	1 150	1 010	670	750	200	1 030	ЭМ44	325	102	185,0
6	АМО 148-6		330	420	—	2 735	770	910	2 060	1 100	960	570	700	200	980	ЭМ44	325	93	148,0
7	АМО 147-6		280	350	—	2 555	670	810	1 960	1 050	910	470	650	200	930	ЭМ44	325	84	130,6
8	АМО 146-6		240	—	—	2 415	670	810	1 960	1 050	910	470	650	200	930	ЭМ40	205	75	111,5
9	АМО 1410-8	750	300	380	—	2 945	870	1 010	2 040	1 090	950	670	690	160	970	ЭМ44	325	81	200,0
10	АМО 148-8		250	320	350	2 605	770	910	1 940	1 040	930	570	640	160	920	ЭМ44	325	75	171,0
11	АМО 147-8		210	270	—	2 450	770	910	1 940	1 040	900	570	640	160	920	ЭМ14	325	61	156,0
12	АМО 1410-10	600	240	300	340	2 980	870	1 010	2 040	1 090	950	670	690	160	970	ЭМ44	325	72	195,0
13	АМО 148-10		—	250	285	2 590	770	910	1 940	1 040	900	570	640	160	920	ЭМ44	325	66	166,0
14	АМО 147-10		—	210	245	2 450	770	910	1 940	1 040	900	570	640	160	920	ЭМ44	352	57	152,0
15	АМО 146-10		—	—	180	2 275	670	810	1 840	990	850	470	590	160	870	ЭМ40	205	48	139,0
16	АМО 1410-12		500	—	260	280	2 915	870	1 010	2 040	1 090	950	670	690	160	970	ЭМ44	325	66
17	АМО 148-12	—		210	230	2 555	770	910	1 940	1 040	900	570	640	160	920	ЭМ44	325	57	161,0
18	АМО 147-12	—		180	200	2 405	670	810	1 840	990	850	470	590	160	870	ЭМ44	325	51	148,0
19	АМО 146-12	—		—	155	2 250	670	810	1 840	990	850	470	590	160	870	ЭМ40	205	42	134,0



В Америке для землесосов иногда применяются специальные электромоторы с переменным числом оборотов.

В качестве пусковой аппаратуры на передвижных и стационарных установках гидромеханизации применяются моторные ящики типа ЯЖ-14 или ЯЖМ-14. Они достаточно компактны и совершенно не опасны в употреблении.

Ящики обоих типов оборудованы максимальной и нулевой защитой.

Пусковые реостаты для моторов типа АМО-14 имеют масляное охлаждение и магнитный искрогаситель.

Временный характер установок гидромеханизации и опасность для жизни тока высокого напряжения заставляют со всей строгостью придерживаться правил техники безопасности.

Специальные правила техники безопасности для энергетических установок гидромеханизации не разработаны; поэтому к употреблению могут быть рекомендованы „Правила безопасности для электротехнических сооружений на торфяных разработках“, приведенные в приложении к настоящей книге.

Прочие виды силового оборудования (не электрические) на гидромеханизации в СССР почти не применяются, хотя в ряде случаев применять двигатели, работающие на местном топливе, было бы весьма целесообразно.

Например в районах и на ряде работ, не имеющих электроэнергии, могла бы с успехом применяться „малая“ гидромеханизация на двигателях внутреннего сгорания, главным образом на газогенераторных. Отметим, что землесосы производительностью 400 м<sup>3</sup>/час при небольшой высоте подачи могут с успехом агрегироваться с мотором трактора ЧТЗ.

Применение прочих двигателей на гидромеханизации в СССР тормозится отсутствием на рынке мощных, быстроходных и дешевых в эксплуатации двигателей.

Наша машиностроительная промышленность может и должна создать двигатели, удобные для привода насосов и землесосов, и этим еще более раздвинуть область эффективного применения гидромеханизации.

## ***Е. СПЕЦИАЛЬНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ***

### **1. Прибор для определения консистенции пульпы системы инж. А. Е. Иванова**

Схема прибора изображена на рис. 145.

Прибор включается в трубопровод на прямолинейном участке. Площадь трубы  $S$  равновелика площади верхней коробки прибора  $abc$ .

Протекающая пульпа давит через резиновую диафрагму 1 на чистую воду, находящуюся в нижней коробке 2, с силой, зависящей от давления в пульповоде и объемного (удельного) веса пульпы. Объемный же вес, как известно, однозначно связан с консистенцией. Таким образом, определяя разность давлений

на диафрагму помощью пьезометра 3, можно определить консистенцию. Цифрой 4 обозначен стакан-успокоитель, насыпанный промытым песком. Успокоитель предназначен для сглаживания колебаний уровней в пьезометре и для облегчения производства отсчетов. Воронки и краники предназначены для зарядки прибора водой. В холодное время года можно пользоваться любой незамерзающей жидкостью. Колено 5 предназначено для устранения возможности вытекания воды из пьезометра в моменты опорожнения пульповода. Пьезометр — дифференциальный, так что при  $\gamma_n=1,1$  получается  $h = 0,3$  м. Пока прибор работает без интегратора колебаний; в дальнейшем будет введен электрический интегратор.

Расчетная формула для определения по показаниям прибора объемного веса пульпы получается путем простейших рассуждений.

Объем пульпы, находящейся над диафрагмой в данный момент, равен  $F \frac{f}{D}$ , где  $F$  — площадь резиновой диафрагмы;  $f$  — площадь сечения прибора над диафрагмой и  $D$  — ширина верхней коробки, равная ширине диафрагмы.

Вес грунта в объеме пульпы  $F \frac{f}{D}$ , очевидно, равен  $Fh(\gamma_e - \gamma_m)$ , где  $\gamma_e - \gamma_m$  — разность удельных весов воды и масла в пьезометре;  $h$  — показание пьезометра.

Отсюда удельный вес пульпы будет:

$$\gamma_n = \frac{F \frac{f}{D} 1 + Fh(\gamma_s - \gamma_m)}{F \frac{f}{D}} = 1 + \frac{D}{f} h(\gamma_s - \gamma_m).$$

Выражение  $(\gamma_s - \gamma_m) \frac{D}{f}$  будет, очевидно, постоянным числом. Обозначая его через  $k$ , получим:

$$\gamma_n = 1 + kh. \quad (132)$$

Описанный прибор хотя и не является окончательно опробованным, но по своей идее заслуживает безусловного внимания.

## 2. Электроакустический динамометр

Электроакустический динамометр, или, что то же, струнный метод измерения деформации, предложен проф. Н. Н. Давиденковым в 1926 г. Этот метод основан на том, что частота колебаний, а следовательно и высота звука струны связана с натяжением ее вполне определенной зависимостью, а именно:

$$N = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{gF}{\omega\gamma}}, \quad (133)$$

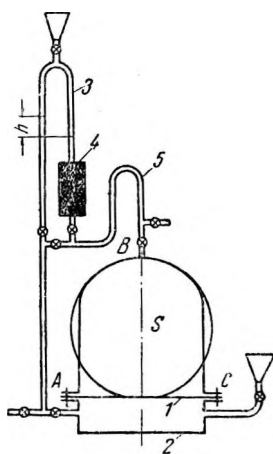


Рис. 145. Схема прибора для определения консистенции гидромассы.

где  $N$  — частота колебаний струны в секунду;  
 $l$  — длина струны в см;  
 $g$  — ускорение силы тяжести в см/сек<sup>2</sup>;  
 $F$  — сила натяжения струны в кг;  
 $\omega$  — площадь сечения струны в см<sup>2</sup>;  
 $\gamma$  — объемный вес материала струны в кг/см<sup>3</sup>.

Если в уравнении (133) заменить  $\frac{F}{\omega}$  через  $\sigma_{cm}$ , а  $\frac{\gamma}{g}$  — через  $\rho$ ,  
 где  $\sigma_{cm}$  — напряжение струны в кг/см<sup>2</sup>;  
 $\rho$  — плотность массы материала струны в кг · сек<sup>2</sup>/см<sup>4</sup>, то

$$N = \frac{1}{2l} = \sqrt{\frac{\sigma_{cm}}{\rho}}, \quad (134)$$

откуда

$$\sigma_{cm} = 4l^2\rho N^2.$$

При закладке динамометра в сооружение струна уже имеет некоторое натяжение, следовательно изучающего напряжения в сооружении будет интересовать не абсолютное значение  $\sigma_{cm}$ , а ее приращение в связи с передачей напряжений от сооружения.

Приращение  $\Delta\sigma_{cm}$  может быть, очевидно, выражено так

$$\Delta\sigma_{cm} = 4l^2\rho(N_k^2 - N_n^2), \quad (135)$$

где  $N_k$  и  $N_n$  — конечная и начальная частота колебаний.

Изменяя частоту колебаний и вводя в формулу (134) коэффициенты, учитывающие искажение прибора (так как в общем случае напряжение в приборе не равно напряжению в сооружении), по формуле (135) можно подсчитать напряжения в сооружении. Схема грунтового электроакустического динамометра показана на рис. 146. Сам прибор (конструкция инж. Бомбчинского) состоит из круглой металлической коробки 1, герметически закрываемой крышкой 2. К днищу коробки прикреплены две консоли 3, между которыми натянута струна 4. При прогибе крышки натяжение струны будет, очевидно, меняться в строгом соответствии с величиной прогиба, которая в свою очередь зависит от внешнего давления на нее. Внутри коробки динамометра находится небольшой электромагнит 5. Если кнопкой 6 замкнуть цепь электромагнита, питаемого от батареи 7, то струна притянется к сердечнику. При опускании кнопки цепь разомкнется и струна получает возможность свободно колебаться с частотой, свойственной ее натяжению в данный момент.

Колебание струны индуцирует в цепи электромагнита переменный ток с частотой, равной числу колебаний струны. Ток, возникающий в обмотке электромагнита, подается в ламповый

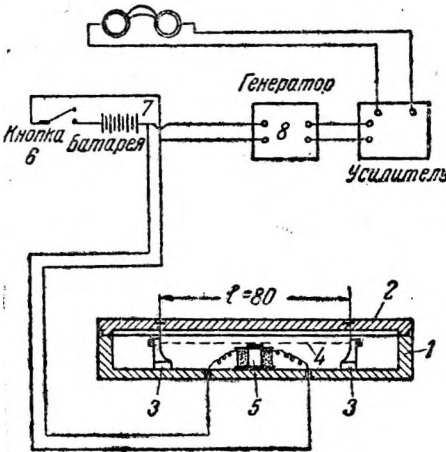


Рис. 146. Динамометр Бомбчинского.

усилитель низкой частоты, откуда попадает в телефон, где воспроизводится как звук, высота которого меняется с натяжением струны. Генератор 8 может генерировать колебания произвольной частоты, устанавливаемой оператором. Эти колебания также подаются в телефон.

Настроив по слуху генератор одинаково со струной, по шкале определяется частота колебаний. Градуировка генератора делается при помощи специальных весьма точных приборов.

Опытный оператор может таким способом определить число колебаний с точностью до 1—2 пер/сек.

По числу колебаний определяется натяжение струны, а затем и напряжение в сооружении. Каждый прибор предварительно тщательно тарируется в баке с водой, где могут произвольно задаваться любые давления. В результате тарировки получается кривая зависимости показаний генератора от давления на крышку прибора. Оператор таким образом, не делая сложных вычислений, подчас невозможных из-за отсутствия необходимых коэффициентов, по тарировочной кривой может определить давление в зоне нахождения прибора.

Так же как и коробка Гольдбека, прибор может закрепляться в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Электроакустический динамометр не является еще вполне опробованным прибором, но ряд предварительных испытаний на Волгострое и в лаборатории гидромеханизации Куйбышевского гидроузла показывает, что уже сейчас он точнее коробок Гольдбека. Правильность и точность принципов, лежащих в основе электроакустического динамометра, позволяют думать, что эти приборы после их окончательного освоения позволят решить весьма важный вопрос о точном контроле за напряжениями внутри намывных сооружений.

### 3. Коробка Гольдбека

Коробка Гольдбека (рис. 147) состоит из чугунного цилиндрического корпуса 1, на бортовых выступах которого неподвижно закрепляется помощью зажимного кольца 2 и стальных винтов 3 тонкая латунная кольцевая диафрагма 4, зажатая в свою очередь между двумя чугунными дисками — верхним 5 и нижним 6 — стальными винтами 7. Между дисками и зажимным кольцом имеется круговой зазор, допускающий свободные перемещения диафрагмы при колебаниях. В центре корпуса под нижним диском закрепляется стальной контакт 8, изолированный от корпуса бакелитовым цементом, служащим одновременно средством его закрепления.

В свободном состоянии нижний чугунный диск опирается на стальной контакт. Подвод тока к контакту осуществляется посредством изолированного проводника 9, уложенного в оцинкованной трубке 10, электрически связанной с корпусом коробки и служащей обратной линией тока. Для предохранения внутренней коробки от влажности и проникания грунта в наружный кольцевой зазор коробка покрывается сверху латунной

оболочкой 11. Вся поверхность коробки кроме того изолируется от температурных влияний асфальтовым лаком.

Принцип работы коробки основан на уравнивании наружного давления грунта, воздействующего на диафрагму внутренним давлением сжатого воздуха, подводимого в коробку через оцинкованную трубку 10 от компрессорной установки. В момент равновесия происходит разрыв электрической цепи между стальным контактом 8 и нижним диском 6, что фиксируется контрольной электрической лампочкой, включенной в ту же цепь тока. Отсчет показаний производится по воздушному контрольному манометру.

При помощи коробки Гольдбека определяются отдельно горизонтальные и вертикальные составляющие давления грунта в ядре плотины в зависимости от ее положения.

В принципе работы коробок Гольдбека имеется один весьма существенный недостаток — коробки Гольдбека измеряют по существу не давление грунта, а его сопротивление перемещению.

Этим недостатком не обладает описанный выше электроакустический динамометр системы Бомбчинского.

#### 4. Электрический способ измерения скоростей в пульповоде

Измерение скоростей в пульповодах осложнено наличием в пульпе твердых взвешенных частиц, поэтому обычные способы (трубки „Пито“, водомеры „Вентури“ и пр.) дают мало точные результаты.

Электрический способ измерения скоростей в пульповоде основан на резком уменьшении электрического сопротивления пульпы при введении в нее электролита.

Представим себе, что в пульповод, правее первой пары электродов (рис. 148), каким-то способом введен некоторый объем электролита. Прохождение этого объема мимо первой пары электродов вызовет, очевидно, резкое снижение сопротивления в цепи, замыкающей батарею, которое будет отмечено колебанием стрелки миллиамперметра.

Прохождение объема электролита мимо второй пары произведет аналогичное действие, и момент этот может быть также зафиксирован при помощи миллиамперметра.

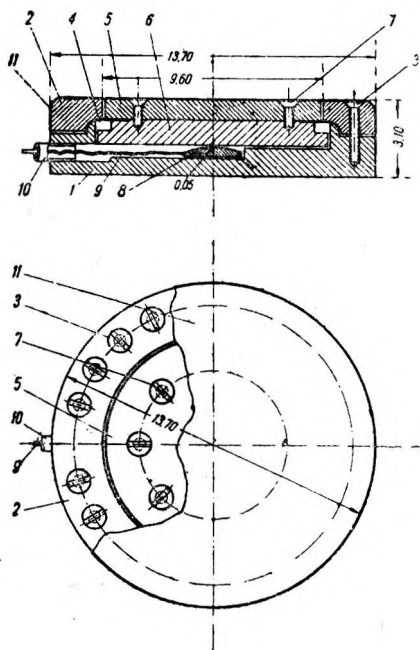


Рис. 147. Коробка Гольдбека.

Замерив при помощи секундомера время  $T$ , протекшее между максимумами показаний миллиамперметра, и зная расстояние  $L$  между первой и второй парой электродов, можно, очевидно, вычислить скорость в пульповоде по формуле:

$$v = \frac{L}{T}. \quad (136)$$

Описанный способ с успехом был применен на строительстве Южной гавани в Москве, причем электролит создавался введением непосредственно во всасывающий трубопровод землесоса пакетика с поваренной солью.

Более точные результаты могут быть получены, если электролит

инъектировать в пульповод шприцем специальной конструкции.

Простота электрического метода измерения скоростей создает перспективу широкого внедрения его в гидромеханизацию.

Однако следует отметить, что показания при электрическом способе измерения скоростей будут относиться к жидкой части пульпы.

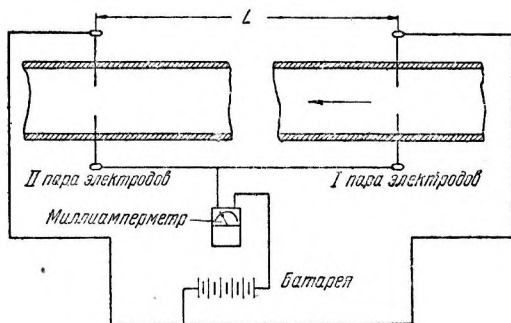


Рис. 148. Схема электрического способа замера скоростей.

### Глава III

## ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ

Как уже указывалось в главе I, земляные работы, выполняемые методом гидромеханизации, включают в себя: 1) экскавацию грунта, 2) транспорт грунта и 3) укладку грунта.

Каждая из этих операций может решаться в зависимости от конкретной обстановки различными методами. В табл. 37 приведены основные разновидности этих решений, та или иная комбинация которых дает гидромеханизованный комплекс.

Таблица 37

Элементы гидромеханизации земляных работ и разновидности их решений			
Экскавация грунта	а) Разрыв гидромонитором	б) Всасывание из-под воды	в) Экскаватором
Транспортирование грунта	а) Самотеком	б) Землесосом	в) Гидроэлеватором
Укладка грунта	а) Отвалы	б) Профильная некачественная насыпь	в) Профильная качественная насыпь

Нетрудно подсчитать, что может быть 27 различных комбинаций, 24 из которых встречаются на практике. Количество возможных комбинаций элементов гидромеханизации наглядно подчеркивает зависимость метода от природных условий и одновременно его гибкость.

## А. ОРГАНИЗАЦИЯ ГИДРОМОНИТОРНЫХ РАБОТ

### 1. Организация работы гидромонитором в забое

Разрушение грунта гидромонитором осуществляется по методу „снизу вверх” или „сверху вниз”. Оба метода имеют свои преимущества и недостатки. Способ размыва „снизу вверх” изображен на рис. 149. К достоинствам этого способа следует отнести большую производительность. Грунт подмывается и обваливается под влиянием собственного веса, разрушаясь при этом. Струю можно направлять почти перпендикулярно к стенке забоя,

что, как указывалось выше, также благоприятно отражается на производительности.

Неудобство способа размыва „снизу вверх” заключается в том, что затруднено управление потоком пульпы и струя монитора не может содействовать движению пульпы в забое.

Уклон подошвы забоя может получиться поэтому большим, что нежелательно.

При работе „снизу вверх” неудобно также и то, что монитор вместе с трубами может оказаться на пути потока пульпы и благодаря этому заносится грунтом.

При неопытном мониторинге нередко перед передвижкой монитора трубы приходится откапывать. К недостаткам этого метода следует еще отнести некоторую опасность работы при высоких забоях.

Второй способ изображен на рис. 149.

Размыв по этому методу менее производителен, но удобен по следующим соображениям:

а) монитор всегда находится на сухом месте, и работающему не угрожает обвал забоя;

б) работы по перестановке монитора с места на место, как правило, менее трудоемки;

в) мониторинг в связи с тем, что направление струи совпадает с направлением движения пульпы, имеет возможность подгонять и направлять разжиженный грунт так, как этого требуют обстоятельства, и этим значительно уплаживать подошву забоя.

Размыв по способу „сверху вниз” при наличии мощного растительного слоя особенно малопродуктивен вначале. Для

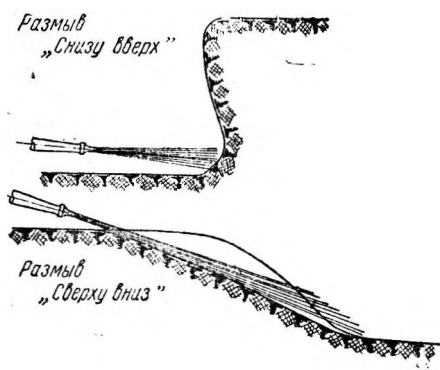


Рис. 149. Размыв „снизу вверх” и „сверху вниз”.

увеличения производительности рекомендуется производить пропашку в направлении, перпендикулярном струе монитора. При плотных грунтах способ „сверху вниз“ неприменим совсем.

Меньшая сравнительно с размывом „снизу вверх“ производительность второго способа является следствием того, что не используется разрушение грунта вследствие обрушения, и что угол встречи струи и забоя значительно отличается от прямого.

Иногда размыв „сверху вниз“ удается организовать так, что он, не теряя своих преимуществ, приобретает почти полностью достоинства размыва „снизу вверх“. На рис. 150 показана схема такого размыва.

Первоначально прорывают гидромонитором узкую канаву от бровки до самого монитора, затем размыв ведут по радиусам.

Размытый грунт стекает в центральную канаву и очень скоро перед мониторщиком образуется стенка и размыв можно вести с подбоем.

При работе монитором независимо от деталей организации отдельных процессов для получения высокой интенсивности размыва необходимо соблюдать следующие основные положения

а) Размыв должен вестись все время с обрушением, т. е. струя воды должна направляться на низ откоса и тем вызывать обрушение вышележащего грунта.

б) Нужно избегать направления струи воды в ямы с водой, образующиеся у подножья откосов, так как при ударе о водяную подушку, даже при ее небольшой толщине, разрушающая сила воды значительно уменьшается.

в) Размыв нужно вести, не беспорядочно направляя струю в различные места, и не сосредоточенно направляя удар в одну точку, а непрерывно, медленно перемещая струю воды с одного бока на другой, держа ее примерно в одной плоскости; затем, совершив возможно полный поворот гидромонитора и приподняв струю несколько выше, следует поворачивать гидромонитор в обратную сторону. Такой способ увеличивает эффект размыва и удлиняет срок службы кожаных прокладок монитора.

г) Необходимо следить, чтобы интенсивность размыва, т. е. консистенция пульпы, все время была примерно одинаковой. Для этого необходимо равномерно чередовать размыв обрушенного грунта с подбоем, так как размыв обрушенного грунта дает высокую производительность, а подбой — низкую.

д) Размыв малосвязных грунтов (песков) следует вести с максимально допустимым (см. ниже) уклоном подошвы забоя,

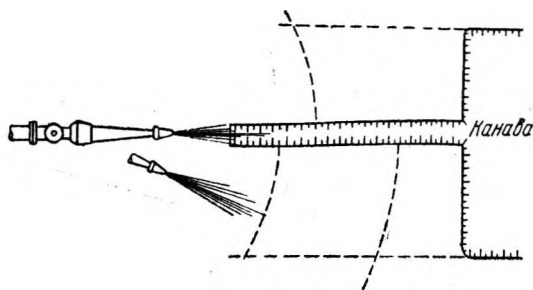


Рис. 150. Рациональная схема размыва „сверху вниз“



так как большой уклон обеспечивает движение пульпы высокой консистенции.

