



ГИДРОМЕХАНИЗАЦИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Лабораторный практикум



Кемерово 2026

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачёва»

**Составитель
П. А. Самусев**

ГИДРОМЕХАНИЗАЦИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Лабораторный практикум

Кемерово 2026

УДК 622.271.002.5(075.8)

Рецензенты:

Директор Новационной фирмы «КУЗБАСС-НИИОГР», к. т. н., действительный член Академии горных наук С. И. Протасов;

Ведущий научный сотрудник отдела «Моделирования и управления горнотехническими системами», заведующий лабораторией «Геологоструктурного моделирования» Института проблем комплексного освоения недр Российской академии наук (ИПКОН РАН), д. т. н., профессор В. А. Атрушкевич.

Гидромеханизация открытых горных работ : лабораторный практикум / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачёва ; составитель П. А. Самусев. – Кемерово, 2026. – 102 с. – ISBN 978-5-00137-561-6.

Лабораторный практикум включает теоретические материалы по гидромеханизации открытых горных работ, вопросы для проверки знаний, предусмотренных учебной программой дисциплины, перечень рекомендуемой учебной и нормативной литературы.

Лабораторный практикум подготовлен по дисциплине «Гидромеханизация открытых горных работ» и предназначен для приобретения навыков решения задач студентами направления подготовки 21.05.04 «Горное дело» специализации 21.05.04.03 «Открытые горные работы».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачёва.

УДК 622.271.002.5(075.8)

© Кузбасский государственный
технический университет
имени Т. Ф. Горбачёва, 2026

© Самусев П. А., составление,
2026

ISBN 978-5-00137-561-6

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Лабораторная работа № 1. Физико-механические свойства горных пород и их влияние на выбор технических решений в гидромеханизации	5
Вопросы для самоконтроля по лабораторной работе № 1	19
Лабораторная работа № 2. Способы подготовки пород к размыву. Классификация видов обрушений	20
Вопросы для самоконтроля по лабораторной работе № 2	31
Лабораторная работа № 3. Выбор гидромониторов	32
Вопросы для самоконтроля по лабораторной работе № 3	41
Лабораторная работа № 4. Определение параметров технологической схемы гидромониторно-землесосного комплекса карьера	42
Вопросы для самоконтроля по лабораторной работе № 4	49
Лабораторная работа № 5. Выбор насосного оборудования для гидромониторно-землесосного комплекса	50
Вопросы для самоконтроля по лабораторной работе № 5	67
Лабораторная работа № 6. Выбор грунтовых насосов для системы гидротранспорта гидромониторно-землесосного комплекса	68
Вопросы для самоконтроля по лабораторной работе № 6	79
Лабораторная работа № 7. Расчёт параметров гидроотвалов	80
Вопросы для самоконтроля по лабораторной работе № 7	100
Список рекомендуемой литературы	101

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лабораторный практикум является учебным пособием для изучения и закрепления знаний, выполнения лабораторных работ, а также подготовки курсовой работы по дисциплине «Гидромеханизация открытых горных работ» студентами специальности «Горное дело», специализации 21.05.04.03 «Открытые горные работы».

Лабораторный практикум состоит из семи лабораторных работ, в которых изложен материал по изучению физико-механических свойств горных пород и их влияния на процессы гидромеханизации; приведена классификация горных пород по трудности разработки гидромониторами, а также способы подготовки пород к размыву и классификация видов обрушений откосов уступов при разработке гидромониторами; даны рекомендации по выбору и расчёту оборудования гидромониторно-землесосного комплекса (гидромониторов, насосного оборудования, грунтовых насосов) и определению параметров технологических схем разработки грунта гидромониторами; указаны рекомендации по обоснованию параметров гидроотвала.

Лабораторные работы выполняются каждым студентом самостоятельно в соответствии с данными индивидуального задания, выдаваемого преподавателем. К выполнению задания следует приступать после изучения соответствующего теоретического материала по теме. В лабораторном практикуме приведён перечень рекомендуемой учебной и нормативной литературы.

Отчеты о выполнении лабораторных работ необходимо оформлять на листах формата А4. Титульный лист должен содержать наименование вуза, кафедры, дисциплины, темы лабораторной работы, номер варианта, фамилию, имя, отчество студента. Отчет должен быть написан разборчивым почерком или отпечатан на принтере.

Выполненные и оформленные работы сдаются на проверку преподавателю и при их положительной оценке допускаются к защите. Контроль результатов выполнения работ осуществляется в виде собеседования с использованием вопросов и тестов.