е) Размыв плотных грунтов следует вести точно по заданному уклону подошвы забоя.

При разработке забоя, сложенного из пластов различных грунтов, иногда бывает выгодно разработку вести слоями. Так, при забое, в котором глина прикрыта слоем песка высотой 4—5 м, как правило, выгоднее работать двумя ярусами. Сначала следует смыть песок с максимальной консистенцией, не боясь больших уклонов подошвы забоя, и затем разрабатывать слой глины, применяя при этом, если потребуется повышенный напор или даже механическое или взрывное рыхление.

Из практики известны случаи, когда такая система разработки оказывалась выгодной даже при незначительной высоте забоя (порядка 3 м).

Работать двумя ярусами может оказаться выгодным и в том случае, если мощный песчаный забой по засоренности гравием и булыгой отчетливо делится на два пласта, причем более засоренный пласт находится внизу. В этом случае верхний пласт может быть разработан обычным способом с большой производительностью, тогда как при разработке нижнего должны применяться специальные устройства для защиты землесосов от крупных камней. Например камнеудаляющие норы.

Если же нижний пласт размывается легче верхнего, то и здесь выгодно смыть верхний ярус при большом уклоне подошвы забоя (что важно для смыва крупных камней), а затем на легко разрабатываемом грунте понизить уклон подошвы до предела.

## 2. Размыв с предварительным разрыхлением

При разработке тяжелых суглинков и глин эффективность размыва падает настолько, что делается необходимым применять предварительное разрыхление.

### Разрыхление взрывами

Взрывчатые вещества и взрывные работы являются одним из могущественных видов механизации горных и земляных работ. Наибольшее распространение взрывной метод получил при разработке скальных грунтов, но не менее успешно взрывной метод применяется при разработке плотных грунтов, например глин. При забое высотой 5—6 м 4 кг аммонита обеспечивают разрыхление 40 м<sup>3</sup> грунта, что в 3—4 раза увеличивает эффективность размыва.

Шпуров делают диаметром 60—70 см в шахматном порядке, через 4—5 м друг от друга. Подготовка шпуров является наиболее трудоемкой частью взрывных работ, но все же на одного подрывника легко получается выработка порядка 500 м<sup>3</sup> в смену, т. е. такая, какая не может быть обеспечена ни одним другим способом механизации.

Стоимость разрыхления наиболее тяжелых глин взрывным методом составляет 40—50 коп. на 1 м<sup>3</sup>.

В большом масштабе предварительные взрывы в мониторинжных забоях применялись на постройке Тейлорсвилльской намывной плотины в Америке. Взрывные работы с успехом применялись автором на гидромеханизации в Карамышевском районе строительства канала Москва — Волга. При разработке Хорошевского спрямления Москва-реки зимой 1935 г. взрывами разрушался мерзлый слой грунта. Летом 1936 г. при разработке срезки правого берега Москва-реки у деревни Татарово взрывы применялись для рыхления тяжелых „жирных“ глин.

В 1933 г. с успехом применяли рыхление торфяного мерзляка помощью взрывов на Шатурском Гидроторфе. Обнаружилось, что заряды аммонита весом по 300 г дробят мерзлоту на куски не более 0,3—0,4 м в поперечнике. Полное оттаивание этих кусков длилось 2—3 дня вместо двух месяцев в естественных условиях. Опыт применения взрывного метода для увеличения интенсивности размыва весьма незначителен, но с уверенностью можно сказать, что в ряде случаев он может дать огромный экономический эффект и сделать возможным применение гидромеханизации в самых плотных глинах, размыв которых без рыхления невозможен.

### Предварительное рыхление при помощи экскаватора

При выемке котлована шлюза № 9 канала Москва — Волга с успехом была применена следующая организация работ. Экскаватор типа ППГ, оборудованный лопатой, разрабатывал забой из тяжелых суглинков и глин. Разрыхленный грунт укладывался тут же, размывался мониторами и далее перекачивался землесосами на отвал. Применение экскаватора повысило эффективность размыва в 6—7 раз, соответственно снизив суммарную стоимость разработки.

В рассмотренном примере гидромеханизация оказалась рентабельной только благодаря применению экскаватора в качестве рыхлителя. При размыве плотных грунтов всегда следует рассмотреть возможность использования экскаватора. Стоимость работы экскаватором в плотных грунтах на вымет составляет примерно 60—70 коп. за 1 м<sup>3</sup>. Таким образом экономия 4—5 квт-ч на кубометре, при стоимости 1 квт-ч в 15 коп. уже окупает применение экскаватора.

Как известно, при размыве глин и тяжелых суглинков расход энергии может достигать 15 квт-ч и более на 1 м<sup>3</sup>, так что повышение интенсивности размыва на 35—40% уже оправдывает применение экскаватора для разрыхления.

### 3. Передвижки гидромониторов

Монитор перед началом работ устанавливается на минимальном расстоянии от стенки забоя. Это минимальное расстояние принимают по соображениям техники безопасности равным заложению угла естественного откоса размываемого грунта.

Максимальное расстояние от монитора до забоя определится максимальной дальностью эффективного действия его струи. Объем грунта, размываемый монитором с одной стоянки, может быть из элементарных геометрических соотношений (рис. 151) определен с достаточной точностью уравнением (137):

$$V = bH(L_{\max} - L_{\min}) - \frac{bi}{2}(L_{\max} - L_{\min})^2, \quad (137)$$

где  $V$  — объем, размываемый монитором с одной стоянки;

$L_{\min}$  — минимальное расстояние от монитора до забоя;

$L_{\max}$  — максимальное расстояние монитора от забоя;

$H$  — высота забоя в начале;

$i$  — уклон подошвы забоя;

$b$  — ширина забоя (не более  $2 L_{\max}$ );

если  $L_{\max} - L_{\min}$  обозначить через  $S$ , то выражение (137) примет вид:

$$V = bS \left( H - \frac{iS}{2} \right). \quad (138)$$

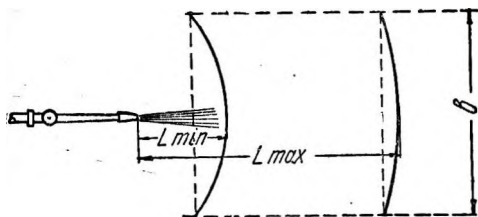


Рис. 151. К схеме передвижки монитора.

Увеличение объема  $V$ , вырабатываемого монитором с одной стоянки, выгодно в том отношении, что уменьшает количество передвижек монитора и следовательно вместе с за-

тратой рабочей силы на передвижку.

В другом отношении увеличение объема выработки с одной стоянки невыгодно, так как с удалением забоя от монитора снижается эффективность размыва. В первом приближении можно принять, что зависимость производительности монитора от времени работы на одном месте может быть выражена<sup>1</sup> уравнением (139):

$$V_t = -kt + B, \quad (139)$$

где  $V_t$  — производительность монитора в каждый данный момент;

$t$  — время (без перерывов), прошедшее от начала работы монитора на данной стоянке до момента, к которому относится производительность  $V_t$ ;

$k$  и  $B$  — некоторые параметры, определяемые опытным путем.

Если через букву  $T$  обозначить время, затрачиваемое на передвижку монитора, то средняя производительность мони-

<sup>1</sup> См. статью инж. Цейтлина А. С. „Оптимальное время работы монитора на одном месте“, „Гидротехническое строительство“ № 7—8, 1938 г.

Эту же задачу поставил еще ранее инж. Иванов А. Е. в статье „Экономически выгодный предел дальности работы гидромонитора в забое“, „Гидротехническое строительство“ № 4, 1934 г., однако полученное им решение неудобно для практического пользования.

тора за цикл (передвижка плюс работа) может быть очевидно, выражена дробью:

$$V_{cp} = \frac{\sum V_t}{t + T}. \quad (140)$$

Числитель этой дроби представляет объем грунта, выработанный с одной стоянки, а знаменатель — продолжительность цикла  $\sum V_t$  может быть выражено так:

$$\sum V_t = \int_0^t (-kt + B) dt, \quad (141)$$

что дает:

$$\sum V_t = -0,5kt^2 + Bt + C, \quad (142)$$

при  $t = 0$

$V_t$  равняется нулю и  $C = 0$ ,

Следовательно уравнение (142) при  $t = 0$  принимает вид:

$$\sum V_t = -0,5kt^2 + Bt. \quad (143)$$

Поэтому (140) можно переписать так:

$$V_{cp} = \frac{-0,5kt^2 + Bt}{t + T}. \quad (144)$$

Выбор оптимальной продолжительности работы монитора сводится к определению максимума выражения (144). Дифференцируя это выражение по  $t$ , приравнявая нулю и решая полученное уравнение относительно  $t$ , получаем:

$$t = -T + \sqrt{T^2 + 2T \frac{B}{k}}, \quad (145)$$

$t$ , определяемое этим уравнением и будет оптимальной производительностью работы монитора на одном месте.

Оптимальный объем, размываемый монитором с одной стоянки, выразится так:

$$V = V_{cp}(t + T). \quad (146)$$

Приравнявая правые половины равенств (138) и (146), получим:

$$bS \left( H - \frac{iS}{2} \right) = V_{cp}(t + T). \quad (147)$$

Решая относительно  $S$ , получим равенство:

$$S = \frac{H}{i} \pm \sqrt{\frac{H^2}{i^2} - 2 \frac{V_{cp}(t + T)}{ib}}. \quad (148)$$

$S$  является разностью максимального и минимального расстояний монитора от забоя. Поэтому, задаваясь для  $L_{min}$  минимальным, приемлемым по соображениям техники безопасности расстоянием, определим  $L_{max}$  из уравнения:

$$L_{max} = S + L_{min}. \quad (149)$$

Для определения значений коэффициентов [формула (139)]  $k$  и  $B$  необходимо по данным почасового учета построить прямую

$$V_t = f(t)$$

Тогда пересечение этой прямой с осью  $V_t$  даст значение коэффициента  $B$ . Коэффициент  $k$  выразится (как угловой коэффициент прямой) дробью:

$$k = \frac{V_{t_2} - V_{t_1}}{t_2 - t_1} . \quad (150)$$

Разберем на примере пользование формулами настоящего раздела.

**Пример.** Требуется определить оптимальное время работы монитора на одной стоянке и максимальное расстояние от монитора до забоя.

Дано: 1) таблица хронометражных почасовых наблюдений за работой монитора;

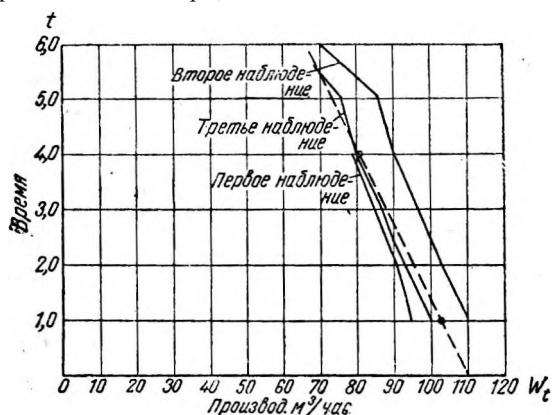


Рис. 152. Кривые наблюдений за работой монитора.

параметры  $B$  и  $k$ . Прямая пересекает ось  $V_t = 110 \text{ м}^3/\text{час}$ . Следовательно  $B = 110$ .

Для определения  $k$  выберем на прямой две произвольные точки  $I$  и  $II$ . Координаты этих точек будут  $I (4; 1)$  и  $II (1; 103)$ . Следовательно  $k$  определится выражением:

$$k = \frac{103 - 81}{1 - 4} = -7,34.$$

Таким образом  $B = 110$ ,  $k = + 7,34$ . Для  $k$  знак минус отбрасываем, так как он введен при составлении формулы (139). Подставляя найденные значения параметров в уравнение (145), для нашего случая найдем:

$$t = -1 + \sqrt{1^2 + 2 \cdot 1 \frac{110}{7,3}} = 4,6 \text{ часа.}$$

Оптимальное время работы монитора на одной стоянке в дан-

ных условиях будет таким образом 4,6 часа. Определим теперь по уравнению (144) значение  $V_{cp}$ :

$$V_{cp} = 77 \text{ м}^3/\text{час.}$$

Зная  $V_{cp}$  по уравнениям (148) и (149), можно определить максимальное удаление забоя. В рассматриваемом примере

$$L_{max} = 11 \text{ м.}$$

Шаг монитора  $S = 7 \text{ м}$ , т. е. при передвижках монитор должен перемещаться вперед на 7 м. Такие перемещения проще всего получать, имея отрезки труб для наращивания длиной 7 и 3,5 м. Но так как трубы могут быть заготовлены и другой длины, то для получения нужного шага монитора приходится пользоваться вспомогательными отрезками трубы, длина которых определяется подбором. Так например, располагая отрезками труб нормальной длины 6 м, 7-м шаг может быть получен при помощи трех дополнительных отрезков труб  $l_1 = 1 \text{ м}$ ;  $l_2 = 2 \text{ м}$  и  $l_3 = 3 \text{ м}$ .

Действительно:

#### Набор труб

6+1=7	(первая передвижка)
6+6+2=14	(вторая " )
(3•6)+2+1=21	(третья " )
(4•6)+3+1=28	(четвертая " )
(5•6)+3+2=35	(пятая " )
(6•6)+3+2+1=42	(шестая " )
(8•6)+1=49	(седьмая " )
(9•6)+2=56	(восьмая " )
(10•6)+3=63	(девятая " )
(11•6)+3+1=70	(десятая " )
(12•6)+3+2=77	(одиннадцатая " )

и. т. д.

Приведенные выше формулы и метод расчета оптимальной продолжительности стоянки монитора на одном месте конечно не претендуют на универсальность и точность, но в ряде случаев подсчет по указанным формулам совместно с необходимыми предварительными и последующими контрольными наблюдениями безусловно может дать весьма благоприятные результаты.

Во всех случаях, когда это позволяет наличие труб, задвижек и мониторов, целесообразно работать с резервным монитором.

Пока размыв ведется монитором  $A$ , монитор  $B$  подготавливается к перестановке.

Когда удаление забоя от монитора  $A$  начинает достигать своего предельного значения, монитор  $B$  начинают передвигать ближе к забою. Передвинув монитор  $B$ , пускают его в работу и останавливают монитор  $A$ . Процесс повторяется в таком же порядке и дальше.

При такой схеме работ размыв может вестись почти без перерывов. При работе небольшим монитором перерывы в ра-

боте могут быть сведены к нулю, если монитор питать двумя шлангами так, как показано на схеме рис. 153. Монитор установлен на большой телеге или передвигается на катках, работу начинают с положения I; по мере удаления забоя монитор, не выключая, двигают вперед, затем, когда остается еще некоторый запас шлангов, один из шлангов помощью задвижек выключается, трубы наращиваются и шланг подключается вновь, имея петлю, обеспечивающую возможность дальнейшего перемещения монитора вперед, затем выключается второй шланг и т. д.

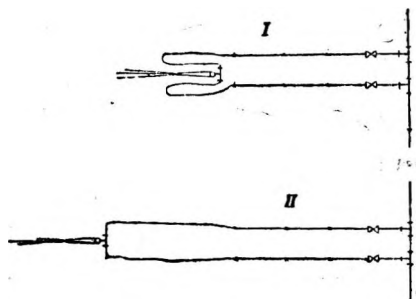


Рис. 153. Схема питания монитора двумя шлангами.

#### 4. Самотечный гидротранспорт

В простейшем случае размытый монитором грунт самотеком стекает к месту отвала или в тело сооружения. В главе I изложены теоретические основы и данные для расчета самотечного гидро-

транспорта грунта, поэтому здесь мы ограничимся некоторыми практическими указаниями по организации этого процесса.

Условия, необходимые для применения самотечного гидротранспорта. Необходимое и достаточное условие, обеспечивающее возможность применения гидротранспорта, может быть выражено так: частное от деления разности отметок подошвы забоя и верха намываемого сооружения (или отвала) на расстояние от сооружения (или отвала) до забоя, измеренное по трассе, пригодной для устройства лотка, не должно быть меньше минимального уклона, приемлемого для лотков, транспортирующих грунт данной крупности, т. е.

$$i_{\min} \leq \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (151)$$

где  $i_{\min}$  — минимальный уклон лотков;

$H_1$  — отметка подошвы забоя;

$H_2$  — отметка верха сооружения или отвала;

$L$  — расстояние от забоя до сооружения или отвала, измеренное по трассе, пригодной для устройства лотков.

Участок работ, где выполняется это условие, встречается крайне редко. Значительно чаще самотеком удастся решить задачу только частично, а именно — переместить верхние слои забоя к подошве отвала или сооружения. Но и такое частичное решение задачи может дать огромный экономический эффект, потому что стоимость самотечного гидротранспорта во много раз ниже стоимости перекачивания землесосами.

На рис. 154 представлен случай частичного решения задачи самотеком, т. е. случай, когда неравенство (151) не удовлетворяется. В правом верхнем углу рисунка толстой линией ограничен забой, из которого должна быть намыта дамба. Самотеком ввиду недостаточной разности отметок может быть намыта только заштрихованная часть дамбы высотой  $h$ , для чего должен быть использован слой забоя  $h_1$ .

Для правильной организации работ важно уметь определить  $h$  и  $h_1$ . Величины  $h$  и  $h_1$  могут быть определены решением следующей системы двух уравнений:

$$\frac{h}{H} [\omega + 0,5(H-h)(B-b)] = \frac{h_1}{H_1} [\omega + 0,5h_1(B_1-b_1)]$$

и

$$\frac{H_2 + H_1 - h_1 - h}{L} = i. \quad (152)$$

Значения букв показаны на рис. 154. Оба уравнения получены из простейших геометрических соображений и двух условий:

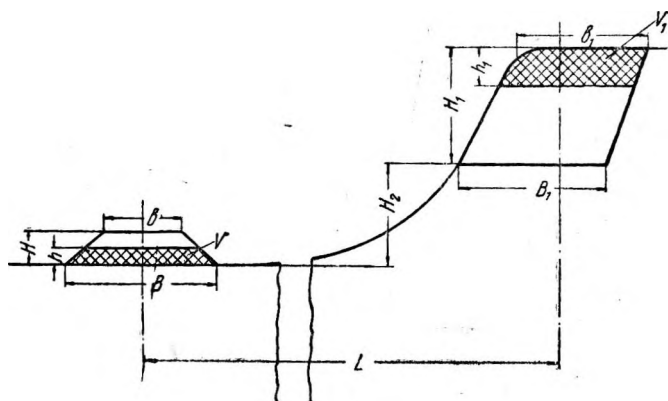


Рис. 154. Схема частичного самотека.

а)  $\omega = \omega_1$  и б) заштрихованные объемы должны удовлетворять неравенству (151). Решение системы уравнений на буквах ввиду его громоздкости не приводится; после подстановки числовых значений система уравнений (152) решается очень просто. Для других аналогичных случаев (другие очертания забоя и сооружения) также могут быть составлены соответствующие системы уравнений.

Трассировка лотков. Лотки в зависимости от своего назначения могут быть разбиты на три группы: а) приемные лотки в забое, б) магистральные лотки и в) лотки на отвалах.

а) Лотки в забое. Расположение лотков первой группы целиком диктуется принятой схемой разработки забоя. При небольшой ширине разработки применяется один центральный лоток, наращиваемый звеньями по мере удаления стенки забоя. Частота наращивания, а следовательно и длина каждого нара-



щивания выбирается в зависимости от характера грунта. В крупных грунтах наращивать приходится чаще, чем в мелких, для подтекания которых не требуется больших уклонов.

Перед наращиванием лотка подошва забоя на трассе лотка должна быть уположена до уклона, принятого по расчету для лотка. Уполаживание уклона достигается чаще всего промывкой русла водой из монитора.

В тех случаях, когда вследствие большой ширины забоя один центральный лоток вопроса не решает, с успехом применяется елочная схема лотков (рис. 155). От центрального лотка в стороны делаются отводы. Некоторые из этих отводов могут иметь в свою очередь дополнительные отводы. Порядок разработки, а следовательно и установки лотков показан на рис. 155 римскими цифрами. Ответвления от главного лотка следует делать легкоразборными, что позволяет собирать новую ветвь из звеньев освободившейся. Так например, по мере наращивания ветви 3 разбирается освободившаяся ветвь 2 и т. д. На

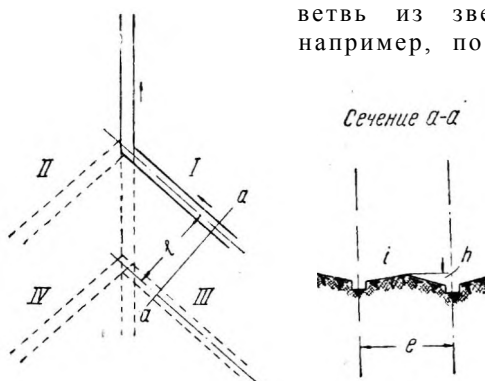


Рис. 155. Елочная схема лотков.

риг. 155 показано сечение выработанного участка по линии А — В. Расстояние между ответвлениями  $l$  лимитируется, очевидно, допустимым значением  $h$ , которое выбирается в зависимости от характера производимых работ. Если через  $i$  обозначить уклон образуемый подошвой забоя,

то  $l$  может быть определено по формуле:

$$l = \frac{2h}{i}. \quad (153)$$

Иногда необходимость в лотках в забое возникает после выработки значительной площади. Необходимость эта является обычно следствием ошибки в определении уклона подошвы забоя, а именно вследствие того, что уклон подошвы забоя в натуре оказался больше, чем это предполагалось.

Придание лотку требуемых уклонов в этом случае связано с трудоемкой работой по их заглоблению.

Для заглобления иногда с успехом может быть применен следующий способ. По трассе лотка устанавливаются щиты (боковые стенки лотка) так, чтобы ими образовался лоток без дна. Поток пульпы направляется между щитами и, будучи сильно сужен ими, размывает поверхность грунта между щитами и уполаживает уклон.

Таким образом удается прорыть канаву на нужную глубину, после чего по ней устанавливается лоток.

Этот способ был с успехом применен на работах по срезке

правого берега Москвы-реки против входа в шлюз № 9 канала Москва — Волга.

б) Магистральные лотки. К магистральным лоткам относятся лотки между забоем и отвалами (или намываемым сооружением). Эти лотки делаются по сравнению с лотками в забое более капитально, так как обычно в процессе работ они не переносятся с места на место. Длина магистральных лотков, а следовательно и стоимость их в отдельных случаях могут достигать очень большой величины, поэтому вопрос о правильном выборе трассы магистральных лотков должен быть решен путем тщательного сравнения ряда возможных вариантов.

Прямой лоток хотя и имеет минимальную длину (следовательно максимальный уклон и пропускную способность), но не всегда дает экономически выгодное решение.

Прямой лоток часто требует высоких эстакад и других дорогостоящих искусственных сооружений, поэтому лоток ломаный, приспособленный к рельефу местности, может оказаться экономичнее.

Магистральные лотки иногда целесообразно покрывать специальной броней, повышающей их сопротивляемость износу.

в) Лотки на отвалах. Лотки на отвалах или на намываемом сооружении, называемые также распределительными, имеют назначение распределить грунт так, как это требуется проектом. Подробно о намыве сказано ниже в соответствующем разделе настоящей главы.

Распределительные лотки наращиваются по мере продвижения намыва по территории отвалов или по фронту возводимого сооружения. Схема наращивания целиком зависит от принятой схемы намыва. Для намыва площадей с успехом применяется елочная схема, совершенно аналогичная описанной для забоев.

Для лучшего распределения пульпы и дробления потока, что весьма существенно влияет на характер отложения грунта в сооружение, в лотках рассматриваемой группы делаются щелевые выпуски по длине. На намыве удобнее всего применять лотки разборные или звеньевые. Лоток, строящийся на месте, не удобен.

Распространенное мнение, что течи лотков на отвалах не опасны и борьбы с ними можно не вести, — ошибочно. Дело в том, что через щели вытекает наименее насыщенная грунтом часть пульпы, благодаря чему средняя консистенция пульпы легко может превзойти некоторое критическое значение и лоток закупорится. Если при этом не остановить на время работу, то все, или большая часть лотков на отвалах могут оказаться засоренными грунтом.

Эксплуатация лотков. Лотки, транспортирующие пульпу, по всей своей длине должны находиться под постоянным наблюдением, для чего удобно иметь специальную бригаду. На поддержание в порядке 100 м лотка средних размеров требуется примерно 1,0—1,25 плотника 4-го разряда в смену. На обязанности бригады лежат: 1) устранение течей в лотках, 2) устранение просадок, ведущих к изменению уклонов, а сле-

довательно угрожающих лоткам закупоркой, 3) замена износившихся звеньев лотков новыми и смена предохранительных покрытий лотков.

Лоток по всей длине своей должен быть освещен прожекторами или лампочками на столбах, установленных в непосредственной от них близости. Освещенность должна быть достаточной для наблюдения и производства необходимых ремонтов.

На лотках с неправильно заданными уклонами приходится добавлять иногда специальных рабочих, препятствующих образованию заторов. Количество рабочих для этой цели сильно колеблется в зависимости от конкретной обстановки; при большом числе рабочих необходимо, очевидно, увеличить уклон или же отказаться совсем от безнапорного транспортирования.

## 5. Напорный гидротранспорт

Чаще всего рельеф местности не дает возможности организовать самотечное транспортирование и приходится для перемещения пульпы применять землесосы.

Применение землесосов делает возможным и выгодным чрезвычайно расширить применение гидромеханизации. В мировой практике имелись объекты, где грунт транспортировался по трубам на расстояние до 10 км и больше или поднимался вверх на десятки метров.

Для грубых прикидок количества электроэнергии, расходуемой на гидротранспорт при помощи землесосов средних размеров, можно принимать, что транспортирование 1 м<sup>3</sup> грунта на расстояние в 1 км по горизонтали требует около 2,0—2,5 квт-ч электроэнергии. Крупные землесосы требуют энергии несколько меньше, мелкие наоборот, несколько больше.

1 м подъема по вертикали в этих прикидках, следует принимать эквивалентным 25—35 м горизонтального пульповода.

Более точные расчеты потребной энергии делаются по данным, приведенным в главах I и II, а именно: по главе I рассчитывается пульповод, а по главе II определяется расходуемая землесосом мощность.

Вопрос о трассировке и устройстве пульповодов рассмотрен выше, поэтому перейдем к описанию различных схем организации гидромеханизованных работ с напорным транспортированием пульпы.

### ***Б. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ МОНИТОРНО-ЗЕМЛЕСОСНЫМ СНАРЯДОМ***

(Описание конструкций см. в главе II)

На рис. 156 изображены разрезы и план забоя с находящимся в нем снарядом. Мониторно-землесосный снаряд, как это ясно видно из поперечного разреза, плавает в канаве. Из канавы же берется чистая рабочая вода. Перемычка впереди плашкоута отделяет зумпф от канавы с чистой водой. Когда забой разработан на достаточное расстояние и наступает необ-

ходимость в передвижке снаряда к подошве забоя, вымывают продолжение рабочей канавы, затем разрушают струей монитора перемышку и передвигают снаряд по канаве на новую стоянку. Рассмотрим подробнее организацию отдельных элементов работы монитрно-землесосного снаряда.

## 1. Ввод снаряда в работу

В зависимости от конкретной обстановки может быть два основных способа ввода снаряда в работу:

- 1) ввод с реки или другой водной поверхности и
- 2) ввод путем устройства специального пионерного котлована.

При вводе снаряда с реки всасывающий трубопровод землесоса выбрасывается по возможности дальше от уреза воды.

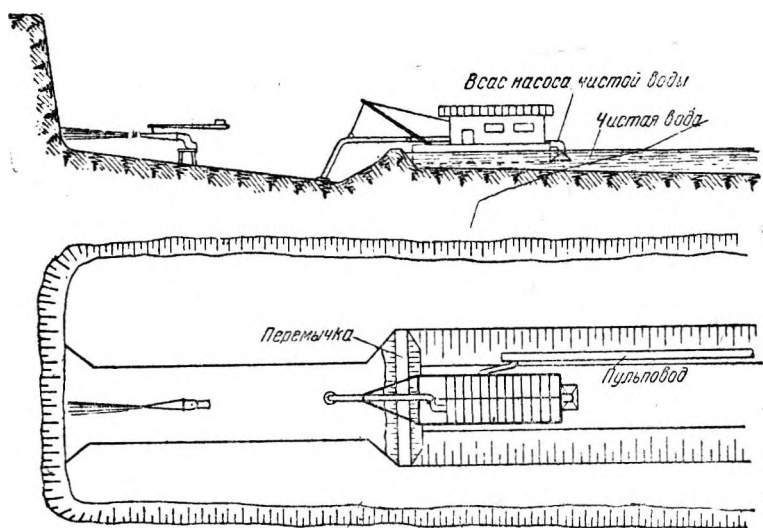


Рис. 156. Мониторно-землесосный снаряд в работе.

Далее, в отгороженном от реки перемышкой месте вручную делается неглубокий зумпф для всасывающего трубопровода; затем начинают вести размыв забоя, углубляясь до требуемой отметки (см. ниже). После достаточного удаления стенки забоя перемышка разрушается, выработанный участок затопляется и монитрно-землесосный снаряд перетягивается в образовавшуюся заводь. После ввода снаряда, если горизонт воды в рабочей канаве должен быть ниже, чем в реке, перемышка закрывается опять и делается водовпускное устройство для питания снаряда рабочей водой.

При вводе при помощи пионерного котлована вручную или при помощи экскаватора готовится небольшой котлован, на берегу которого строится и монтируется снаряд. Затем котлован соединяется канавой с источником водоснабжения. Канавка

оборудуется простейшим затвором, позволяющим регулировать поступление воды в котлован и даже прекращать его совсем.

В котлован, наполненный водой, спускается корпус снаряда, и уже на плаву ведется монтаж оборудования. Нужный горизонт воды устанавливается откачкой, зумпф устраивается так же, как и в первом способе; затем начинается разработка забоя.

Как первым, так и вторым способом редко удастся посадить снаряд на требуемую отметку. Почти всегда приходится его заглублять, для чего всасывающие трубы выбрасываются по возможности дальше от перемычки (на 8—10 м). Разработка забоя ведется одновременно с его углублением. Углубление достигается путем опускания всасывающих труб землесосов. Подъемное устройство, описанное в главе II, является весьма эффективным приспособлением для ускорения процесса заглубления всасывающих труб.

Выработанный котлован наполняется водой до горизонта воды в рабочей канаве, перемычка разрушается, и снаряд перетягивается на новое место. После откачки воды снаряд окажется заглубленным против своего старого положения на некоторую величину.

Величина заглубления за одну передвижку лимитируется всасывающей способностью землесосов и устойчивостью перемычки, отделяющей зумпф от канавы с чистой рабочей водой.

На практике редко удается довести заглубление за одну передвижку до 2,0 м, поэтому в тех случаях, когда требуется значительное заглубление, оно достигается рядом последовательных передвижек. Описанный способ заглубления представляет собой таким образом своеобразное шлюзование.

## 2. Передвижки снаряда

Необходимость передвижек снаряда диктуется двумя причинами: 1) падением производительности снаряда с удалением стенки забоя и 2) соблюдением запроектированных отметок dna выемки. Падение производительности с удалением стенки забоя вызывается в свою очередь: 1) снижением консистенции пульпы из-за ухудшения условий ее подтекания к всасывающим трубам землесосов и 2) снижением интенсивности размыва в связи с уменьшением высоты забоя и удалением стенки забоя от снаряда. На рис. 159 ясны последовательные положения снаряда. При работе без передвижек вследствие неизбежного уклона подошвы забоя будут получаться огромные недоборы или переборы. В песках средней крупности уклоны подошвы забоя получаются порядка 4—5%, так что при удалении забоя на 100 м подошва его поднимается на 4—5 м. При работе же с передвижками дно выемки имеет пилообразный вид, потому что после каждой передвижки начало забоя получает первоначальные отметки.

Первоначальные отметки забоя, а следовательно и отметки воды в рабочей канаве должны выбираться так, чтобы объем

недобора равнялся объему перебора. При правильно выбранной частоте передвижек эти объемы очень невелики и дно выемки после работы по этому способу требует весьма незначительной планировочной работы.

При передвижке снарядов число часов чистой работы механизмов уменьшается, поэтому организация передвижек должна быть тщательно продумана и время передвижки должно быть сокращено до минимума. Подготовку к передвижке следует начинать немедленно после начала работ в новой точке. Перечислим последовательно, в чем должна заключаться подготовка к передвижке:

1) Разработка забоя должна вестись в первую очередь в той части, где должна проходить эстакада пульповода после очередной передвижки и наращивания.

2) К снаряду должен быть подвезен лес в количестве, достаточном для постройки пульповодной эстакады на длину передвижки.

3) К снаряду должны быть подвезены пульповодные трубы для наращивания пульповода на длину передвижки.

4) К моменту окончания работ по размыву забоя с одной стоянки должны быть окончены работы по постройке эстакады и укладке на ней пульповода с оголовком так, чтобы после передвижки осталось только вынуть оголовок, заменить его трубой, соединяющей вновь уложенный участок пульповода со старым, и присоединить резиновые шланги к новому оголовку.

5) Если гибкий кабель, питающий мониторно-землесосный снаряд, по своей длине не позволяет передвинуть снаряд без удлинения воздушной линии, то здесь до передвижки следует произвести все подготовительные работы так, чтобы после передвижки требовалось натянуть не более одного пролета высоковольтной линии. Место окончания воздушной линии следует выбирать так, чтобы при имеющейся длине гибкого кабеля воздушная линия не требовала переделок и обслуживала бы по возможности большее число передвижек.

6) Если заземляющий контур после передвижки окажется слишком удаленным от снаряда, то следует до передвижки в соответствующем месте заготовить новый заземляющий контур. Выбор места нового контура должен быть сделан по принципам, изложенным в предыдущем пункте.

7) После окончания размыва забоя обязательно следует убедиться при помощи нивелира, что полученные отметки соответствуют намеченным по проекту организации работ.

8) После окончания размыва забоя следует немедленно приступить к размыву канавы. В целях экономии времени и энергии канава не должна превышать запроектированные размеры.

9) После окончания канавы и проверки ее нивелировкой новая перемычка разрушается монитором или специальным подмывочным устройством и канава оказывается затопленной водой.

10) Если это требуется и возможно при существующей схеме водоснабжения, то (для облегчения передвижки) следует поднять горизонт воды в рабочей канаве.

11) Далее следует отключить напряжение, заземление и гибкие шланги, соединяющие снаряд с пульповодом.

Проделав изложенное, можно приступить собственно к передвигке. Передвигка в зависимости от требующихся усилий производится или вручную или же при помощи лебедки. Иногда требуемое для передвигки усилие достигает нескольких тонн, что является обычно следствием неполного разрушения перемычки. При хорошо размытой перемычке для передвигки снаряда достаточно усилия четырех-пяти человек.

Все перечисленные выше мероприятия направлены к тому, чтобы после передвигки снаряд мог быть немедленно включен в работу, т. е. чтобы потеря рабочего времени механизмов была сведена к минимуму. Значение правильной организации подготовки передвигки ярко иллюстрируется тем фактом, что в одних и тех же условиях время передвигки, в зависимости от подготовки, колеблется от 2 суток до 4 час. Передвигка мониторно-землесосного снаряда в средних условиях при хорошо обученной бригаде и при правильной организации подготовительных работ требует около 6 час.

При комплектовании бригады мониторно-землесосного снаряда необходимо предусматривать соответствующую рабочую силу для подготовительных работ по передвигке. Рассчитывать на то, что эти работы смогут быть выполнены основной бригадой после остановки снаряда, не следует, так как это ведет к потере времени на передвигку.

При работе рядом нескольких мониторно-землесосных снарядов целесообразно создать отдельную мощную бригаду по подготовке передвигек. Она и будет по очереди обслуживать все снаряды.

### Оптимальная продолжительность работы мониторно-землесосного снаряда на одном месте

Задача об определении оптимальной продолжительности работы снаряда в одном месте совершенно аналогична рассмотренной выше задаче о мониторе.

Действительно, производительность снаряда тем выше, чем ближе забой. Таким образом, казалось бы, что снаряд нужно передвигать как можно чаще, но, с другой стороны, частые передвигки сокращают число часов чистой работы. Для каждого конкретного случая будет некоторая оптимальная продолжительность стоянки снаряда на одном месте. Оптимальная продолжительность стоянки, если располагать достаточными опытными данными, может быть определена по уравнению (145).

На рис. 157 представлен ряд кривых, построенных по наблюдениям автора за работой двух землесосных снарядов на Хорошевском спрямлении канала Москва—Волга (1936 г.), показывающих влияние продолжительности стоянки на основные показатели.

Кривая *I* показывает, как падает суточная выработка с увеличением времени стоянки снаряда на одном месте. В первые

сутки после передвижки снаряд давал до 6000 м<sup>3</sup>, на третьи — уже только до 5000 м<sup>3</sup>, на десятые — около 3000 и т. д. Такое сильное падение суточной производительности происходило за счет уменьшения высоты забоя (уклон подошвы забоя достигал 0,07) и за счет его удаления. Кривая II показывает зависимость продолжительности передвижки от продолжительности стоянки на одном месте. Здесь следует отметить, что автор не располагал достаточным количеством точек для ее точного построения, — начальный и конечный участки кривой найдены путем вычисления.

Кривая III показывает изменение среднесуточной производительности плашкоута за один цикл в зависимости от продолжительности стоянки на одном месте (циклом плашкоута мы

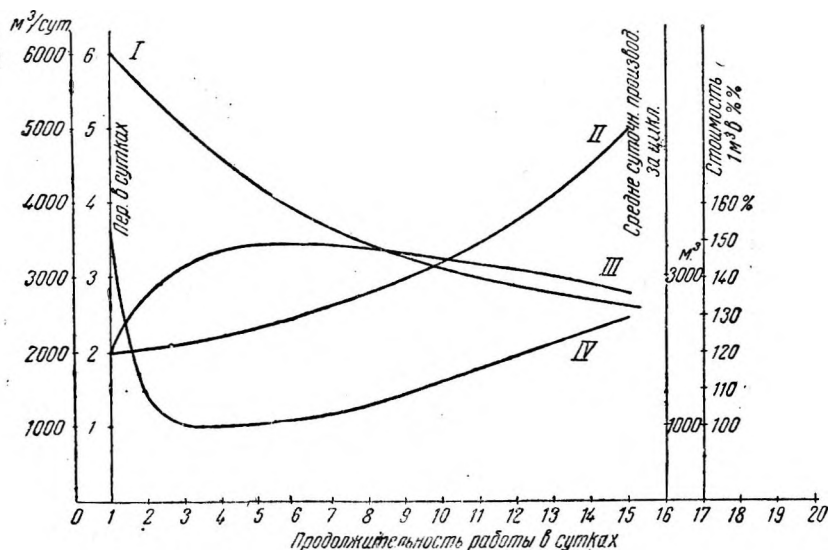


Рис. 157. Кривые зависимостей показателей работы снаряда от продолжительности стоянки на одном месте.

называем продолжительность стоянки плюс продолжительность соответствующей передвижки). Из этой кривой видно, что в данном конкретном случае максимальная производительность плашкоута получится, если передвижку начинать через шесть суток после начала работ в новом забое.

Более частые и более редкие передвижки будут уменьшать производительность установки. Кривая IV дает изменение стоимости 1 м<sup>3</sup> грунта в зависимости от длительности стоянки плашкоута на одном месте. Интересно, что минимальная стоимость не совпадает с максимальной производительностью. В нашем случае экономически наиболее выгодно передвижку начинать на четвертые сутки после начала работ снаряда в новом забое. Объясняется это в основном тем, что электроэнергия, составлявшая около 50% всех расходов, во время передвижки почти не расходовалась. Хотя рассмотренный пример действи-



телен для определенных условий работы, тем не менее кривые рис. 157 правильно рисуют характер отмеченных нами зависимостей.

### 3. Область применения мониторно-землесосных снарядов

Мониторно-землесосный снаряд по своим качествам является достаточно универсальным снарядом и может применяться в самых разнообразных условиях.

Характерной особенностью мониторно-землесосного снаряда является его относительная простота.

Мониторно-землесосный снаряд монтируется из стандартного оборудования на строительной площадке силами самого строительства. Этими обстоятельствами часто предопределяется выбор типа снаряда.

Для работы мониторно-землесосного снаряда наиболее подходящим объектом будет тот, в котором грунт, подлежащий выемке, имеет значительный надводный и незначительный подводный объем. Такие объекты затруднительны для разработки при помощи снарядов с механическим разрушением.

Мониторно-землесосный снаряд значительно проще других типов может быть защищен от засорения булыгой, корнями, ветками и т. п. Поэтому применение его целесообразно в грунтах, содержащих в большом количестве включения, способные засорить землесос.

#### ***В. РАБОТЫ С СТАЦИОНАРНЫМИ ЗЕМЛЕСОСНЫМИ УСТАНОВКАМИ***

В отдельных благоприятных случаях напорный гидротранспорт пульпы осуществляется при помощи стационарных землесосных установок.

Характерным для стационарной установки является ограниченность объема работ, который может быть ею выполнен.

Очевидно, что максимальный объем выработки стационарной установки может быть получен, если разработку забоя вести по радиусам, располагая установку в центре. Пусть для намыва некоторого сооружения требуется  $V$  куб. метров грунта. Если работы намечаются к выполнению стационарной установкой, причем поверхность назначенного к разработке участка горизонтальна (рис. 158), то  $V$  определится выражением:

$$V = \pi r^2 (H - 0,66 ir) \quad (154)$$

где  $V$  — объем, вырабатываемый стационарной землесосной установкой в  $m^3$ ;

$r$  — радиус разработки в  $m$ ;

$H$  — заглубление зумпфа относительно поверхности забоя (глубина пионерного котлована) в  $m$ ;

$i$  — уклон подошвы забоя, образующийся в данных грунтах.

Задаваясь по конкретным условиям радиусом разработки, можно определить необходимую глубину пионерного котлована:

$$H = \frac{V}{\pi r^2} + 0,66 \text{ ir.} \quad (155)$$

Пионерный котлован в зависимости от его объема выполняется вручную или при помощи экскаватора.

На строительстве канала Москва — Волга для выемки пионерного котлована с успехом неоднократно применялся гидроэлеватор. Всасывающий патрубок гидроэлеватора соединялся с корпусом элеватора при помощи сальникового шарнира таким образом, что глубина его погружения могла постепенно увеличиваться.

По достижении предельной глубины всасывания весь гидроэлеватор опускался вниз. Способ установки и крепления гидроэлеватора описан выше в разделе об оборудовании.

При работе в пионерном котловане всегда следует иметь в виду опасность затопления установки. Опасность эта особенно велика в начале работ, когда котлован имеет ограниченные размеры.

Возможность затопления установки может быть уменьшена повышением отметок агрегатов, но это неизбежно ведет к увеличению высоты всасывания.

Схему и последовательность разработки забоев следует намечать с таким расчетом, чтобы количество передвижек мониторов и количество труб, подводящих к ним воду, было минимальным.

При работе в пионерном котловане целесообразно применение лотков в забое. Лотки уменьшают уклон  $i$ , отчего увеличивается тот объем земли, который возможно выработать при заданной глубине пионерного котлована и заданном радиусе разработки.

В отдельных случаях метод работы с пионерным котлованом и стационарной землесосной установкой удастся применить и для разработки профильных выемок, хотя, как правило, это ведет к значительным переборам или, наоборот, недоборам.

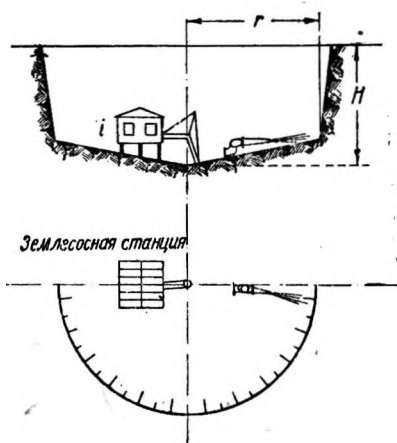


Рис. 158. Объем, вырабатываемый с одной стоянки.

## Разработка глубоких котлованов

Принцип разработки глубоких котлованов землесосными установками состоит в постепенном заглублении их на минимальной площади и в последующем размыве котлована до требуемых размеров. В 1936 г. на Хорошевском спрямлении Москва-

реки при помощи мониторов и землесосов был разработан котлован под заградительные ворота глубиной около 25 м.

Принципиальная схема разработки показана на рис. 159. Работа велась при помощи двух землесосных снарядов. Плашкоуты—деревянные, размером 6 X 6,5 X 1,7 м каждый.

На каждом плашкоуте были смонтированы два землесоса МВС-800. Принятая схема разработки не требовала от установок плавучести, т. е. землесосы могли быть смонтированы на простой раме достаточной жесткости. Плашкоуты были применены для исключения возможности затопления установок при наполнении котлована водой. Когда котлован достиг значительной глубины, это мероприятие великолепно себя оправдало. Вследствие огромного притока грунтовых вод при вынужденных остановках котлован наполнялся водой в течение 8—10 час. и плашкоуты благополучно всплывали.

Работа велась последовательно то одним, то другим агрегатом.

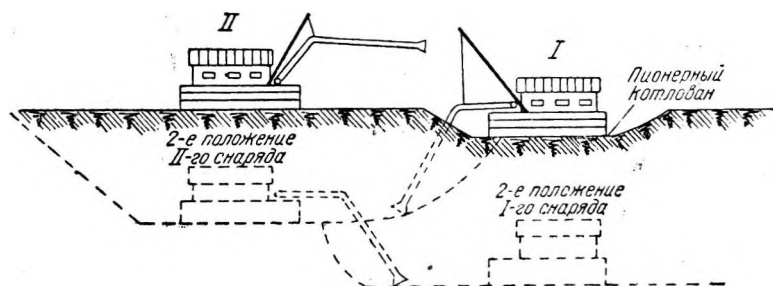


Рис. 159. Схема выемки котлована.