В процессе подготовки лабораторного практикума использовалось учебное пособие «Гидромеханизация открытых горных работ. Гидромониторно-землесосные комплексы», разработанное И. В. Деревяшкиным и Е. А. Кононенко.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Тема: Физико-механические свойства горных пород и их влияние на выбор технических решений в гидромеханизации

Цель лабораторной работы: изучить физико-механические свойства горных пород, оказывающие наибольшее влияние на процессы гидромеханизации.

1.1. Общие сведения

Гидромеханизация нашла широкое распространение при разработке рыхлых осадочных пород, почв и слабых полезных ископаемых. В то же время в гидромеханизированных процессах транспортирования, укладки породы в отвалы, намыве закладочного материала и технологической отработки встречаются все виды горных пород и полезных ископаемых.

В процессах гидромеханизации поток жидкости или струя воздействуют на горные породы, находящиеся как в естественном состоянии (в целике), так и в разрыхлённом или раздробленном состояниях. Учёт свойств пород при этом имеет большое практическое значение.

Физико-механические свойства пород определяют такие важнейшие технологические параметры гидромеханизации, как, например, удельный расход воды, напор, требуемый для разрушения грунта, параметры гидротранспорта пород, параметры гидроотвалов и др. Свойства горных пород определяют последовательность и содержание технологических операций, параметры основного оборудования и его износ (табл. 1.1). Физико-механические свойства оказывают наиболее сильное влияние на эффективность гидромеханизации и, по существу, определяют область её применения.

Таблица 1.1

**Основные технологические процессы гидромеханизации
и влияние на них физико-механических свойств пород**

Производственные процессы	Характеристика физико-механических свойств пород
Размыв грунта гидромониторами	Плотность, прочность на раздавливание, коэффициент сцепления, угол внутреннего трения, размокаемость, пластичность, гранулометрический состав, коэффициент фильтрации, пористость
Гидротранспорт грунта	Гранулометрический состав, плотность, гидравлическая крупность, форма частиц, измельчаемость при гидротранспорте, абразивность
Намыв сооружений и укладка грунта в отвал	Гранулометрический состав, водоотдача, гидравлическая крупность, плотность, коэффициент фильтрации, угол внутреннего трения, коэффициент сцепления, угол откоса при намыве, набухание

В связи с тем, что свойства горных пород подробно изучаются в курсе «Инженерная геология и гидрогеология» и в ряде других дисциплин, ниже рассмотрены только свойства пород, оказывающие наибольшее влияние на процессы гидравлического способа разработки.

1.2. Основные физико-механические свойства пород

Влажность (W) – отношение заключенной в породе массы воды к массе сухой породы (при температуре 105–107 °С). Выражается в процентах. Если влажность определяется в естественных условиях залегания горных пород, то она соответствует естественной (природной). Влажность – весьма важный показатель, характеризующий прочность мягких связных пород, их поведение в откосах карьеров и отвалов. Сухие глинистые породы ведут себя как твёрдые тела. С увеличением влажности они постепенно снижают прочность, переходят в мягкое состояние, а при сильном увлажнении – в текучее, т. е. полностью теряют прочность.

Плотность – величина отношения массы горной породы к занимаемому объёму. Так как любая порода состоит из твёрдых минеральных частиц и расположенных между ними пустот (пор), которые могут быть заполнены воздухом (газами) или водой, то различают плотности твёрдых частиц, природной горной породы (с естественной влажностью), сухой породы (скелета).

Плотность природной горной породы (ρ) – масса единицы объёма породы с естественной влажностью и природным (ненарушенным) сложением. Это величина переменная, она зависит от минералогического состава, влажности и пористости. С повышением содержания тяжёлых минералов и влажности при данной пористости плотность увеличивается, с увеличением пористости – уменьшается. Так, например, порода с плотностью твёрдых частиц $\rho_s = 2600 \text{ кг/м}^3$ и пористостью 60 % при заполнении пор водой на 50 % будет иметь природную плотность $\rho = 1340 \text{ кг/м}^3$, а при заполнении на 100 % – 1640 кг/м^3 .

$$\rho = \frac{g_1 + g_2}{V_1 + V_2}, \quad (1.1)$$

где g_1 – масса минеральной части (скелета породы), г (т); g_2 – масса воды, полностью или частично заполняющей поры в породе, г (т); V_1 – объём минеральной части (скелета породы), см^3 (м^3); V_2 – объём пор в породе, см^3 (м^3).

Плотность пород, разрабатываемых гидравлическим способом, изменяется в пределах (0,6–0,8)–(2,2–2,4) т/м³. Плотность пород непостоянна и зависит от условий естественного залегания (влажности, количества воды в порах и т. д.).

Значения плотности некоторых горных пород приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Значения плотности горных пород

Наименование и характеристика горной породы	Плотность, т/м ³
Песок сухой	1,6
Гравий мокрый	2,0
Гравий сухой	1,8
Ил речной	1,8
Растительная земля	0,8
Растительная глинистая земля	1,2
Торф	0,6–1,0
Лёсс естественной влажности	1,6
Лёсс, смешанный с галькой или гравием	1,8
Суглинок лёгкий и лёссовидный	1,75
Суглинок тяжёлый	1,9
Глина жирная, мягкая	1,8–1,9
Глина плотная, вязкая	2,1
Песчаники (в зависимости от плотности)	1,8–2,5
Сланцы глинистые	2,3–2,4
Каменный уголь	1,2–1,4
Антрацит	1,3–1,5
Бурый уголь	1,15

Плотность твёрдых частиц (ρ_m) зависит только от минералогического состава породы и возрастает с увеличением содержания тяжёлых минералов. Плотность твёрдых частиц породы, состоящей из одних и тех же минералов, одинакова независимо от пористости и влажности. Этот показатель для большинства горных пород изменяется в пределах 2500–2800 кг/м³, а для отдельных типов грунтов является постоянным: для песков – 2660; супесей – 2700, суглинков – 2710 и глин – 2740 кг/м³.

$$\rho_m = \frac{g_1}{V_1}. \quad (1.2)$$

Плотность сухой породы ($\rho_{ск}$) – масса твёрдой компоненты (скелета) в единице объёма породы при естественной (ненарушенной) структуре. Плотность сухой породы зависит от минералогического состава и её пористости и определяется по формуле

$$\rho_{\text{ск}} = \frac{g_1}{V_1 + V_2} = \frac{\rho}{1 + 0,01W}. \quad (1.3)$$

Показатель плотности пород участвует практически во всех расчётах гидротранспорта и гидроотвалообразования, т. к. существенно влияет на происходящие в них процессы.

Величины $\rho_{\text{м}}$ и $\rho_{\text{ск}}$ используются для расчёта пористости горных пород n , представляющей собой отношение объёма пор к объёму всей породы (выражают в долях единицы или в процентах):

$$n = 1 - \frac{\rho_{\text{ск}}}{\rho_{\text{м}}}, \quad (1.4)$$

а также коэффициента пористости e , который выражается как отношение объёма пор к объёму, занимаемому минеральными частицами:

$$e = \frac{\rho_{\text{м}}}{\rho_{\text{ск}}} - 1. \quad (1.5)$$

Пористость оказывает влияние на процесс размыва пород: чем больше пористость пород, тем легче они поддаются гидравлическому размыву.

Коэффициент пористости характеризует плотность укладки зерен пород: чем меньше e , тем плотнее грунт.

По величине общей пористости горные породы разделяются на породы низкой пористости – $n < 5\%$; средней пористости – $n = 5\text{--}20\%$; высокой пористости – $n > 20\%$.

Разрыхляемость пород – увеличение объёма породы в результате рыхления по сравнению с объёмом, занимаемым породой в массиве (до рыхления). Оценивается обычно коэффициентом разрыхления ($K_{\text{р}}$), представляющим отношение объёма породы после рыхления к объёму её в массиве.

Коэффициент разрыхления зависит от равномерности дробления породы, крупности её кусков, ёмкости и формы сосудов, в которых она размещается, и времени нахождения породы в разрыхлённом состоянии.

Степень разрыхления породы со временем уменьшается. Усадку породы в результате её уплотнения оценивают коэффициентом усадки

$$i = \frac{V_p - V'_p}{V_p}, \quad (1.6)$$

где V_p – объём разрыхлённой породы до уплотнения; V'_p – объём разрыхлённой породы после уплотнения.

Значения коэффициента разрыхления для некоторых пород приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Значение коэффициента разрыхления

Наименование пород	Коэффициент разрыхления породы	
	до уплотнения	после уплотнения
Песок	1,05–1,2	1,01–1,03
Глинистый сланец	1,3–1,6	1,1–1,2
Скальные породы	1,3–2,0	1,2–1,4
Мягкий уголь	до 1,2	1,05

Влагоёмкость – способность горных пород в зависимости от их свойств и геологических условий удерживать то или иное количество воды. Различают гигроскопическую, капиллярную и полную влагоёмкость породы. Гигроскопическая влагоёмкость – количество влаги, которое способна поглотить сухая порода из воздуха с относительной влажностью 94 %. Капиллярная влагоёмкость – количество влаги в порах, содержащих свободную капиллярную подпертую воду. Капиллярная влагоёмкость зависит от среднего размера поровых каналов. Полная влагоёмкость – максимальное содержание воды в породе.