Первоначально для первого снаряда (рис. 159) был подготовлен вручную котлован глубиной около 3 м, затем при помощи этого снаряда второй снаряд был опущен более чем на 5 м. Опускание осуществлялось путем постепенного заглубления всасывающих труб первого снаряда и вымывания грунта из-под второго. В первое время опускание по описанной схеме производилось чрезвычайно медленно с рядом специальных мер предосторожности, впоследствии же бригады освоили процесс подмыва снаряда настолько, что скорость опускания (после нужного заглубления всасов землесосов) достигала 0,75 м/час. Чередуясь таким образом, снаряды достигли постепенно требуемых отметок.

Опускаемый снаряд на период опускания от пульповода отключался.

При работе по описанному способу следует следить за тем, чтобы после подмыва палуба снаряда не имела значительных уклонов (незначительные уклоны, порядка 1—2%, как показали наблюдения, не играют существенной роли), а также за тем, чтобы при заглублении всасывающих труб землесосов не оказался подмытым работающий снаряд. Производительность на землесос при работе по этому способу сравнительно невысока —

все четыре землесоса, работая по два по очереди, в лучшие дни работы давали по 2 000 м<sup>3</sup>. Но экономическое сравнение с другими возможными способами механизации показало несомненное преимущество гидромеханизации. Кроме того другими способами вследствие стесненного фронта было бы очень трудно получить необходимую производительность.

Для защиты землесосов от крупного гравия, встречавшегося в котловане в виде довольно значительных линз, с успехом были применены гидровашгерд и гидроэлеватор. Схема, по которой приходилось работать, была такова.

Размытый грунт всасывался гидроэлеватором и подавался на решетку гидровашгерда. Крупные фракции выбрасывались по наклонной решетке вспомогательным монитором в бункер, из которого, попадая на тачку, отвозились в сторону.

Пульпа проваливалась через решетку и через специальные окна попадала в отгороженный отсек трюма, служивший зумпфом.

Применение гидроэлеватора и гидровашгерда вело к значительному снижению консистенции, а следовательно и выработки за час чистой работы.

Однако суточная выработка за счет уменьшения простоев (простой из-за засорения землесосов исчезали совершенно) увеличивалась.

В зависимости от местных условий для выемки котлованов гидромеханизация может применяться и в других вариантах.

Ниже, в разделе о снарядах с механическим разрыхлением, описан способ, намечаемый для выемки котлованов величайшего в мире Куйбышевского гидроузла.

Применение гидромеханизации для выемки котлованов особенно эффективно в условиях интенсивного притока грунтовых вод, когда другие способы требуют устройства мощного водоотлива.

### ***Г. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ЗЕМЛЕСОСНЫМ СНАРЯДОМ С МЕХАНИЧЕСКИМ РАЗРЫХЛЕНИЕМ ГРУНТОВ***

Землесосные снаряды с механическими разрыхлениями грунта получили широкое распространение на дноуглубительных работах.

Вскоре после своего появления землесосные снаряды с механическими разрыхлителями начали применяться в самых разнообразных областях строительного дела.

Снаряды этого типа могут применяться для производства работ по выемке всевозможных каналов и котлованов. Снаряды с механическими разрыхлителями могут работать и тогда, когда весь забой расположен под водой, и тогда, когда часть забоя расположена выше горизонта воды в том водоеме, в котором плавает землесосный снаряд. Наиболее простым случаем работы землесосного снаряда будет тот, в котором работа ведется непосредственно с горизонта большого водоема или реки.

Иногда землесосные снаряды могут быть с большим успехом использованы и в изолированном водоеме небольшого объема.

В этом случае приходится организовывать питание водоема чистой водой. Питание чистой водой может быть осуществлено за счет кругооборота (см. ниже) или путем устройства специальной насосной станции. Очень часто значительная часть потребной воды получается благодаря грунтовому питанию.

В настоящее время землесосные снаряды с механическим разрыхлением применяются для выполнения всевозможных строительных работ. В последние годы наблюдается тенденция к замене мониторных снарядов снарядами этого типа. Заметим, что на строительстве Куйбышевского гидроузла землесосными снарядами с механическими разрыхлителями намечено выполнить около 200 млн. м<sup>3</sup>.

Снаряды с механическими разрыхлителями с большим успехом применяются для добычи инертных материалов для бетона — песка и гравия. Организация работ землесосным снарядом проще организации работ мониторно-землесосным снарядом, благодаря чему коэффициент использования по времени для первых обычно несколько выше, чем для вторых.

Землесосные снаряды с механическими разрыхлителями могут работать в самых различных грунтах, начиная от легких песков и кончая моренными глинами. Производительность снарядов в зависимости от грунта колеблется в очень широких пределах, достигая для легких сыпучих грунтов максимума, а для тяжелых глин — минимума своего значения. Сильное влияние на выработку оказывает высота разрабатываемого забоя. Особенно увеличивается выработка при увеличении высоты в сыпучих грунтах.

В грунтах пластичных, способных удерживать значительные углы естественного откоса при значительных высотах забоя, приходится переходить на разработку ярусами.

Практика гидромеханизации на сегодня еще не выработала твердых нормативов для определения часовой производительности снаряда, работающего в некоторых конкретных условиях.

При проектировании и организации работ приходится пользоваться паспортной конструктивной производительностью и вводить некоторые весьма приближенные коэффициенты, учитывающие конкретную обстановку.

## **1. Разбивка сооружений**

Необходимо отметить некоторые особенности разбивки границ выемок, разрабатываемых землесосными снарядами с механическим разрыхлением. Участки, подлежащие выемке, располагаются чаще всего под водой, поэтому закреплять разбивку приходится иногда на водной поверхности.

Периметр площади, подлежащей выемке, обозначают створными знаками. Если площадь, подлежащая выемке, имеет вытянутую форму, то створы, обозначающие длинные стороны, называют продольными, а короткие — поперечными.

Во всех случаях створные знаки лучше располагать на берегу. Береговые створы представляют собой вехи длиной от 4

до 8 м, окрашенные в белый и красный цвета. Для лучшей видимости на конце веши укрепляется крест или яркоокрашенный круг. Тонкие и удаленные друг от друга веши повышают точность обозначения створа на местности. При работе в ночное время на створных знаках укрепляются фонари, причем так, чтобы центр фонаря совпадал по возможности с осью веши.

Створные знаки на воде делаются плавучими или тычковыми в зависимости от глубины и характера дна водоема. Плавучие створы представляют собой или веши, или плавучие бакены, или просто буйки, удерживаемые на месте якорем.

Якорем, как правило, служит камень достаточной величины. Плавучие створы следует расставлять так и в таком количестве, чтобы была возможность контролировать их правильность. Плавучие створы в ночное время освещаются фонарями.

Тычковые створы представляют собой несколько утолщенные веши, забиваемые в дно деревянным молотком. Помимо створов, обозначающих границы всей выемки, в целях правильной организации работ необходимо обозначить на месте оси ходов снаряда, ширину выемки за один ход, границы ходов по длине и т. д.

## 2. Глубина выемки

Проектом задается абсолютная отметка дна выемки. Зная отметку горизонта водоема, в котором плавает снаряд, глубину выемки удобно задавать как разность отметок дна и горизонта, т. е.:

$$h = H_g - H_\sigma \quad (155)$$

Глубина опускания рамы  $h_p$  определяется из равенства:

$$h_p = h + h_3, \quad (156)$$

где  $h_3$  — некоторый производственный запас глубины сверх проектной, принимаемый обычно от 0,4 до 0,7 м.

В большинстве случаев  $H_g$  не является величиной постоянной и систематически изменяется, поэтому в формулу (156) необходимо ввести поправку, учитывающую изменение горизонта воды:

$$h_p = h + h_3 \pm h_n. \quad (157)$$

Величина поправки  $h_n$  получается в результате систематического наблюдения за горизонтом воды по водомерной рейке, которая устанавливается так, чтобы нуль ее совпадал с некоторым условным горизонтом, принятым при вычислении  $h$  по формуле (155).

Знак минус следует принимать при понижении горизонта; наоборот, при повышении горизонта поправка берется с знаком плюс. Вопрос о правильном назначении глубины погружения рамы разрыхлителя землесосного снаряда является чрезвычайной серьезным, ошибки ведут к неделовым переборам или, наоборот, к недоборам.

Старший снаряда должен быть всегда в курсе показаний водомерной рейки и вносить соответствующие поправки в задаваемую глубину погружения рамы.

### 3. Рабочие перемещения снаряда

Всасывающее устройство землесосного снаряда во время работы должно непрерывно перемещаться для того, чтобы постоянно находиться в соприкосновении с грунтом. Различают две основные системы перемещения землесосных снарядов:

1) траншейную и 2) папильонажную. При траншейном способе снаряд передвигается прямолинейно, при папильонировании же снаряд описывает ряд более или менее сложных кривых линий.

Перемещение снаряда осуществляется на пяти или, реже, на шести якорях.

При выработке профильных выемок или при углубительных работах траншейный способ невыгоден потому, что вызывает большое количество неделовой кубатуры.

Для передвижения снаряда по траншее выбирают передний становой и травят задний становой якорь. Боковые якоря травятся или выбираются в зависимости от их положения относительно снаряда. Длина траншеи, проходимой без перекладки якорей, равняется обычно 150—250 м. Ряд таких, параллельных между собой траншей называется серией. По окончании проходки одной траншеи снаряд переводится без перекладки якорей в начало соседней траншеи той же серии. По окончании проходки всей серии якоря перекадываются и работа продолжается в том же порядке. Для траншейного способа весьма важно правильно назначить скорости движения вперед по траншее.

Подтяжка вперед производится плавно, без рывков, с расчетом, чтобы весь грунт в запроектированном сечении траншеи действительно оказался забранным.

Чрезмерное увеличение скоростей ведет к тому, что откосы траншей получаются слишком крутыми, неустойчивыми и траншея заваливается после прохода сосуна. Кроме того большие скорости могут вызвать поломку всасывающей трубы или шарнира вследствие упирания всасывающей трубы в грунт. Недостаточные скорости продвижения сильно снижают консистенцию пульпы, а следовательно и производительность.

Оптимальные скорости могут быть определены только опытным путем. Степень равномерности подачи снаряда может наблюдаться по вакуумметру.

Большинство современных снарядов разрабатывает деловой объем грунта папильонированием. Различают два способа папильонажа — цепной и свайный. При цепном папильонаже разработка рабочей площади достигается исключительно помощью тросов, при свайном папильонаже — помощью тех же тросов и двух свай.

#### Цепной папильонаж

Существуют четыре различных метода тросового папильонирования: 1) параллельный, 2) веерный, 3) крестовый и

4) багермейстерский. Параллельное папильонирование показано на рис. 160. Снаряд все время остается параллельным своему исходному положению. Для возможности работы по этому способу, очевидно, необходимо, чтобы естественная глубина на

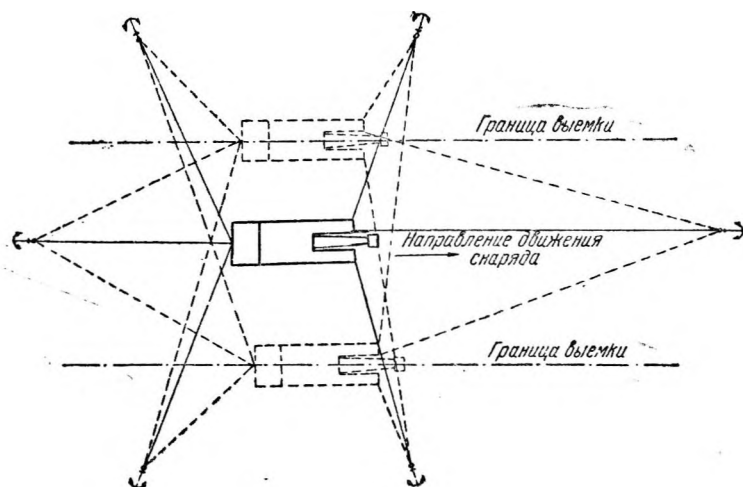


Рис. 160. Параллельное папильонирование.

границах выемки была несколько больше осадки снаряда, это обстоятельство сильно суживает область применения параллельного папильонирования.

На рис. 161 показан верный способ папильонирования. Корма при этом способе является как бы центром вращения снаряда. Минимальная ширина выемки определяется выражением:

$$b = 2L \sin \alpha, \quad (158)$$

(обозначения см. на рис. 161).

Если необходимо, чтобы  $b < 2L \sin \alpha$ , то применяют крестовый способ папильонирования (рис. 162), особенность которого состоит в том, что корма не остается неподвижной, а перемещается в сторону, противоположную перемещению головки разрыхлителя.

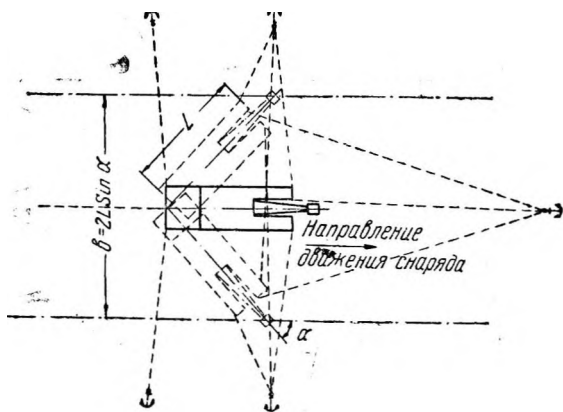


Рис. 161. Верное папильонирование.

На рис. 163 показан багермейстерский способ папильонирования. Этот способ представляет собой комбинацию описанных выше способов. Этот способ позволяет разрабатывать прорези



большой ширины. Оставаясь параллельным самому себе, снаряд двигается от левой кромки к правой; когда разрыхлитель дойдет до границы выемки, то корму начинают подтягивать к правой, а нос к левой кромке. Снаряд разворачивается в положение III и, перемещаясь параллельно самому себе, возвращается к левой кромке.

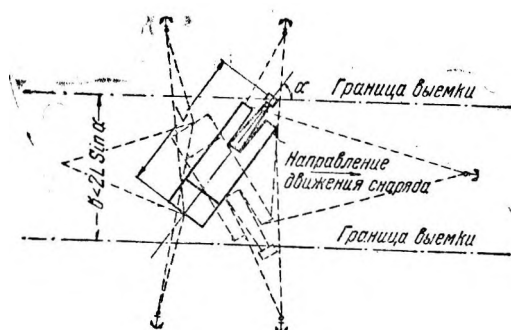


Рис. 162. Крестовый способ папильонирования.

более  $35-45^\circ$ . В случае необходимости разработки выемки, которая по своей ширине не может быть перекрыта при таком угле поворота, выемка разбивается на ряд отдельных полос.

Работа на сваях в смысле управления значительно проще папильонирования на шести якорях, однако снаряд несколько теряет в своей маневренности. Снаряды на свайном папильонаже особенно удобны в условиях стесненной площади, почему они и получили большое распространение в строительном деле. В главе II приведено описание таких снарядов.

#### 4. Ввод снаряда в работу

После разбивки всех необходимых створов снаряд и плавучий пульповод буксируются к участку, намеченному к разработке. Расположение пульповода на воде и точка соединения его с неподвижной береговой линией должны быть выбраны с таким расчетом, чтобы пульповод и снаряд могли обслужить по возможности наибольшую площадь разработки. В зависимости от местных условий (течение, ветер и т. п.) пульповод или остается свободным или закрепляется некоторым количеством якорей.

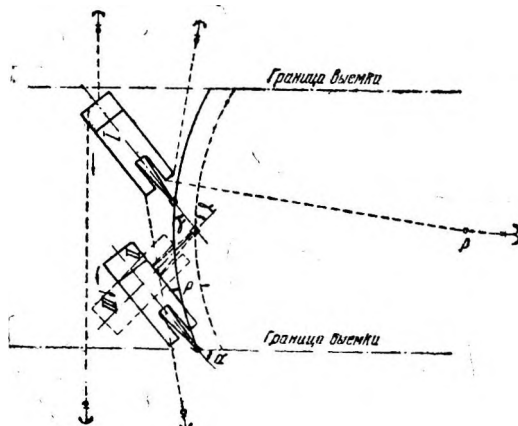


Рис. 163. Багермейстерский способ папильонирования.

#### Свайный папильонаж

Идея свайного папильонирования и характер покрытия рабочей площади папильонажными ходами описаны выше в главе II, в разделе о свайных устройствах землесосных снарядов.

Угол отклонения от снаряда до оси прорези при свайном папильонаже не следует допускать

Далее намечают количество слоев разработки выемки. Правильное решение этого вопроса способно в несколько раз повысить производительность снаряда, а неправильное, наоборот, — снизить ее.

Решение рассматриваемого вопроса зависит от грунта и конструкции разрыхлительного устройства.

В сыпучих грунтах, не способных держаться в откосах круче  $60^\circ$ , можно почти всегда рекомендовать работу одним ярусом, так как грунт, не образуя карнизов, не будет угрожать обвалом разрыхлительному устройству и самому снаряду.

В грунтах, способных к образованию крутых откосов, работа слоями, более чем в 2 раза превышающими диаметр фрезы разрыхлителя, должна вестись с принятием необходимых мер предосторожности.

Разрыхлительное устройство землесосного снаряда заглубляется постепенно. Правильный выбор скоростей папильонирования имеет исключительное значение. Скорости должны соответствовать конкретной обстановке работ и конструктивным особенностям землесосного снаряда.

Недостаточные скорости ведут к недоиспользованию землесоса, землесос дает пульпу с низкой консистенцией. Чрезмерно

большие скорости ведут к пропускам, засорению выемки недобраным грунтом или к перегрузке разрыхлительного устройства. Подбор скоростей, обеспечивающих максимальную производительность при сохранении качества выемки, может быть решен только опытным путем. Огромное значение этого вопроса заставляет строить папильонажные лебедки с коробками скоростей или другими приспособлениями, позволяющими изменять скорость троса.

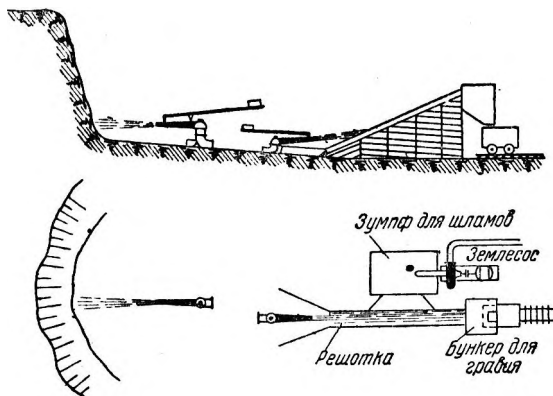


Рис. 164. Схема работ в карьере с гидравшгердом.

#### Д. ГИДРОМЕХАНИЗАЦИЯ ГРАВИЙНЫХ КАРЬЕРОВ

Гидромеханизация нашла довольно широкое применение в добыче гравия. На строительстве канала Москва — Волга с успехом работало несколько гидромеханизированных карьеров. Вопрос о добыче и обогащении инертных очень большой, и подробное рассмотрение его выходит конечно из рамок настоящей работы, поэтому мы ограничиваемся рассмотрением одной только схемы, которая была осуществлена на Татаровском карьере вблизи Москвы.

Принципиальная схема работ в карьере показана на рис. 164. Монитор размывает породу, содержащую гравий. Пульпа самоотеком и частично подгоняемая дополнительными мониторами подтекает к раструбу гидровашгерда, где подхватывается специальным монитором. Мелкие фракции, грязь и основная масса воды, проваливаясь через решетку гидровашгерда, попадают в зумпф землесоса, перекачиваются им на отвал. Гравий же струей монитора выбрасывается в бункер, откуда попадает в вагонетки. На том же карьере с успехом эксплуатировалась смешанная установка — порода добывалась экскаватором и транспортировалась к гидровашгерду вагонетками.

В остальном процесс не отличался от вышеописанного.

### Е. УКЛАДКА ГРУНТА В ОТВАЛЫ

Участок для укладки грунта из деловой выемки должен быть тщательно обследован и выбран только на основе детального

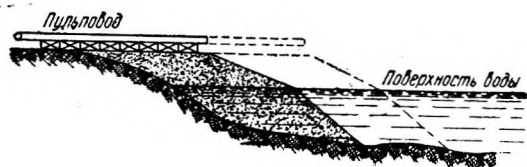


Рис. 165. Схема отвалов в озере.

сравнения ряда возможных вариантов. Отвальная площадь должна быть расположена по возможности ближе к выемке и на минимальных отметках. Правильно запроектированные отвалы могут значительно повысить эффект всей установки и наоборот, неправильно запроектированная укладка грунта и неправильный выбор отвальной площади могут свести на-нет все преимущества гидромеханизации.

В простейшем случае (например сброс грунта в море, озеро, большую котловину и т. п.) отвальное хозяйство не требует никаких дополнительных работ за исключением редких по мере надобности перекладок конца пульповода.

При намыве в воду пульповод наращивается по мере намыва. На рис. 165 показан пример такого отвала. Пунктиром показаны последующее расположение пульповода и соответствующая ему поверхность отвалов.

В более сложном случае отвальное хозяйство требует устройства обвалования и водоспусков, через которые осветленная вода должна быть отведена в определенном направлении. Отвод воды в определенном направлении может преследовать разные цели, например: простой сброс воды, сброс воды для организации кругооборота, предохранение от заболачивания и т. п.

Решение задачи отвода осветленной воды полностью зависит от рельефа местности. В тех случаях, когда вода с отвалов направляется в реку или пруд, вода в которых не должна загрязняться, необходимо принять ряд мер, гарантирующих полное осветление пульпы. Такие меры сводятся к созданию отстойных бассейнов или же к максимальному удлинению пути и уменьшению скорости течения воды в основных отвалах.

Отстойные бассейны могут быть устроены в виде отдельных карт, разгороженных небольшими дамбочками и поочередно включаемых в работу.

Отметка пульповода на отвалах должна быть задана таким образом, чтобы при полном использовании напора можно было уложить максимальное количество грунта. Задача эта может быть решена аналитически, как задача на максимум. На рис. 166 изображены два пульповода. Первый пульповод уложен на эстакаде некоторой произвольной высоты  $H$ . Длина  $L$  соответствует условию полного использования напора пульповода, т. е.:

$$H_0 = H + iL, \quad (159)$$

где  $H_0$  — напор в пульповоде на границе отвала в м;  $i$  — гидравлические потери в пульповоде в %.

Второй пульповод уложен на высоте  $H_1$  обеспечивающей укладку максимального количества грунта.

Принимая обозначения согласно рис. 166, можно написать, что:

$$L_1 = L + \frac{H - H_1}{i} \quad (187)$$

(при условии, что весь избыток напора, получаемый от снижения оси пульповода, используется на увеличение его длины).

Из простейших геометрических соображений объем  $V_1$ , который может быть уложен на ширине основания  $2 \frac{H_1}{I}$ , при высоте пульповода  $H_1$ , выразится так:

$$V_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{2H_1}{I} \right) H_1 \left( L + \frac{H - H_1}{i} \right) + \frac{1}{2} \pi \left( \frac{H_1}{I} \right)^2 \frac{1}{3} H_1.$$

Определим теперь, при каком значении  $H_1$  объем  $V_1$  принимает максимальное значение.

Первая производная будет:

$$\frac{dV_1}{dH_1} = \frac{2H_1 \left( L + \frac{H}{i} \right)}{I} - \frac{3H_1^2}{iI} + \frac{\pi}{2} \cdot \frac{H_1^2}{I^2}.$$

Приравнивая первую производную нулю и решая относительно  $H_1$  получим равенство:

$$H_1 = \frac{4(Li + H)}{6 - \pi \frac{i}{I}} = \frac{4H_0}{6 - \pi \frac{i}{I}}. \quad (160)$$

Эта формула применима при условии, что  $I \geq 1,57 i$ .  
Значения букв — см. на рис. 166.

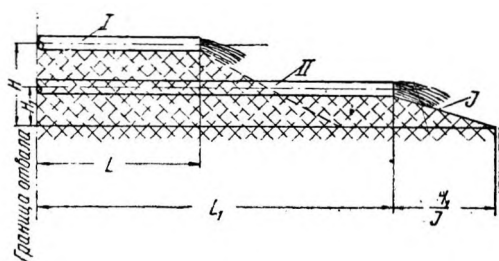


Рис. 166. Схема к вопросу о высоте эстакад.

Формула (160) является расчетной для выбора оптимальной высоты укладки пульповода на отвалах. Для окончательного решения вопроса необходимо также учесть и стоимость искусственных сооружений, связанных с прокладкой пульповода на той или иной высоте.

В наиболее сложном случае отвального хозяйства грунт приходится укладывать по заданным профилям. Такая укладка по существу ничем не отличается от описываемого ниже намыва некоторых наиболее простых сооружений.

## **Ж. УКЛАДКА ГРУНТА В ТЕЛО СООРУЖЕНИЯ**

Намывные сооружения могут быть разбиты на три основных типа: 1) насыпи большой площади (территории), 2) профильные (неводонапорные сооружения), 3) профильные водонапорные сооружения — плотины и дамбы.

### **1. Намыв больших площадей**

При постройке портов, освоении болот и ряде других работ строитель сталкивается с необходимостью подсыпки больших масс земли. Эта работа весьма эффективно может быть выполнена методом гидромеханизации.

Намыв больших площадей является простейшим видом намывных работ и почти не отличается от укладки грунта в простые отвалы.

Схема намыва площади выбирается в зависимости от следующих основных условий:

- 1) толщины намываемого пласта;
- 2) размера намываемой площади;
- 3) заданной интенсивности намыва;
- 4) специальных условий по отводу осветленной воды.

Намыв территории ведется из двух или нескольких параллельно уложенных пульповодов прямо с торца.

Намыв может вестись наступлением или отступлением, т. е. от передней или от задней границы намываемой площади.

Все одновременно работающие параллельные пульповоды должны равномерно наращиваться. Если допустить опережение одного из пульповодов, то могут образоваться впадины, в которых будет собираться вода с мельчайшими глинистыми частицами. Такие котлованы, наполненные мельчайшими, неуплотнившимися, насыщенными водой глинистыми частицами, называются зыбунами. Наличие зыбун на намываемой территории конечно недопустимо. Особенно неприятны скрытые зыбуны, т. е. зыбуны, замкнутые сверху небольшим слоем качественного грунта.

Иногда применяют веерную схему намыва. При работе по этой схеме намыв ведут сначала по одному направлению, затем, когда дойдут до границы территории, пульповод разбирают и намыв ведут от начала предыдущего намыва, но в новом направлении.

В подготовительные работы при намыве площадей входят: 1) сооружение простейших устройств для отвода осветленной воды (колодцы, водосливы, канавы и т. п.) и 2) сооружение ограждающих устройств в виде обвалований, щитов и т. п.

На рис. 167 показан разрез колодца для отвода осветленной воды. Колодцы этого типа с успехом применялись при намыве территории Южной гавани в Москве. Сруб колодца собирается из брусьев сечением 120X120 мм. Отверстие колодца в плане — прямоугольное размером 0,6X0,6 м.

Колодец постепенно наращивался в высоту.

За пределы сооружения осветленная вода выводилась при помощи горизонтально уложенной деревянной трубы.

Для того чтобы обеспечить устойчивость колодца, его делают на четырех свайках.

Расстояние между колодцами в плане выбирается расчетом в зависимости от количества осветленной воды, подлежащей удалению.

Идти по линии увеличения размеров колодцев не рекомендуется, так как это ведет, с одной стороны, к затруднениям управления процессом намыва и, с другой, к усложнению конструкции колодца.

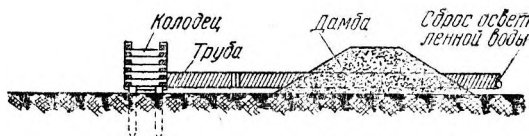


Рис. 167. Колодец для отвода осветленной воды.

Если колодец по каким-либо причинам надо выключить, то, очевидно, достаточно нарастить стенки колодца несколько выше горизонта воды в осветлительном прудке.

Намыв площадей, как уже указывалось, является простейшим видом намывных работ.

Производительность на одного рабочего на намыве достигает 200 м<sup>3</sup> и более в смену.

Работа эта легко осваивается и, как правило, не лимитирует другие процессы гидромеханизированных работ.

## 2. Намыв профильных сооружений

При соответствующих условиях гидромеханизация может быть применена для возведения самых различных как по профилю, так и по назначению насыпей.

Имеется ряд примеров возведения методом гидромеханизации железнодорожных и шоссеиных насыпей, подходов к мостам, безнапорных дамб и т. п.

В отличие от рассматриваемых ниже водоудержательных насыпей задачи фракционирования грунта при намыве перечисленных сооружений являются второстепенными.

Главная задача этих работ — уложить грунт в заданный профиль. В зависимости от размеров профиля и характера грунта практикой выработан ряд приемов, а именно: 1) двухсторонний намыв с обвалованием, 2) двухсторонний намыв со щитками,

3) односторонний намыв, 4) центральный намыв и различные комбинации этих способов.

Каждый из перечисленных способов может иметь несколько модификаций по методу подвода пульпы и по отводу осветленной воды из тела сооружений.

Подробнее на этих схемах остановимся несколько ниже при рассмотрении вопроса о намывных плотинах.

Для возведения профильных насыпей методом гидромеханизации могут применяться самые различные грунты (кроме сильно глинистых). При грунтах, содержащих большое количество мелких фракций, значительно усложняется работа по удержанию грунта в заданном профиле. Обычно приходится идти на сброс значительного количества малых фракций вместе с осветленной водой.

При прочих равных условиях намыв насыпей тем выгоднее, чем больше погонная кубатура, потому что стоимость подготовительных работ будет раскладываться на большее количество кубометров. При невозможности организовать самотечный гидротранспорт можно считать, что применять гидромеханизацию для насыпей становится невыгодно, если погонная кубатура падает ниже 50—60 м<sup>3</sup> на 1 пог.м.

Намыв малых насыпей получил в СССР еще совершенно недостаточное развитие. Дело это, если учесть громадный разворот железнодорожного и шоссевого строительства, имеет огромную важность; тормозится оно главным образом вследствие отсутствия специального мелкого оборудования гидромеханизации, агрегированного с двигателями внутреннего сгорания.

Следует отметить, что первый шаг в этом направлении уже сделан. По инициативе инж. Н. Д. Холина в золотопромышленности с весны 1939 г. войдет в строй несколько десятков гидростановок, агрегированных с тракторами ЧТЗ.

### 3. Намывные плотины

Учитывая недавний выход в свет работы инж. Роера „Намывные и полунамывные плотины“, а также ранее вышедшую работу инж. Джастин „Земляные плотины“, мы считаем возможным в настоящем разделе в сжатой форме остановиться только на некоторых основных вопросах возведения намывных плотин.

Плотины, возводимые при помощи гидромеханизации, следует разделить прежде всего на два основных типа: 1) намывные плотины и 2) полунамывные плотины.

Намывными плотинами называют такие плотины, при сооружении которых полностью гидромеханизированы транспортирование и укладка грунта.

При сооружении полунамывных плотин транспорт и укладка грунта во внешние призмы осуществляются негидромеханизированным способом. Вода же применяется только для перемещения части грунта в его окончательное положение, причем одновременно происходит нужное фракционирование грунта.

В конструктивном отношении намывные и полунамывные плотины могут быть разбиты на следующие типы:

- 1) плотины, возводимые двухсторонним намывом, с ядром из водонепроницаемых фракций;
- 2) плотины с вертикальной жесткой диафрагмой в нижней части или на всю высоту плотины;
- 3) плотины из песка без центрального ядра (возводимые по односторонней схеме намыва); в этих плотинах иногда применяется покрытие напорного откоса водонепроницаемыми железобетонными плитами;
- 4) плотины с непроницаемым слоем из мелких фракций в виде экрана на напорном откосе.

На рис. 168 показана наиболее распространенная схема двухстороннего намыва плотины.

Пульпа подается по пульповодам *I* и при помощи отростков *II* меньшего диаметра распределяется по профилю плотины. Место выпуска пульпы находится в непосредственной близости от откосов, крупные фракции при этом выпадают также ближе к откосам.

Из крупных фракций, выпадающих у откосов, вручную или на крупных работах при помощи экскаватора возводятся дамбочки, удерживающие намываемый грунт в пределах проектного профиля. При таком методе намыва отстойный прудок образуется в центре плотины; там же, очевидно, и будут откладываться наиболее мелкие фракции.

Грунт подвозится в думпкарах по эстакадам, построенным вдоль откосов плотины, и отсыпается в виде призм. Призмы размываются монитором. Размытый грунт стекает к центру, где образуется отстойный прудок.

В результате процесса фракционирования в центре окажутся сложными мельчайшие фракции и плотина по конструкции получится близкой к обычной намывной плотине, возводимой методом двухстороннего намыва.

Подача воды к мониторам при полунамывных плотинах осуществляется чаще всего по принципу кругооборота. В пруде-отстойнике плавает насосная станция, питающая мониторы. Потери воды на испарение, фильтрацию и пр. компенсируются подкачивающей насосной станцией с производительностью 10—15% от рабочей. Подкачивающая станция подает воду в пруде-отстойник. Мониторы в некоторых случаях приходится монтировать на плавучем понтоне; в этом случае и питающие его трубы укладываются также на поплавках.

Осветленная вода из отстойного пруда может отводиться при помощи описанного выше колодезного водоспуска сифонного устройства или специального водослива в откосе плотины. В Америке для отвода осветленной воды иногда применяются

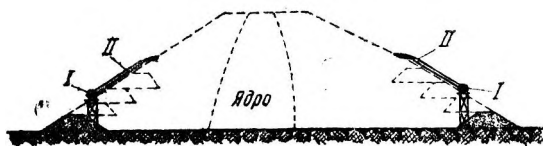


Рис. 168. Схема двухстороннего намыва плотины.



плавающие в пруде насосные станции. Регулированием водоотвода осветленной воды достигается регулирование ширины прудка, а следовательно и центрального водонепроницаемого ядра.

Фронт намыва разбивается на отдельные участки по длине, на которых поочередно и осуществляется намыв. Длина участков выбирается в зависимости от размеров сооружения и заданных темпов намыва.

Выключение отрошков от пульповода производится при помощи специальных шиберов, устанавливаемых на разводящих трубах.

На рис. 169 показана конструкция шибера, с успехом применявшегося на строительствах канала Москва — Волга и южной гавани в Москве. В магистральный трубопровод включается

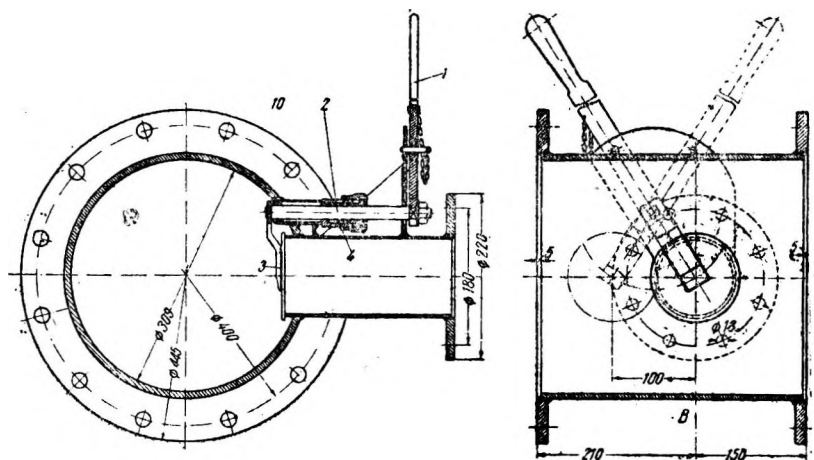


Рис. 169. Шиберные заслонки для намыва.

патрубок, в который под прямым углом вварен второй патрубок меньшего диаметра, служащий для соединения с разводящими трубами. Вход в меньший патрубок может быть закрыт при помощи рукоятки 1, передающей вращение при помощи штока 2 шиберу 3. Для избежания течи в месте прохода штока через стенку патрубка имеется специальное сальниковое устройство 4.

По мере роста высоты плотины пульповод переключается на более высокие отметки. Подача пульпы на значительные расстояния по трубкам малого диаметра разводящей системы нерентабельна, так как связана с огромными гидравлическими потерями.

Кроме того наличие значительной длины разводящих труб малого диаметра, как правило, ведет к увеличению простоев из-за закупорки этих труб.

Существует ряд предложений по механизации передвижек пульповода по мере роста откоса (например предложение Астежова), но следует отметить, что вопрос механизации этого процесса пока еще приемлемого решения не имеет. На строитель-

стве величайшей в мире намывной плотины „Форт-Пек“ для перекладки пульповодов с успехом применяются небольшие краны на гусеничном ходу (рис. 170).

Возведению плотин намывным или полунамывным способом должны предшествовать детальные лабораторные испытания карьерных грунтов. Сам процесс возведения с первого же дня должен быть обеспечен соответствующим техническим контролем.

История строительства намывных плотин знает большое количество крупных аварий, причину которых следует видеть прежде всего в недооценке значения технического контроля при их возведении.

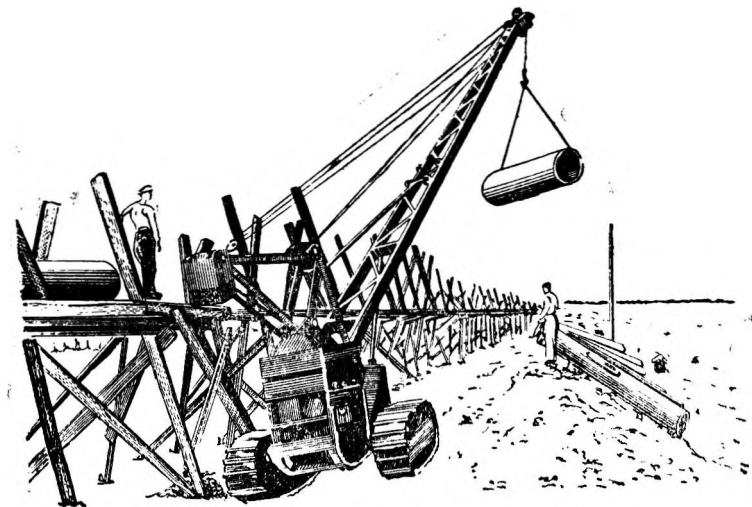


Рис. 170. Кран для перекладки пульповодных труб.

Количество аварий в период 1910—1920 гг. было так велико, что у ряда специалистов возникла мысль о невозможности обеспечить безаварийное возведение и эксплуатацию намывных плотин. В классической стране намывных плотин — Америке — до сих пор происходят крупнейшие аварии. Так, в сентябре 1938 г. на напорном откосе грандиозной плотины „Форт-Пек“ произошел большой оползень. Водой, хлынувшей из центрального пруда, вынесло около 6 млн. м<sup>3</sup> грунта. Приведем некоторые подробности аварии, опубликованные в журнале „Eng. N. Rec.“ т. 121, № 18, 1938 г.

В 1 ч. 15 м. дня совершенно неожиданно часть тела плотины длиной по гребню около 600 м и толщиной менее 25 м оползла в воду частично наполненного водохранилища, унеся с собой 34 человека, значительное количество разных снарядов и оборудования.

Из 34 человек 26 получили ранение, 8 погибло. Погибла

баржа для насосной установки в центральном пруде, 2 дреглейна 4 крана, 5 тракторов и 2 грузовые автомашины.

Прорыв, распространившись далеко вниз по течению, захватил ядро и часть облицовки низового откоса.

Причины оползня до сих пор не установлены, несмотря на немедленно поставленные после катастрофы исследования по выяснению его причин.

Возможно, что причина кроется в свойствах основания, сложенного сланцами, и недостаточном сопряжении сланцев или аллювия, подстилаемого сланцами с намытым телом плотины.

В данное время на западном конце плотины возобновлено рефулирование двумя рефулерами.

Составляется план работы по восстановлению разрушенной части тела плотины.

В связи с происшедшей катастрофой и необходимостью прервать работы в ноябре на время наступления морозов окончание рефулерных работ оттянется до будущего года.

Для характеристики плотины „Форт-Пек“ и масштабов строительства могут быть приведены следующие данные.

Земляная плотина „Форт-Пек“ строится в долине р. Миссури США с 1934 г.

По проекту объем тела плотины должен содержать 75 млн.  $m^3$  намывного грунта.

Длина запроектированной плотины по гребню 2 700 м с сопрягающей дамбой — 3 500 м, максимальная высота — 80 м.

Заложение смоченного откоса переменное от 3:1 до 5:1, низового 3,5:1.

Намыв плотины производился четырьмя 28-дюймовыми рефулерами с перекачными станциями, подающими грунт из карьеров на расстояние до 8 км.

Рефулирование должно было быть закончено в начале ноября 1938 г.

На время производства работ вода реки была отведена по четырем деривационным туннелям  $D = 7,5$  м, пробитым в сланцах под восточным плечом плотины.

Для обеспечения возможности частичного регулирования из р. Миссури уже в 1938 г. значительное количество воды было аккумулировано за частично оконченной плотинной.

В момент аварии до проектной отметки оставалось всего 9 м.

На сегодня следует считать абсолютно доказанным, что правильным проектированием и правильной организацией производства работ можно гарантировать 100%-ную надежность намывных плотин и полностью исключить возможность аварий.

В СССР в ближайшие годы намечено строительство ряда гигантских намывных плотин. Плотина Куйбышевского гидроузла объемом 40—50 млн.  $m^3$  запроектирована намывной.

### **3. РАБОТА С КРУГООБОРОТОМ ВОДЫ**

Распространенное мнение, что гидромеханизация требует огромных количеств воды, — ошибочно. Опыт работы ряда гидро-

установок строительства канала Москва — Волга в 1935—1936 гг., а также соответствующие расчеты показывают, что, применяя кругооборот воды, можно развернуть очень крупные работы. На строительстве канала Москва — Волга в долине одной небольшой речки было несколько крупных гидромеханизированных объектов. Все насосные станции получали воду из этой реки, расход которой приблизительно равнялся 300 л/сек, в то время когда суммарный расход стоявших на ней насосных станций равнялся 3 000 л/сек, т. е. в 10 раз больше расхода реки. Это оказалось возможным только благодаря кругообороту воды.

При работах с кругооборотом вода, проделав полный цикл работ — размыв, транспортирование и укладку грунта, — попадает вновь в приемный колодец насосной станции.

Принципиальная схема работ с кругооборотом показана на рис. 171.

Вода насосной станции, установленной на реке, подается в забой к мониторам. Пульпа перекачивается в тело сооружения. Осветленная вода по канаве через отстойный пруд, где происходит дополнительное

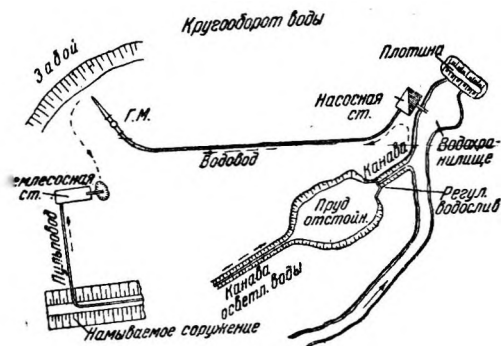


Рис. 171. Работы с кругооборотом воды.

осветление, возвращается в реку несколько выше насосной станции. Ниже станции устраивается плотина для образования водохранилища с целью накопления некоторого объема воды для начала кругооборота.

При организации работ с кругооборотом следует помнить, что попадание даже самого незначительного процента твердых частиц в водяные насосы ведет к быстрому их износу. Поэтому вопросам осветления воды при работе с кругооборотом следует уделять серьезное внимание. Иногда при работах с кругооборотом может оказаться целесообразным насосные станции располагать непосредственно в отстойном прудке намываемого сооружения. Для пополнения естественной убыли воды на фильтрацию, испарение и другие потери у источника водоснабжения устраивается небольшая насосная станция, подающая воду в отстойный прудок или непосредственно в забой через подсобный монитор небольших размеров. В этих случаях для насосной станции должны выбираться насосы таких конструкций, которые наименее страдают от износа. Землесосные снаряды в случае необходимости также могут работать на кругообороте.

Осветленная вода из тела сооружения возвращается в котлован снаряда. Потери воды компенсируются небольшим насосом, установленным у источника водоснабжения. Необходимость работы на кругообороте встречается довольно часто. Землесосный снаряд вводится в паводок в специально подготовленный

котлован или естественную впадину. После спада паводка землесосный снаряд оказывается изолированным от основного водоема и требует организации кругооборота или же установки в водоеме мощных насосов.

Если кругооборот организован для снаряда, делающего профильную выемку, то при опасности заиливания выполненной выемки приходится создавать дополнительные отстойные пруды. Потеря воды при работе с кругооборотом складывается из следующих потерь: 1) потери на фильтрацию, 2) потери на испарение и 3) потери на утечки в пульповодах и водоводах. Ни одно из этих слагаемых теоретически определено быть не может. Величина потерь в процентах к расходу насосной станции или землесосного снаряда по опытным данным колеблется в пределах от 15 до 50%. При мониторинговых работах эти потери, как правило, больше потерь для работ землесосными снарядами с механическим разрыхлением.

Возможность работ с кругооборотом значительно расширяет область применения гидромеханизации. Правильное и продуманное решение позволяет на незначительных ручьях развертывать крупные гидромеханизированные работы.

## ***И. ОСОБЕННОСТИ РАЗМЫВА ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ***

В силу того что гидромеханизация имеет дело с открытыми потоками воды, она является сезонным видом механизации. Однако в средней, а тем более южной полосе нашего Союза при умелой организации гидромеханическим способом можно работать почти круглый год, несмотря на то, что в зимние месяцы эффективность работы снижается.

В первые в СССР зимой работали гидромониторные установки на Днепрострое (1931—1932 гг.).

Зимой 1933/34 г. гидромеханизация применялась на площадках Магнитостроя и Азовстали.

Зимой 1936/37 г. гидромеханизация применялась в ряде районов строительства канала Москва — Волга.

Суммируя опыт зимних работ перечисленных строек и данные специальных наблюдений, можно сформулировать следующие основные положения:

1) В районах, где зимой бывают частые морозы с температурой ниже  $10^{\circ}$ , применять гидромеханизацию в зимнее время следует только в случае крайней необходимости.

Для песков легких и средних супесей при забое высотой 5—6 м можно в качестве первого приближения принять, что эффективность гидромониторной установки падает с понижением температуры следующим образом:

При $0^{\circ}$ — $100\%$	При $10^{\circ}$ — $45\%$
„ $2^{\circ}$ — $85\%$	„ $15^{\circ}$ — $20\%$
„ $5^{\circ}$ — $75\%$	„ $20^{\circ}$ — $15\%$
„ $8^{\circ}$ — $55\%$	

2) Эффективность зимних работ может быть сильно повышена, если до наступления заморозков принять меры, уменьшающие

глубину промерзания грунта; например покрыть участок, назначенный к зимней разработке, соломенными матами.

3) В случае необходимости разрабатывать забой с значительным слоем мерзлого грунта целесообразно применять взрывы и вывоз мерзлых комьев из забоя.

4) Размыв на близких расстояниях в зимних условиях надо вести особенно осторожно, так как мерзлый грунт образует огромные козырьки, ежеминутно грозящие обрушением.

5) В зимних условиях решающим фактором эффективности работ является непрерывность размыва. Перерывы в работе зимой вредны не только вследствие потери часов чистой работы, но

главным образом потому, что вследствие промерзания стенки забоя сильно снижается производительность размыва после перерыва. Данные о промерзании стенки забоя приведены в главе I.

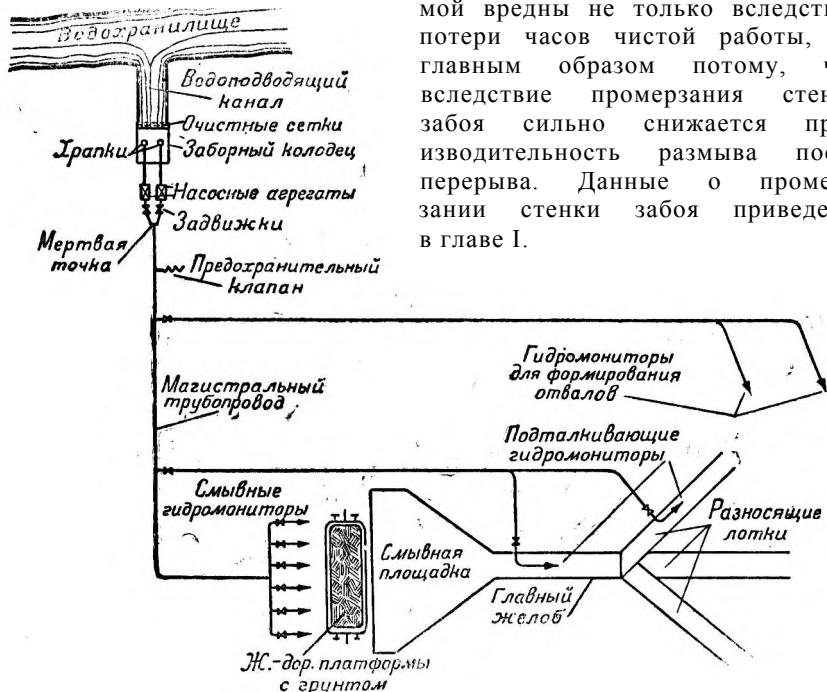


Рис. 172. Общая схема работ по смыву грунта с платформ.

6) Если есть возможность, то на зимний период целесообразно увеличивать напор у мониторов на 50—80%.

6) Чем выше забой, тем меньше сказывается отрицательное влияние низких температур.

### К. ГИДРОМЕХАНИЗАЦИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Иногда гидромеханизация может быть с успехом применена для выполнения отдельных процессов комплекса земляных работ. Остановимся на некоторых из них.

#### 1. Разгрузка железнодорожных платформ гидромониторами

В Хлебниковском районе строительства канала Москва—Волга для разгрузки землевозных поездов с успехом были применены гидромониторы.

Общая схема установки представлена на рис. 172. Вода от насосной станции подается к мониторам, расположенным относительно платформы так, как это показано на рис. 173. Давление на выходе из насадки было принято около 1,5 ат. Расстояние от насадки до грунта составляло около 0,7 м. Диаметр насадок—75—100 мм. Управление мониторами осуществлялось с пло-

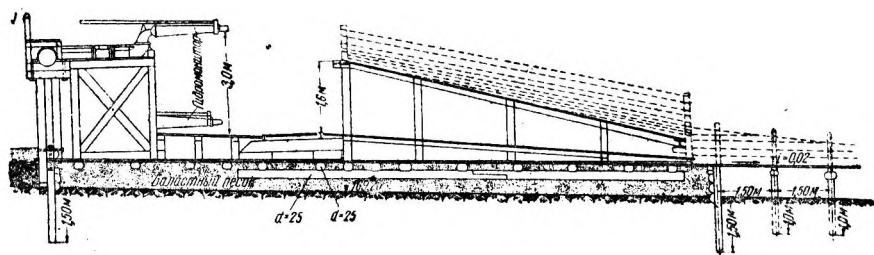


Рис. 173. Смывное устройство.

щадки шириной 2,5 м, огороженной перилами. Верхние мониторы (рис. 174) смывают грунт непосредственно с платформы в бункер, нижние служат для разжижения и проталкивания грунта из бункера в распределительные лотки.

Путем ряда опытов была установлена следующая последовательность операций при смыве грунта. Под разгрузку подавались одновременно две платформы. Струи верхних мониторов, действуя попарно, срезают гребень насыпанного грунта высотой около 300 мм, причем эта операция производится движением струи мониторов от середины платформы к краю. Обе струи, действуя совместно, прорезают канавку до пола платформы. Следующая операция состоит в смыве основного объема грунта, для чего обе струи передвигают так, чтобы одна была все время в основание грунта, а другая, действуя вслед

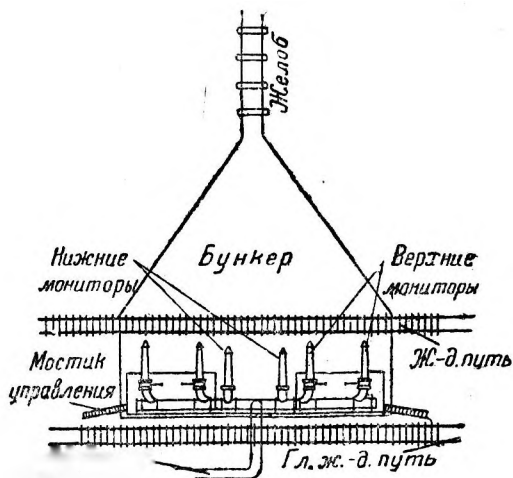


Рис. 174. План мониторов и бункера для смыва.

за первой, сбрасывала бы осыпавшийся грунт. При этих операциях борт платформы, обращенный к мониторам, закрыт; борт же, обращенный в сторону желоба, открывается в момент подачи вагонов.

Передний борт открывается только для окончательной очистки платформы, которая осуществляется обратным движением

мониторов. Смыв основной массы грунта при закрытом переднем борте хорошо защищает площадку перед мониторами от засорения. Разгрузка 10-кубометровой платформы с учетом движения состава и промыва площадки продолжалось в среднем от 4 до 5 мин. Время разгрузки для легких грунтов (песок, супесь, чернозем, торф) падало до 1—1,5 мин., а для тяжелых (глинистый грунт с крупными комьями и камнями) поднималось до 8—9 мин.

В табл. 38 даны основные эксплуатационные данные описанной установки. Чрезвычайно важным преимуществом применения гидромеханизации в данном случае является осуществление централизованной разгрузки грунта. Состав все время остается на надежно уложенных магистральных путях, распределение же грунта осуществляется перестановкой легких лотков, благодаря чему резко снижается число аварий подвижного состава против числа аварий для составов, работающих с ручной разгрузкой на тупиковых путях, укладываемых на неосевшей насыпи.

Таблица 38

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Количество
1	Максимальное количество разгруженных платформ в сутки . . . . .	шт.	290
2	В среднем разгружалось за сутки платформ	"	240
3	" " смывалось за сутки грунта 240 × 9	м <sup>3</sup>	2160
4	Общий расход электроэнергии за сутки . . .	квт	2093
5	Удельный расход энергии . . . . .	квт/м <sup>3</sup>	0,97
6	" " воды . . . . .	м <sup>3</sup> (воды)	9,1
7	Экономия стоимости по сравнению с ручной разгрузкой . . . . .	м <sup>3</sup> (грунта)	
8	Экономия рабочей силы по сравнению с ручной разгрузкой . . . . .	0/0	56
		0/0	80

В заключение необходимо отметить, что гидросмыв по описанной схеме возможен только при благоприятном рельефе местности. В отдельных случаях для гидросмыва может оказаться выгодным применение землесосов.

## 2. Гидромеханизация на постройке плотины „Квэббин“ (Америка)

Интересным примером гидромеханизации отдельных процессов комплекса земляных работ может служить описываемый ниже метод, применявшийся в 1937 и 1938 гг. на сооружении плотины „Квэббин“ в США.

Принципиальная схема организации работ показана на рис. 175. Грунт разрабатывался в трех карьерах экскаваторами и скреперами, мощными ленточными транспортерами подавался в бун-



кер, где смешивался с водой и далее самотеком по трубам направлялся в тело намываемой плотины.

В первом карьере высотой 12,0 м работают два дизельных экскаватора с ковшами емкостью 1,5 м<sup>3</sup>. Экскаваторы грузят грунт в бункер,двигающийся по рельсам вдоль ленточного транспортера с лентой шириной 900 мм и длиной 210 м. Скорость ленты — 1,7 м/сек. Рама транспортера состоит из отдельных 12-м секций. Секции скрепляются между собой гибкими соединениями. Бункеры,двигающиеся по рельсам, оборудованы ленточными питателями.

Транспортер передвигается параллельно фронту разработки в соответствии с ходами экскаваторов. Без передвижки на транс

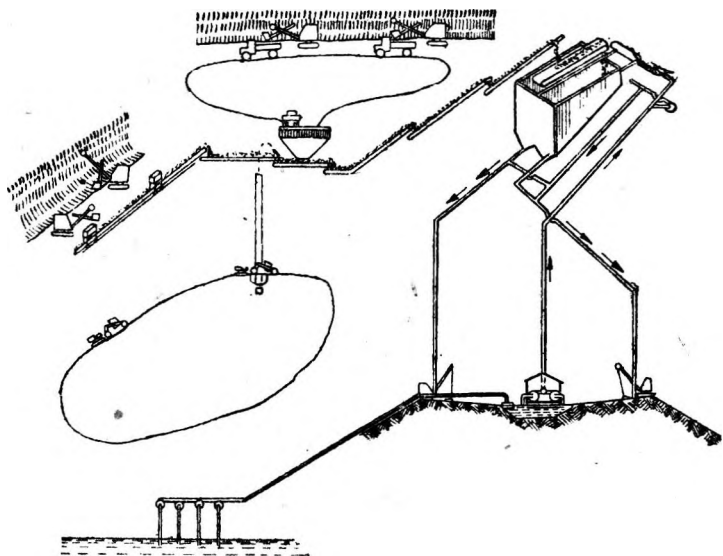


Рис. 175. Схема работ на плотине „Квэббин“.

портер можно погрузить около 40 000 м<sup>3</sup> грунта, передвижка длится около 1 часа.

Во втором карьере работает шесть прицепных тракторных скреперов (четыре — по 7,6 м<sup>3</sup>, один — 5,5 м<sup>3</sup> и один—3,8 м<sup>3</sup>), загружающих приемный бункер ленточного транспортера длиной 150 м и шириной 900 мм.

Транспортеры из первого и второго карьеров подают грунт на стационарный ленточный транспортер длиной 180 м с лентой шириной 900 мм. Этот транспортер в свою очередь передает грунт на ленточный питатель шириной 1 300 мм и длиной 6,9 м.

Питатель снабжен мотором с переменным числом оборотов, дающим возможность изменять производительность от 500 до 1 000 м<sup>3</sup>/час.

Третий карьер имеет высоту от 4,5 до 6,0 м, в нем работают два дизельных экскаватора с ковшом емкостью 1,5 м<sup>3</sup>.

Экскаваторы грузят грунт в автомобили с кузовом, вмещающим по 4 м<sup>3</sup>. Автомобили доставляют грунт в бункер, устано-

вленный над питателем. Емкость бункера равняется 25 м<sup>3</sup>. Его устройство позволяет одновременно разгружать две машины. Бункер защищен наклонной решеткой, задерживающей камни размером свыше 250 мм.

Незначительная дальность возки (около 800 м) позволяет машинам делать до четырех оборотов в час. Ленточный питатель передает грунт наклонному транспортеру. Наклон — 24%, ширина ленты — 1050 мм. Наклонный транспортер состоит из трех секций с моторами по 150 л. с. каждая. Скорость ленты — 2,5 м/сек. Наклонный транспортер поднимает грунт на высоту около 60 м. Между первой и второй секциями установлен трясун с решеткой, сбрасывающий камни свыше 250 мм диаметром.

Над смесительными бункерами имеется трясун, принимающий грунт с наклонного транспортера и распределяющий его между бункерами.

В начале работ ставилась задача равномерного распределения грунта по длине бункера и трясун монтировался на рельсах, но опыт показал, что и при стационарном трясуне получается вполне равномерное перемешивание.

Смесительный бункер построен на бетонном основании из дерева. Его длина равна 13,9 м и ширина 3,9 м. Он разделен на две продольные камеры, первая из которых обслуживает пульповод, намывающий верховой откос, а вторая — пульповод низового откоса плотины. Днище камер, имеющее уклон около 25°, и частично бока защищены от износа обшивкой из железных листов толщиной 12 мм. Бока камер обшиты резиновыми листами 10-мм толщины.

Чистая вода, накачиваемая из осветительного прудка плотины, поступает в верхний конец каждой камеры через стационарный монитор с 75-мм насадкой и через ряд 25-мм разбрызгивателей. Разбрызгиватели установлены на двух 150-мм трубах по 14 шт. на каждой.

Грунт, падающий с трясун, разбивается под действием струй и хорошо перемешивается с водой, прежде чем покинет нижний конец камеры. В мониторе и разбрызгивающих устройствах поддерживается давление порядка 1,8 ат. Количество воды регулируется специальными задвижками.

На случай необходимости повышения давления в мониторе и разбрызгивающих устройствах смонтирован дополнительный насос, который может быть последовательно включен в питающую сеть. От этого же насоса в пульповод может быть подана чистая вода. Плавающая в прудке насосная станция оборудована пятью электронасосами производительностью по 16 м<sup>3</sup>/мин при напоре 8,3 ат.

Плашкоут, на котором смонтирована насосная станция, имеет размеры 7,8 X 20,4 м. Всаивающие устройства насосов расположены внутри двух закрытых зумпфов с каждой стороны плашкоута. Всаивающие трубы опущены в воду на 1,8 м с целью предотвратить нарушение спокойного режима в прудке.

Нормально при работе одной линии пульповода было достаточно работы двух насосов. Оба пульповода — металлические и

имеют длину 1 620 м и диаметром 500 мм. Около 1 000 м труб в целях защиты от износа оклеены внутри слоем резины толщиной 12 мм. Резина несколько выступает за фланец и образует таким образом постоянную прокладку.

Практика показала нецелесообразность одновременной работы обоих пульповодов. Пульповоды работают поочередно. Включением и выключением отдельных секций труб достигается требуемое распределение грунта по фронту намыва.

Обвалование при намыве непрерывно ведется двумя экскаваторами, оборудованными дреглиями емкостью по 0,75 м<sup>3</sup>. Эти же экскаваторы, работая как краны, помогают при перекладке труб и других вспомогательных работах.

Для компенсации потерь воды из прудка на реке выше плотины смонтирована еще одна насосная станция. Станция оборудована четырьмя насосами общей производительностью 22,7 м<sup>3</sup>/мин. Вода по 400-мм трубопроводу подается в прудок через специальное успокоительное устройство, которое снижает скорости и сводит нарушение режима пруда при поступлении воды до минимума. Успокоитель снабжен понтоном с регулируемой глубиной осадки. Чтобы поддерживать постоянную глубину в прудке, приходилось в среднем подавать в него воды около 700 м<sup>3</sup>/мин. На описанных работах полностью централизовано управление всем сложным механическим комплексом. Один оператор из центрального пульта управляет всеми механизмами.

В течение 1937 г. в тело плотины было уложено 1,5 млн. м<sup>3</sup> грунта. Среднесуточная производительность составляла 10 500 м<sup>3</sup>, рекордная производительность — 17 500 м<sup>3</sup>. По высоте за сезон было намыто 17,5 м.

### 3. Работа экскаватором с гидротранспортом

В некоторых случаях, например при наличии трудно размываемых грунтов, может оказаться выгодным разрабатывать грунт при помощи экскаватора, а транспортировать его при помощи воды.

На рис. 176 показана схема работ экскаваторами и самотечными лотками.

Экскаватор типа дреглайн разрабатывает грунт и грузит его в бункер, расположенный в головной части лотка.

В бункере грунт размывается монитором и в виде пульпы по лотку стекает к месту укладки.

Для размыва раздробленного грунта требуется давление не более 2—3 ат; часто оказывается достаточным подать в бункер безнапорную воду.

В тех случаях, когда топография места не позволяет транспортировать грунт самотеком, применяются землесосы.

Передвижная землесосная станция для этой цели показана на рис. 177.

Грунт экскаватором подается на решетку бункера 1, где размывается монитором 2, и в виде пульпы стекает в зумпф. В зумпфе находятся всасывающие трубы 3 землесосов. Земле-

сосы монтируются на рамах 4, их всасывающий патрубок соединяется с фланцем 5.

На напорной линии землесосов устанавливаются обратные клапаны 6. Чистая вода к монитору подается по трубе 7.

Вся установка монтируется на четырехосной тележке и по мере надобности может передвигаться по рельсам.

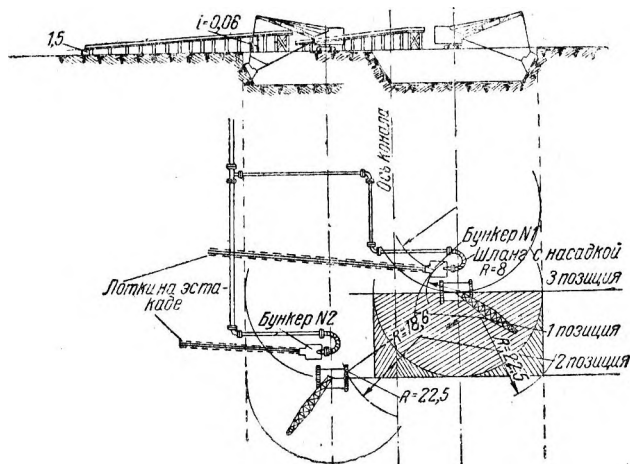


Рис. 176. Гидротранспорт от экскаватора.

## Л. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ

Производство земляных работ методом гидромеханизации связано с применением большого количества мощного оборудования, с постройкой всевозможных вспомогательных устройств и приспособлений и обязательно должно быть увязано с прочими строительными работами на данном объекте.

Рациональное решение этих вопросов может быть найдено только в результате тщательной проработки всех имеющихся материалов и оформления выводов в виде проекта организации работ.

Довольно часто в процессе проектирования гидромеханизации выявляется технико-экономическая целесообразность внесения некоторых изменений в строительный проект как в части сроков, так и в части конфигурации и конструкции сооружения.

В некоторых случаях, например при намыве плотин, конструкция сооружения самым непосредственным образом связана с принятой схемой производства работ. Проект организации работ рассматривается как обязательная составная часть строительного проекта.

Постановлением СНК СССР от 3 сентября 1934 г. категорически запрещено производство работ и финансирование строительства, не имеющих утвержденных технических проектов и смет по всему строительству в целом.

## 1. Данные для проектирования

Исходным материалом для проектирования организации работ методом гидромеханизации являются: 1) строительный проект объекта работ и 2) данные обследования места работ.

Строительный проект объекта работ должен содержать:

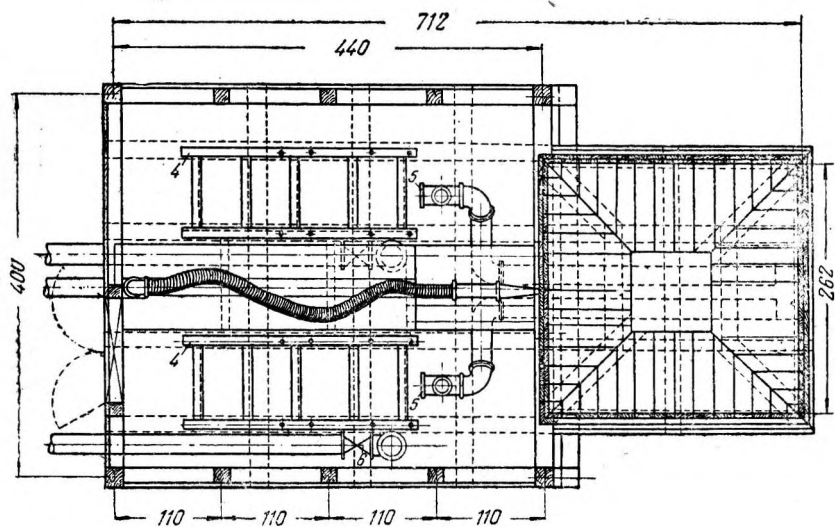
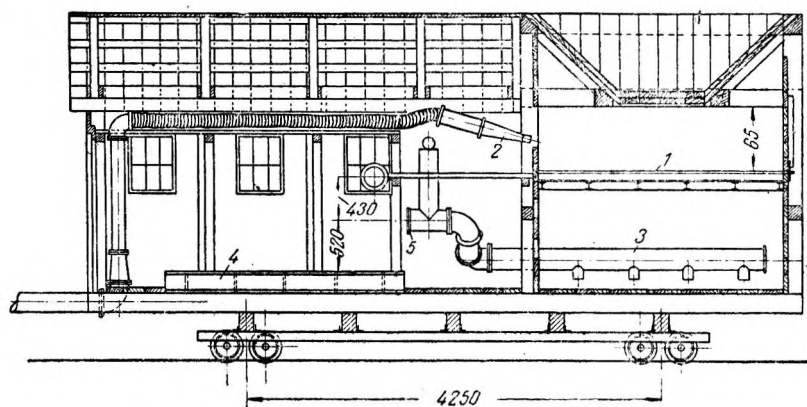


Рис. 177. Передвижной бункер.

а) графические материалы, полностью характеризующие сооружение и условия его работы;

б) объем всего сооружения и его отдельных частей;

в) сроки начала и окончания работ по сооружению, а также промежуточные сроки начала и окончания отдельных частей сооружения, если они лимитируются по каким-либо причинам об-

щим проектом организации работ по всему строительному объекту в целом;

г) все необходимые пояснительные записки и расчеты;

д) цены на материалы и рабочую силу в районе работ.

Эффективность гидромеханизации очень сильно зависит от природных условий, поэтому даже в стадии технического проектирования необходимо располагать большим количеством данных, рисующих обстановку работ.

Методика получения необходимых данных в деталях не отличается от таковой для всевозможных других работ, но общий комплекс их своеобразен; поэтому ниже мы приводим состав и объем необходимых данных.

а) Топография места производства работ. Необходимо иметь карту района работ для ориентации в отношении путей сообщения ближайших населенных пунктов, заводов, электростанций и т. д.

Желательный масштаб карты  $1/25000, 1/50000$

Место самих работ (карьер, место укладки грунта, место постройки насосных и землесосных станций, трассы пульповодов и водоводов) должно быть заснято в горизонталях с показанием всех существующих постоянных и временных сооружений, дорог, электрических линий и т. п.

План места работ должен быть графически оформлен в масштабе не меньше  $1/2000$ .

Горизонтали должны быть нанесены не реже чем через 1 м.

Если в объекты работ входит выемка грунта из реки или из каких-либо других водоемов, то необходимо иметь карту рельефа дна. Рельеф дна необходим также и для намыва под воду.

Вдоль намечаемой трассы пульповода или водовода необходимо иметь продольные профили.

Если намечается установка стационарной насосной станции, то берег и прилежащий участок дна водоема должны быть засняты с горизонталями через 0,5 м и оформлены в виде плана в масштабе не менее  $1/500$ .

К графическому материалу обязательно должна быть приложена обстоятельная записка с общим описанием рельефа, подробной характеристикой почвы растительного покрова, описанием угодий, строений всевозможных существующих сооружений, дорог и пр.

б) Геологические данные. Геологические данные должны содержать общее геологическое описание района и подробное описание пород места работ. Описание геологии места работ должно быть иллюстрировано геологическими картами и профилями. Карты и профили составляются на основе изучений обнажений, материалов буровых скважин и шурфов.

Частота и глубина скважин или шурфов назначаются в зависимости от конкретной обстановки. При небольших глубинах предпочтение всегда следует отдавать разведке методом шурфования, так как по образцам, полученным из шурфов, гораздо легче подобрать оптимальные значения напоров и расходов

воды для размыва, чем по образцам, полученным из буровой скважины.

В отношении всех основных разновидностей грунтов, находящихся как в карьере, а также и в районе намыва, необходимо иметь данные лабораторных исследований (механический анализ, коэффициент фильтрации, коэффициент внутреннего трения, объемный вес и процент пустот).

Геологическая записка должна также содержать в себе основные данные гидрогеологического характера.

в) Гидрологические данные. Гидромеханизация всегда органически связана с каким-либо источником водоснабжения, поэтому безусловно необходимо иметь гидрологические данные о всех имеющихся в районе работ потоках и водоемах. Эти данные должны заключать в себе:

- 1) наблюдения над колебаниями уровня воды по каждому водоему;
- 2) сведения о расходах воды (или запасах);
- 3) ориентировочные данные о твердом расходе (для суждения о мутности и заилинии);
- 4) сведения о зимнем, летнем и весеннем водном режиме (ледоход, ледостав, донный лед, заторы и пр.).

Кроме этих данных в тех случаях, когда приходится подсчитывать запасы воды в источнике по формулам стока, необходимо иметь подробное гидрологогеографическое описание бассейна и данные гидрометеорологических наблюдений.

г) Метеорологические данные. Эффективность гидромеханизации зависит от температуры воздуха, поэтому при проектировании необходимо иметь данные о начале заморозков в районе работ и о средних температурах.

д) Энергетические ресурсы района работ. В подавляющем большинстве случаев гидромеханизация ориентируется на получение энергии от центральных электрических станций. Поэтому для проектирования производства работ достаточно знать:

- 1) максимальную мощность и количество киловатт-часов, которые можно получить от электростанции за весь период работ с разбивкой по месяцам (особенно важно при питании от небольших электростанций, нагрузка которых сильно колеблется как в течение суток, так и по месяцам года);
- 2) вольтаж и систему энергоснабжения;
- 3) местонахождение точки отпуска электроэнергии;
- 4) результат обследования возможной трассы электропередачи.

В случае возможности получения электроэнергии в специальной записке должна быть освещена топливная конъюнктура, что необходимо для рационального выбора типа двигателя.

е) Сведения транспортного характера. Значительный вес оборудования гидромеханизации заставляет вопросам транспорта уделять большое внимание.

Часто намечаемые по проекту организации работ сроки пуска установок оказываются сорванными исключительно по грани-

портным причинам. Для реального проектирования необходимо поэтому располагать специальной запиской, освещающей вопросы транспорта.

В записке должны быть указаны: 1) состояние дорог для автотранспорта в районе работ, 2) расстояние ближайшей железной дороги от места работ, 3) возможность использования водных путей сообщения в период навигации.

Только располагая всеми перечисленными данными, можно грамотно и реально запроектировать производство земляных работ способом гидромеханизации.

Совершенно понятно, что приведенный выше список должен быть уточнен в каждом отдельном случае.

## 2. Состав проекта

В соответствии с постановлением СТО от 26 ноября 1931 г. проектирование сверхлимитного строительства разделяется на ряд определенных стадий. Каждая из них является основанием или заданием для последующей. Все стадии проектирования требуют подлежащего оформления и утверждения.

Таким образом в процессе своего составления проект движется по все уточняющимся, все более детализованным и конкретным стадиям.

Составление проекта сверхлимитного строительства производится в следующем порядке:

а) Плановое задание является основным заданием для проектной организации и должно содержать в себе указания на характер объекта, его производительность, район постройки, перспективы возможного расширения и пр. Плановое задание составляется на основе предварительных изысканий в соответствии с перспективными плановыми предположениями или специальными поручениями высших органов.

б) Проектное задание разрабатывается на основе планового задания и всесторонних технических и экономических изысканий. Оно представляет собой первоначальный эскиз проекта, долженствующий установить техническую возможность и экономическую целесообразность сооружения данного объекта в данном районе.

в) Технический проект разрабатывается на основе составленного и надлежаще утвержденного проектного задания. Он должен содержать все технические и экономические решения в том объеме и с той степенью детализации, которые достаточны для включения объекта в план строительства и для определения необходимого размера финансирования. В сметной части он содержит предварительную смету.

г) Рабочий проект разрабатывается на основе надлежаще утвержденного технического проекта и точных данных об оборудовании. По нему производятся все работы по возведению сооружения, монтажу оборудования и пуску предприятия в эксплуатацию. Им устанавливается уточненная стоимость строительства (производственная смета).



Хотя окончательное свое завершение проект получает в рабочем проекте, следует помнить, что технический проект не только служит основой рабочего проекта, но играет в известной мере самостоятельную роль, служа основным документом для определения необходимого финансирования, достаточным и необходимым основанием для включения объекта в план, достаточным основанием для открытия оперативной деятельности по строительству, в том числе для заключения строительного договора, но не для производства самих работ. Основанием для производства как подрядных, так и хозяйственных работ может служить только рабочий проект.

Рассмотрим конкретное содержание перечисленных выше проектов для проектирования организации производства земляных работ методом гидромеханизации.

а) Плановое задание. Плановое задание для проекта организации работ обязательно, необходимо оно только в том случае, когда намечаемое сооружение по своему замыслу предопределяет какой-либо определенный способ работ, например намывные плотины. Плановое задание для проектирования гидромеханизированных работ должно заключать: 1) основную характеристику сооружения; 2) характеристику места работ по данным предварительных изысканий в районе работ (топографию и геологию); 3) намечаемый срок начала и окончания работ.

Плановое задание оформляется в виде пояснительной записки, иллюстрированной схемами сооружения и района работ.

б) Проектное задание является по существу эскизным проектом; его назначение — установить технико-экономическую целесообразность применения гидромеханизации в данных конкретных условиях. Проектное задание по гидромеханизации разрабатывается или на основе соответствующего планового задания, или в порядке перепроектирования части существующего технического проекта сооружения.

Практика проектирования гидромеханизации на ряде строительных установила следующий состав проектного задания:

I. Принципиальная схема производства работ.

Пояснительная записка, в которой должны быть обоснованы:

- 1) принятая схема работ; 2) источники энерго- и водоснабжения;
- 3) ориентировочное месторасположение отвалов и резервов;
- 4) выбранные снаряды; 5) сроки начала и окончания всего сооружения в целом и его отдельных частей.

II. Паспорт-калькуляция. Паспорт-калькуляция составляется из пяти таблиц, а именно:

- 1) ведомости основного оборудования, составляемой по форме, представленной;
- 2) ведомости капитальных затрат, составляемой по форме, представленной;
- 3) ведомости рабочей силы, составляемой по форме, представленной;
- 4) ведомости эксплуатационных затрат, составляемой по форме, представленной;
- 5) сводки основных данных, составляемой по форме:

- 1) общий объем работ в  $m^3$ ;
- 2) число рабочих дней;
- 3) суточная производительность;
- 4) средняя консистенция пульпы;
- 5) установленная мощность в киловаттах;
- 6) рабочая мощность в киловаттах;
- 7) расход электроэнергии на  $1 m^3$  в киловатт-часах;
- 8) число рабочих, занятых в смену;
- 9) производительность на 1 чел.-день;
- 10) общая сумма капитальных затрат;
- 11) общая сумма эксплуатационных затрат;
- 12) стоимость  $1 m^3$ .

в) Технический проект, как уже указывалось, разрабатывается на основе утвержденного проектного задания. Технический проект гидромеханизации должен представлять собой увязанный комплекс следующих графических материалов и пояснительных записок:

- 1) календарные планы основных и всех видов вспомогательных работ — монтажа оборудования гидромеханизации, устройства временных обвалований и т. п.;
- 2) чертежи, поясняющие выбранную схему работ по выемке (план и разрезы);
- 3) то же по насыпи или отвалам;
- 4) чертежи отдельных специальных устройств гидромеханизации (водосливов, перемычек, обвалований и т. п.);
- 5) чертежи насосных и землесосных станций как стационарных, так и передвижных;
- 6) чертежи специального для данного объекта оборудования гидромеханизации;
- 7) профили магистральных пульповодов и водоводов;
- 8) чертежи по организации монтажно-строительной площадки с механической мастерской, складом, конторой и т. п.;
- 9) чертежи проекта электроснабжения гидромеханизации;
- 10) схема телефонной связи;
- 11) чертеж, поясняющий баланс земляных масс;
- 12) календарные планы потребности в рабочей силе, материалах и оборудовании с характеристикой последнего;
- 13) схема административно-технического управления с учетом работ;
- 14) пояснительная записка с обоснованием принятой схемы производства работ и принятых производительностей отдельных агрегатов; в записке должны быть приведены главные технологические, гидравлические и конструктивные расчеты;
- 15) сметы и калькуляция стоимости выработки  $1 m^3$  грунта; сметы всевозможных вспомогательных устройств могут быть составлены по укрупненным показателям.

г) Рабочий проект является последней стадией детализации и уточнения проекта. Рабочий проект организации работ гидромеханизации желательно составлять непосредственно перед началом производства работ с тем, чтобы он с исчерпывающей полнотой отразил конкретную обстановку работ. По

содержанию рабочий проект должен охватить все выше отмеченные 15 пунктов, причем вся графическая часть должна быть оформлена в виде рабочих чертежей, а записки должны содержать все необходимые расчеты технологической, гидравлической и конструктивной частей.

Для максимального приближения рабочего проекта к жизни не следует поручать составление его проектным организациям, оторванным от площадки. Рабочий проект должен делаться непосредственно на месте работ, как это и предусмотрено соответствующим постановлением правительства.

### **3. Экспертиза и утверждение проекта**

В связи с ответственным значением проекта закон предусматривает обязательную специальную оценку проектных материалов компетентными государственными органами. С точки зрения взаимоотношений заказчика и проектной организации экспертиза является первым этапом приемки работы.

С точки зрения народного хозяйства в целом это есть акт, осуществляемый государственным органом с целью гарантии максимальной эффективности капиталовложений. Экспертиза не означает утверждения проекта, а представляет собой лишь официальную оценку проектных материалов на разных стадиях проектной работы.

Экспертиза должна обеспечить возможность своевременных исправлений и дополнений проектных материалов и дать достаточное обоснование последующему утверждению проекта. Как правило, экспертизе подвергаются только проектное задание и технический проект.

Для сверхлимитного строительства проектные материалы получают законную силу только после утверждения их соответствующими высшими государственными органами.

Утверждению подлежат проектные материалы на различных стадиях проектирования, и утверждение каждой из них является обязательной предпосылкой для приступа к работе над следующей стадией.

Утверждению подлежат проектное задание и технический проект. Рабочий проект не требует особого утверждения.

В целях регулирования стоимости проектных работ правительством установлен лимит стоимости проектирования для строительства с капиталовложением, превышающим 500000 руб. в 1,5% от стоимости строительства и в 2% для особо сложных объектов, по специальному разрешению соответствующего наркома.

В эти суммы входит как стоимость проекта самого сооружения, так и стоимость проекта организации работ по его возведению.

---

УДЕЛЬНЫЕ ВЕСА ПУЛЫПЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНСИСТЕНЦИИ

№ п/п	Характеристика грунта	Объемная консистенция						
		10	20	30	40	50	60	%
1	Пески крупные Объемный вес 1,65 т/м <sup>3</sup> Удельный " 2,6	1,15	1,32	1,47	1,63	—	—	Удельный вес пульпы
2	Пески мелкие и средние Объемный вес 1,3 т/м <sup>3</sup> Удельный " 2,6	1,15	1,32	1,47	1,63	1,80	—	
3	Суглинки и супесь Объемный вес 1,7 т/м <sup>3</sup> Удельный " 2,2	1,11	1,23	1,35	1,47	1,60	1,72	
4	Гравий-галька Объемный вес 1,6 т/м <sup>3</sup> Удельный " 2,7	1,17	1,34	1,50	—	—	—	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

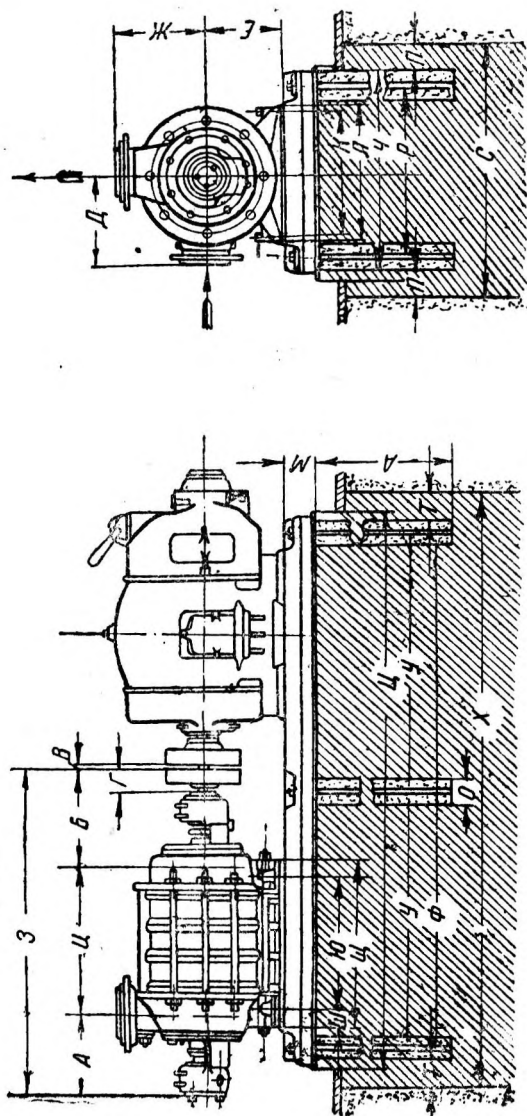
ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НОВЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ, ИЗГОТОВЛЯЕМЫХ ЗАВОДАМИ ГЛАВХИММАША В 1938 г.<sup>1</sup>

Марка и размер	Число об/мин	Производительность		Полный напор в м	Мощность мотора в квт	Объяснение символов марок
		в л/сек	в м <sup>3</sup> /час			
2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> НК	3 000	14	50	26,5	6	НК — насос консольный
2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> НК	3 000	15	54	35	10	
3 НК	3 000	18	65	33	10	НМК — насос многоколесный
3 НК	3 000	17	62	47	12	
3 НК	3 000	19	70	54,5	16	НДС — насос двойного всасывания среднего напора
4 НМК × 2	3 000	42	150	123	84	
4 НМК × 2	3 000	42	150	150	93	

<sup>1</sup> Таблица взята по преискуртанту-справочнику Главхиммаша, изд. 1938 г.

Марка и размер	Число об/мин	Производительность		Полный напор в м	Мощность мотора в кВт	Объяснение символов марок
		в л/сек	в м <sup>3</sup> /час			
6 НМК × 2	1 500	50	180	35	28	НДВ — насос двойного всасывания
6 НДС	3 000	61	220	62	55	
6 НДС	3 000	80	288	70	75	
6 НМК × 2	3 000	75	270	100	115	НДН — насос двойного всасывания низконапорный НДСВ — насос двойного всасывания среднего напора в вертикальном исполнении
8 НМК × 4	1 500	83	300	200	260	
8 НМК × 4	1 500	83	300	237	300	
8 НДВ	960	100	360	42	60	
8 НДВ	1 500	150	540	94	220	
8 НМК × 2	1 500	100	360	90	130	
8 НМК × 4	1 500	145	522	165	340	
12 НДС	1 000	180	650	18	43	
12 НДС	1 000	280	1 000	24	80	
10 НМК × 2	1 500	270	975	175	670	
14 НДС	960	300	1 080	40	150	
16 НДН	730	375	1 350	10	46	
18 НДС	730	560	2 000	33	230	
20 НДС	960	750	2 700	45	420	
22 НДС	730	850	3 050	32	350	
24 НДС	590	1 050	3 760	13	170	
24 НДСВ	750	1 800	6 500	78	1 700	

ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ НАСОСЫ СУМСКОГО ЗАВОДА им. ФРУНЗЕ



Тип насоса	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	Ч	Ц	Я
В-60	273	367	5	70	300	200	250	330	380	70	100	100	150	360	660	150	500	48	500
В-80	269	430	5	80	350	255	350	460	510	70	100	100	150	490	780	150	630	525	600
В-100	421	492	7	100	400	300	400	540	600	100	130	130	210	620	1020	200	900	6	700
В-150	495	575	7	120	520	335	520	680	740	100	130	130	250	740	1240	250	910	65	800
В-200	515	585	7	120	509	395	475	580	740	100	130	130	250	750	1250	250	950	78	900
В-250	525	535	7	135	553	435	526	740	610	—	—	—	—	—	1700	—	—	90	1000

Тип насоса	Всасывающий штуцер						Нагнетательный штуцер						Вал			Болты		
	а	б	в	болты			з	д	е	ж	з	болты		и	к	л	число	диаметр в дюймах
				число	диаметр	число						диаметр						
B-60	80	160	200	4	18	60	95	109	145	185	8	18	34	8	32	4	3	4
B-80	100	180	250	8	18	80	106	120	160	200	8	18	405	10	32	4	3 <sup>3/4</sup>	4
B-100	125	210	250	8	18	100	129	149	190	235	8	22	505	10	48	6	1 <sup>1/4</sup>	4
B-150	200	295	340	6	22	150	183	203	250	300	8	25	615	12	58	6	1	4
B-200	250	350	395	12	22	200	239	259	310	360	12	29	615	12	58	6	1 <sup>1/4</sup>	4
B-250	300	400	445	12	22	250	292	312	320	425	12	29	70	16	65	6	1 <sup>1/4</sup>	4

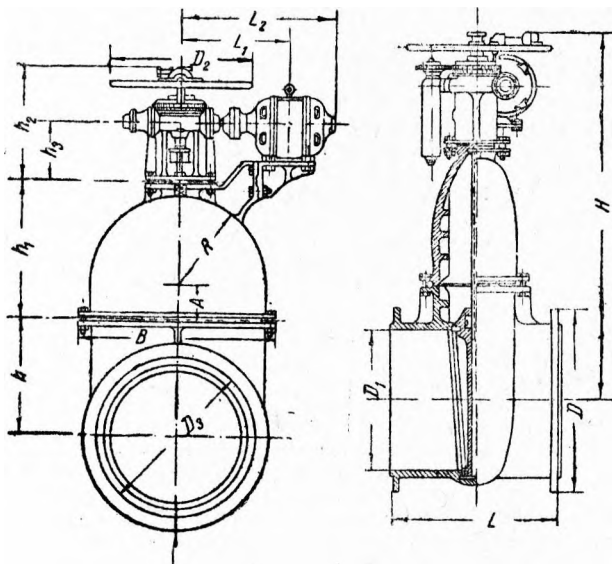
Число ступеней	B-80												B-100											
	З	И	Х	У	Ф	Ц	Щ	Ю	З	И	Х	У	Ф	Ц	Щ	Ю	З	И	Х	У	Ф	Ц	Щ	Ю
3	880	247	1 600	—	1 300	1 460	320	65	660	295	1 700	—	1 400	1 560	374,5	292	1 283	380	2 150	—	1 750	1 950	480	365
6	950	317	1 500	—	1 300	1 460	390	330	970	375	1 930	—	1 630	1 800	454,5	372	1 383	483	2 540	—	1 850	2 050	580	465
5	1 020	387	1 800	—	1 500	1 660	460	405	1 250	445	1 930	—	1 630	1 800	534,5	452	1 483	580	2 540	—	2 140	2 380	680	565
7	1 090	457	1 800	—	1 500	1 660	530	475	1 330	535	2 150	—	1 850	2 000	614,5	532	1 583	680	2 640	—	2 240	2 480	780	665
8	1 160	527	1 900	—	1 600	1 760	600	545	1 410	615	2 150	—	1 850	2 000	694,5	612	1 683	780	2 740	—	2 340	2 580	880	765
9	1 230	597	2 100	—	1 800	1 960	670	615	1 490	695	2 250	—	1 950	2 100	774,5	692	1 783	880	3 000	—	2 600	2 840	980	865
	1 300	667	2 100	—	1 800	1 960	740	685	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Число ступеней	B-150												B-200												B-250											
	З	И	Х	У	Ф	Ц	Щ	Ю	З	И	Х	У	Ф	Ц	Щ	Ю	З	И	Х	У	Ф	Ц	Щ	Ю	З	И	Х	У	Ф	Ц	Щ	Ю				
																																	З	И	Х	У
2	1 565	—	2 800	—	1 160	—	—	—	1 510	410	2 900	—	—	—	—	—	388	1 655	495	3 400	—	—	—	—	650	452										
3	1 695	495	3 100	—	—	610	460	—	1 660	560	3 200	—	—	—	—	563	1 839	672	4 500	—	—	—	—	830	630											
4	1 825	625	3 500	—	—	740	500	—	1 810	710	3 500	—	—	—	—	863	2 015	855	—	—	—	—	—	1 010	810											
5	1 955	755	3 800	—	—	870	720	—	1 960	860	3 700	—	—	—	—	1 013	2 195	1 035	—	—	—	—	—	1 190	990											
6	2 085	885	3 600	—	—	—	—	—	2 110	1 010	4 000	—	—	—	—	1 163	988	—	—	—	—	—	—	—	—											
7	—	1 015	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—											
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—											

**ВОДЯНАЯ КЛИНКЕРНАЯ ЗАДВИЖКА С ЭЛЕКТРОПРОВОДОМ**

Республиканский арматурный трест, Ленинград

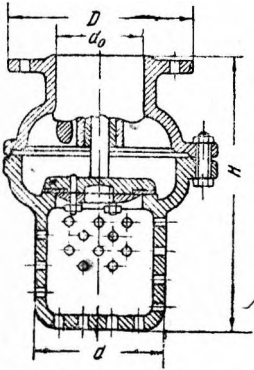
$P_{усл} = 6 \text{ кг/см}^2$   
 $P_{проб} = 10 \text{ кг/см}^2$  } Давление для воды по ОСТ 739.



Размеры																Общий вес в кг	
	A	B	D	D <sub>2</sub>	H	h	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	R	D <sub>3</sub>			
D <sub>1усл</sub> прохода																	
450	165	686	595	520	1351	380	502	470	240	650	3909	524,5	270	520	750		
500	168	740	645	570	1438	416	553	470	240	700	442	662	318	580	950		



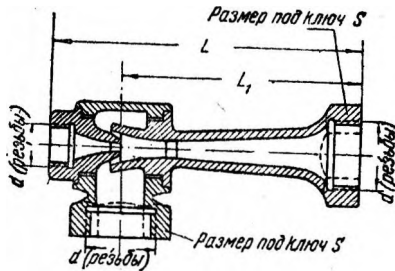
ПРИЕМНЫЕ КЛАПАНЫ



Основные габаритные и присоединительные размеры в мм								Вес в кг существ.
Проходы условные $d_0$	$d$		$D$		$H$			
	сущест.	по ВГ-ТУ	сущест.	по ВГ-ТУ	сущест.	по ВГ-ТУ		
150	205	234	305	285	373	360	57,5	
200	305	298	350	340	455	450	86,5	
250	375	382	430	395	501	540	134,0	
300	508	510	430	430	537	565	186,0	
400	598	584	520	520	592	595	246,0	
450	661	599	575	575	682	675	324,0	
500	661	672	630	630	840	810	360,0	
600	731	742	680	680	840	840	400,0	
—	—	—	780	780	1 006	1 000	480,0	

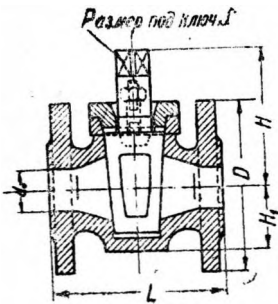
ПРИЛОЖЕНИЕ 6

ЭЖЕКТОРЫ (водоструйные насосы)



№ эжекторов	$d$ резьбы в дюймах		$d$ резьбы в дюймах		$L$		$L_1$		$H$		$S$		Вес в кг
	сущест.	по стан-дарту	сущест.	по стан-дарту	сущест.	по стан-дарту	сущест.	по стан-дарту	сущест.	по стан-дарту	сущест.	по стан-дарту	
1	3/4	3/4	3/8	3/8	120	125	92	90	35	35	38	32	0,8
2	1	1	1/2	1/2	160	160	128	128	45	40	47	40	1,2
3	1 1/2	1 1/2	3/4	3/4	205	205	155	155	50	50	69	60	2,0
4	2	2	1 1/4	1 1/4	255	255	190	190	60	60	80	70	3,2

**КРАНЫ ПРОХОДНЫЕ ФЛАНЦЕВЫЕ САЛЬНИКОВЫЕ  
ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО ОСТ 1765**



Основные габариты и присоед. разм. в мм						Вес в кг
Проходы условные d <sub>0</sub>	L	D	H	H <sub>1</sub>	Размер под ключ s	
25	100	115	85	37	17	3,5
(32)	120	140	94	45	19	3,5
38	130	150	111	52	22	7,5
50	150	165	134	63	27	11,5
65	180	185	157	74	30	15,0
76	200	200	169	86	32	19,5

**ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ  
НА ТОРФЯНЫХ РАЗРАБОТКАХ <sup>1</sup>**

**I. Правила**

§ 1. Для электротехнических сооружений на торфяных разработках должны применяться настоящие правила, а также „Правила безопасности и правила устройства для электротехнических сооружений сильного тока низкого и высокого напряжений“, издаваемые Всесоюзным электротехническим съездом и ЦЭС, поскольку они не изменены настоящими правилами.

§ 2. На станциях и подстанциях, питающих торфоразработки, должны быть установлены приспособления, надежно обеспечивающие быстрое выключение поврежденной линии при замыкании на землю в ней одной из фаз.

§ 3. Если в течение рабочего сезона будет замечено, что столбы воздушных линий, установленные на болоте, значительно отклонились от нормального положения, то таковые должны быть приводимы в свое первоначальное положение.

§ 4. а) Проводка тока от рабочих линий к электродвигателям должна осуществляться при помощи гибкого кабеля с изоляцией жил из вулканизированной резины. Для защиты от механических повреждений кабель должен иметь соответствующую наружную оболочку (металлическую, кожаную, веревочную и т. п.).

Если защитная оболочка не металлическая или металлическая, но не сплошная (открытая проволочная спираль), то каждая жила кабеля поверх изоляции должна иметь еще сплошную спиральную обмотку из медной или латунной ленты; на концах кабеля в этом случае оболочки эти должны быть между собою соединены и заземлены.

При применении в качестве защитной оболочки оплетки из тонких проволок, под таковой должна иметься не только пропитанная оболочка из плотного материала, но и вторая металлическая оболочка, которая устранила бы возможность прокола изоляции концами оборванных проволок.

б) Оба конца кабеля должны быть снабжены концевыми муфтами надлежащей конструкции, предохраняющими изоляцию кабеля от повреждения вследствие атмосферных влияний.

<sup>1</sup> Одобрены ЦЭС и НТС горного отдела ГЭУ ВСНХ СССР. Перепечатаны со сборника „Электротехнические правила и нормы“, изд. 1927 г. с редакционными поправками, одобренными ЦЭС.

§ 5. Соединение кабеля с рабочей линией должно быть выполнено таким образом, чтобы места присоединения не подвергались натяжению.

§ 6. Кабель, подводящий ток к электродвигателю, должен быть проложен на деревянных стойках таким образом, чтобы перемещение кабеля могло производиться путем переноски кабеля на указанных стойках.

§ 7. Все торфяные передвижные агрегаты должны присоединяться к отдельным рабочим линиям. В местах ответвления рабочей линии от магистрали должны быть установлены разъединители и предохранители на высоте, недоступной для случайного прикосновения; в противном случае они должны быть помещены в запираемой будке. Использование трубчатых предохранителей в качестве разъединителей не допускается. Если применяются разъединители такого устройства, что для выключения необходимы штанги, то при пользовании ими между ручкой штанги и изолятором должно иметься заземление.

§ 8. Подводка тока к электродвигателю кабелем должна осуществляться через автоматический максимальный масляный выключатель или через предохранители и масляный выключатель.

§ 9. Все металлические части приборов и машин, не находящихся под напряжением, но могущие в случае повреждения оказаться под высоким потенциалом относительно земли, как например корпуса электродвигателей, масляных выключателей и пусковых реостатов, кабельные муфты, броня кабелей, тележки шатров и т. п., должны быть во время нахождения соответствующего торфяного агрегата под напряжением постоянно заземлены, причем каждая кабельная муфта должна быть присоединена к отдельному заземляющему электроду. Поверхность каждого из заземляющих электродов должна быть не менее 0,3 м<sup>2</sup>. Отдельные заземления должны быть между собой электрически соединены.

§ 10. Защитное заземление частей оборудования, указанных в предыдущем параграфе, должно быть выполнено таким образом, чтобы напряжение заземляемых частей по отношению к земле при однополюсном замыкании на землю не превышало 50 в.

§ 11. Заземляющие провода должны быть медными и обладать достаточной механической прочностью, чтобы избежать возможности случайного обрыва их, и во всяком случае сечение проводов не должно быть меньше 25 мм<sup>2</sup>.

Скрещивание заземляющих проводов без пайки не допускается.

§ 12. Заземляющие электроды должны находиться в почве карьера с водой и вообще в постоянно влажной почве.

§ 13. Электродвигатели и относящиеся к ним приборы должны быть защищены от дождя и грязи, а также ограждены от доступа лиц, не принадлежащих к обслуживающему персоналу.

## **II. Пояснения к правилам безопасности для электротехнических сооружений на торфяных разработках**

Настоящие правила устанавливаются впервые в СССР.

При составлении правил был принят во внимание опыт эксплуатации электротехнических сооружений на торфяных разработках Ленинградского и Московского районов.

Дальнейшее развитие и усовершенствование правил пойдет по пути использования опыта применения этих правил на существующих торфяных разработках.

Опасность для рабочих на торфяных разработках обуславливается тем обстоятельством, что рабочим приходится, стоя на сырой земле и имея на себе сырую одежду, приходить в непосредственное соприкосновение с частями торфяных машин, могущими оказаться под напряжением по отношению к земле, которое является результатом прохождения тока через заземляющие электроды, причем опасность особенно велика при однофазных замыканиях на землю в случае наглухо заземленной нейтрали, а также во всех случаях при двойном замыкании на землю.

Далее защита торфяных рабочих от поражения электрическим током затрудняется вследствие передвижного характера торфяных агрегатов и трудностей устройства защитного заземления с малым сопротивлением.

Правилами предусматриваются меры безопасности, соответствующие указанным условиям работы. Эти меры не исключают тех, которые требуют специального с точки зрения безопасности конструирования торфяных агрегатов, как например полной изоляции электрических машин и приборов от дру-

гих частей агрегатов. Если по местным условиям работы возможно принять такого рода меры в дополнение к требуемым правилам, то рекомендуется эти меры осуществлять.

В дальнейшем даны пояснения по отдельным параграфам правил.

К § 2. Требование этого параграфа введено для того, чтобы по возможности предупредить появление двойных замыканий на землю путем быстрого выключения линий, в которых возникло однофазное замыкание на землю.

Требование этого параграфа может быть осуществлено следующими способами:

а) На подстанциях, на которых не установлено постоянного дежурства монтера, как например на открытых трансформаторных подстанциях, при помощи автоматических выключателей, выключающих линии при замыкании на землю одной фазы.

б) На станциях или подстанциях, где установлено постоянное дежурство монтера у распределительного щита, могут быть установлены указатели замыкания на землю в виде электроакустических или электросветовых сигналов, а также в виде приборов с подвижным указателем, причем в особенности рекомендуется применение электроакустических сигналов.

К § 3. Допустимым считается отклонение столбов порядка  $5-10^\circ$ .

К § 5. Цель требования настоящего параграфа — предупредить возможность нарушения контакта в месте присоединения кабеля к рабочей линии вследствие усиления от веса кабеля. Это может быть осуществлено путем крепления муфты кабеля к столбу и подвески кабеля к столбу ниже муфты для того, чтобы избежать нагрузки самой муфты весом кабеля.

К § 7. В тех случаях, когда гибкий кабель и рабочая линия имеют различные сечения, плавкие предохранители следует выбирать по силе тока, соответствующей меньшему сечению.

К § 9. Отдельное заземление мачтовой муфты имеет целью обезопасить прикосновение к броне кабеля в тех случаях, когда перенос защитных заземлений и кабеля производится без отключения рабочей линии.

Отдельное заземление муфты у масляного выключателя создает второй путь для тока к земле. Такое требование поставлено потому, что вследствие переносного характера установки не исключается возможность обрыва заземляющего провода. Кроме того устройство второго заземления дает возможность переносить заземления по очереди.

К § 10. Напряжение, указанное в настоящем параграфе, вычисляется, как произведение из силы тока замыкания на землю на сопротивление заземления.

Представление о величине сопротивления постоянного заземления дают следующие цифры.

Пластинка с поверхностью в  $0,5 \text{ м}^2$  в глинистой или пахотной земле, помещенная ниже уровня грунтовых вод, имеет сопротивление порядка  $20-30 \ \Omega$ .

Двухдюймовая труба, вбитая в глинистую или пахотную землю на глубину  $2 \text{ м}$ , дает сопротивление порядка  $30-50 \ \Omega$ .

В зависимости от свойств почвы и тщательности выполнения, указанные сопротивления могут быть больше во много раз.

Вышеуказанные цифры следует рассматривать, как дающие порядок величины сопротивления заземления. Относительно сопротивления заземления в торфяной массе данных не имеется, но есть основание предполагать, что они будут ниже вышеуказанных ввиду того, что торфяная масса содержит много воды.

Переносные заземления дают большие величины сопротивлений, чем вышеуказанные, и меняют их при переносе с места на место. Хорошим средством для уменьшения сопротивления заземления является увеличение числа заземляющих электродов, располагаемых на расстоянии  $1-2 \text{ м}$  и включаемых параллельно, а также увеличение поверхности заземляющих пластин. При увеличении площади электродов свыше  $0,5 \text{ м}^2$  или диаметра труб свыше  $51 \text{ мм}$  ( $2''$ ) сопротивление заземлений изменяется в сравнительно незначительных пределах.

## УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. А в е р и н Н. Д., Добыча песка и гравия землесосами, С, 1937 г., № 18.
2. А з е р ь е р, Элементы рационализации проектирования и эксплуатации насосных станций.
3. А р т а м о н о в Д. С., Окраска, осмолка и конопатка речных судов.
4. Б а х м е т ь е в Ю. А., Землечерпательные работы в портах, Гострансиздат, 1932 г.
5. Б е н ц а Ф. Ф., Техминимум электросварщика водного транспорта.
6. Б а т а е в А. А., Сварочные цехи судостроительных заводов.
7. Б а р а н о в с к и й А. В., Организация производства земляных работ в промышленном и жилищном строительстве, 1933 г.
8. Б ы ч к о в, Дноуглубительные снаряды, изд. „Водный транспорт“, Ленинград—Москва 1938 г.
9. Б у д н и к о в А. Н., Водоснабжение.
10. Б у р д а к о в А. А., Центробежные насосы, Госмашметиздат, 1932 г.
11. Б л и н о в, Гидромеханизация на Чирчикстрое, СП, 1936 г., № 9.
12. Инж. Б е л я к о в В. И., Новые типы насосов, Москва—Ленинград 1938 г.
13. В е л л е р М. А., Малый гидроторф. Госгориздат, 1932 г.
14. В о д а р с к и й Е. А., Дноуглубление и дноуглубительные работы, Гострансиздат, Москва 1936 г.
15. Инж. В а с и л ь е в А. М., Основы расчета скорости осаждения грунтовых частиц в жидкости, ОНТИ, 1936 г.
16. В е с е л а г о, Производство работ по сооружению гавани на Днепрострое, ГС, 1932 г., № 6.
17. В е л л е р, Организация и эксплуатация торфохозяйства по способу гидроторфа, Госгориздат, 1932 г.
18. В е л и к а н о в М. А., Гидрология суши, изд. МВТУ, 1925 г.
19. Г е г е ч к о р и Г. Г., Намывные земляные плотины, журн. „Американская техника и промышленность“, 1936 г., № 5.
20. Г у б и н, Производство намывных плотин Коббл Моутен в США, ГС, 1933 г., № 1.
21. Г л ы б о в с к и й Н. Н., Машина гидроторфа и ее водопроводное и массопроводное оборудование.
22. Г е н и е в Н. Н., Нограмма для расчета водопроводной сети, ГС, 1931 г.
23. Г и б с о н А., Гидравлика и ее приложение, Госэнергоиздат, 1934 г.
24. Г у с е в В. А., Рационализация работ землесосов.
25. Г о н ч а р о в, О взвешивании потоков, Госстройиздат, 1933 г.
26. Г а п п а р т. Справочник по обогащению полезных ископаемых, т. IV.
27. Г у г о Р и х т е р, Гидравлика трубопроводов.
28. Д о м а н е в с к и й Н. А., Результаты обследования работ землечерпательных снарядов.
29. Д ж а с т и н Дж., Земляные плотины (перев. с англ.), Госстройиздат, 1936 г.
30. Д а в и д е н к о в Н. Н., Струйный метод измерения деформаций, ГТТИ, 1933 г.
31. Е с ь м а н, Гидравлика, 1933 г.
32. З а й ц е в И. В., Гидромеханизация земляных работ, МВС, 1934 г., № 6.
33. З а й ц е в И. В., Гидромеханизация гравийных работ.

34. Зайцев И. В. и Ремизов, Намыв волжской земляной плотны, МВС, 1937 г., № 3-4.
35. Зайцев И. В., Гидромеханизация зимой, МВС, 1935 г., № 3.
36. Иванов Н. А., Дноуглубительные работы, Гострансиздат, 1935 г.
37. Иванов Н. А., Дноуглубительные снаряды и обслуживающий их флот, Гострансиздат, 1933 г.
38. Казарновская М. А., Добыча, сортировка песка и гравия гидравлическим способом, СП, 1936 г., № 10.
39. Леви И. И., Отстойники и промывные устройства, 1938 г.
40. Лобашков В. В., Памятка багермейстера морского многочерпакового снаряда.
41. Марков Г. А., Гидравлический способ разработки россыпей, Цветметиздат, 1933 г.
42. Маркевич, Анализ разрушения намывных плотин, ГС, 1932 г., № 8—9.
43. Мерчинг Г. К., О движении жидкостей (воды с песком) в грубопроводах, Москва 1909 г.
44. Павловский Н. Н., Гидравлика, 1928 г.
45. Попков, Деревянные трубы, Госстройиздат, 1932 г.
46. Пиль Р., Разработка россыпных месторождений гидравлическим способом, Цветметиздат, 1933 г.
47. Паульман и Баум, Дноуглубительные снаряды, 1914 г.
48. Платонов В. А., Работы по гидромеханизации в Мариуполе, СП, 1934 г., № 9.
49. Поздунин В. А., Энциклопедия судостроения.
50. Русаков А. В., Производство земляных работ гидравлическим способом, Гострансиздат, 1934 г.
51. Рябов А. Ф., Речные дноуглубительные снаряды, Транспечать НКПС, 1930 г.
52. Ройер Г. Н., Намывные и полунамывные плотины, 1938 г.
53. Регистр СССР, Правила испытания судостроительных и машиностроительных материалов и изделий, 1938 г.
54. Регистр СССР, Правила постройки речных несамходных барж.
55. Регистр СССР, Правила постройки речных стальных несамходных судов.
56. Проф. Саткевич А. А., Аэродинамика, Москва 1923 г.
57. Скородумов П. Н., Организация военно-строительных работ, конспект курса (выпуск третий), 1933 г.
58. Соколовский И. М. и Исаев Н. В., Гидравлический способ производства земляных работ (опыт Днепростроя), Госстройиздат, 1933 г.
59. Салтыков А. Г., Гидравлический способ разработки золотых россыпей.
60. Федорович Г. Н., Расчет фундаментов под электромоторы.
61. Фролов В. Н., Горные работы гидравлическим способом, Цветметиздат, 1932 г.
62. Ферстер, Стальное судостроение.
63. Холин Н. Д., Исследование для целей гидромеханизации земляных и горных работ, 1933 г.
64. Холин Н. Д. и Воскресенский, Гидромеханизация земляных и горных работ, 1932 г.
65. Холин Н. Д., Основные проблемы гидромеханизации, СП, 1937 г.,
66. Холин Н. Д., Итоги работ гидромеханизации, МВС, 1937 г., № 6.
67. Холин Н. Д., Первые итоги гидромеханизации, МВС, 1936 г., № 1.
68. ЦНИВТ, Общая методика классификации грунтов для целей дноуглубления, т. 1 и 2, 1935 г.
69. ЦНИВТ, Классификация грунтов для целей дноуглубления, 1934 г.
70. Цеханович В. В., Речное судостроение.
71. Шестопал А. С., Гидрология и гидрометрия, Гострансиздат, 1933 г.
72. Шкундин Б. М., Гидромеханизация, Госстройиздат, 1934 г.
73. Шкундин Б. М., Гидравлическая разработка грунта, С, 1933 г., № 9—10.
74. Шкундин Б. М., Эффективный способ производства работ, СП, 1933 г., № 9.

75. Шкундин Б. М., Укладка грунта в тело сооружения при помощи воды, СП, 1933 г., № 8.
76. Шкундин Б. М., Принудительное перемещение пульпы по трубам и Механизмы, применяемые при этом, СП, 1934 г., № 2
77. Шкундин Б. М., Гидромониторщик, М. 1936 г.
78. Шкундин Б. М., Насосы в строительном деле, М. 1935 г.
79. Шкундин Б. М., Параллельная работа землесосов, СП, 1937г.
- № 7-8.
80. Шкундин Б. М., Оборудование для гидромеханизации, М. 1935 г.
81. Яновский, Гидромониторы на земляных работах, ГС, 1932г., №8—9.

#### Обозначения журналов

- ГС — „Гидротехнические сооружения”.
- СП — „Строительная промышленность”.
- С — „Строитель”.



Сдано в набор 7/Х 1939 г. Подписано к печати 16/1 1940 г. Формат бумаги 60 X 92<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печать, л. 15<sup>1</sup>/<sub>2</sub>. Бум. л. 7<sup>3</sup>/<sub>4</sub>. Печ. зн. в бум. л. 101000. Тираж 10 000. Учетно-авт. л. 17,41. Индекс С-34-5-4. Уполномоченный Главлита № А-23048.

Заказ № 2998

Авторы: *В. Д. Глебов, И. Е. Кричевский, В. П. Лысенко,  
В. Б. Судаков, Л. А. Толкачев*

В книге рассматриваются вопросы, связанные с использованием полимерных пленочных материалов для создания противофильтрационных устройств гидротехнических сооружений. Рассматриваются свойства пленочных материалов, анализируется проблема их старения, стабилизации и долговечности. Приводится опыт применения пленочных противофильтрационных материалов в плотинах, па каналах и водоемах, даются основы их расчета на прочность и ползучесть. Описываются характерные примеры применения пленочных материалов в гидротехническом строительстве, приводятся развернутые рекомендации по организации и производству работ. Отмечаются особенности эксплуатации пленочных противофильтрационных устройств и технико-экономическая эффективность их применения.

Книга рассчитана на научных работников, инженеров-проектировщиков и строителей, работающих в области гидротехнического строительства, а также на аспирантов и студентов высших учебных заведений.

30211-231 — „  
П 051(01)-76 5

© Издательство «Энергия», 1976,



ПЛЕНОЧНЫЕ  
ПРОТИВО-  
ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ  
УСТРОЙСТВА  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ  
СООРУЖЕНИЙ

Под ред. И. Е. КРИЧЕВСКОГО

«Э Н Е Р Г И Я»

МОСКВА 1976