Водопроницаемость – свойство пород пропускать воду. Оценивается коэффициентом проницаемости, который определяется из выражения

$$K_{пр} = \frac{QL\eta}{F(P_1 - P_2)}, \quad (1.7)$$

где Q – расход воды, просачивающейся через образец породы; L – длина образца; F – площадь поперечного сечения образца; $(P_1 - P_2)$ – разность давлений соответственно до и после образца; η – вязкость жидкости.

При $\eta = 1$ коэффициент проницаемости называется коэффициентом фильтрации. Коэффициент фильтрации измеряется в кубических метрах в сутки ($\text{м}^3/\text{сут}$).

Водоотдача – свойство породы отдавать воду. Зависит от размера частицы породы, величины и взаимного расположения пор, величины трещин. При схемах с кругооборотом воды слабая водоотдача увеличивает объём гидроотвала и водохранилища.

Сцепление – свойство, характеризующее связность грунта. Чем больше сила сцепления, тем грунт плотнее и тем труднее он размывается водой, выше удельный расход воды. Влияние силы сцепления на удельный расход воды при размыве пород приведено в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Влияние силы сцепления на удельный расход воды

Порода	Сцепление, $\text{кг}/\text{см}^2$	Удельный расход воды на 1 м^3 грунта, м^3
Пылеватые пески	0,04–0,08	4–6
Супески	0,07–0,42	4–10
Суглинки	0,19–0,68	10–16
Глины	0,36–0,82	12–18
Жирные глины	0,47–0,94	14–20

Набухание – способность породы увеличивать свой объём при насыщении водой. Коэффициент набухания – отношение объёма грунта после насыщения водой к его объёму в естественном состоянии. Учитывается при определении объёма гидроотвала. Коэффициенты набухания пород приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Коэффициент набухания пород

Наименование пород	Коэффициент набухания
Глины тяжёлые, вязкие	2,0–1,5
Глины обычные, пластичные	1,5
Суглинки тяжёлые	1,5–1,45
Суглинки средние	1,45–1,2
Суглинки мелкие	1,2
Супеси	1,15–1,05
Пески пылевидные	1,1
Пески глинистые	1,1–1,05
Пески	1,0

Абразивность – способность породы изнашивать трением металлы, твёрдые сплавы и другие материалы. Абразивность оценивают по износу. Учитывая влияние окатанности частиц породы на износ оборудования, породы разделяют на окатанные, средней окатанности и острогранные. Пока не существует точной оценки пород по степени окатанности при их гидравлической разработке. Распределение некоторых пород по абразивности приведено в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Абразивность пород

Средняя твёрдость по шкале Мооса	Пески среднезернистые			Пески крупнозернистые			Песчано-гравийная смесь		
	хорошо окатан- ные зёрна	мало окатан- ные зёрна	неока- танные зёрна	хорошо окатан- ные зёрна	мало окатан- ные зёрна	неока- танные зёрна	хорошо окатан- ные зёрна	мало окатан- ные зёрна	неока- танные зёрна
4	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1,0	0,75	1,0	1,5
5	0,5	0,75	1,0	0,75	0,75	1,5	1,0	1,5	2,0
6	0,75	1,0	1,5	1,0	1,5	2,0	1,25	2,0	3,0
7	1,0	1,5	2,0	1,26	2,0	3,0	1,5	3,0	5,0

Гранулометрический состав – процентное содержание частиц различной крупности в единице объёма. В табл. 1.7 дана классификация грунтов по крупности.

Таблица 1.7

Классификация грунтов по крупности

Порода	Фракция	Размер частиц, мм
Валуны окатанные или камни угловатые	крупная	более 800
	средняя	800–400
	мелкая	400–200
Галька окатанная или щебень угловатый	крупная	200–100
	средняя	100–60
	мелкая	60–40
Гравий окатанный или дресва угловатая	очень крупная	40–20
	крупная	20–10
	средняя	10–5
	мелкая	5–2
Песок	крупная	2,0–0,5
	средняя	0,5–0,25
	мелкая	0,25–0,05
Пыль	мелкая	0,05–0,01
	иловатая	0,01–0,005
Глина	грубая	0,005–0,001
	тонкая	менее 0,001

Для оценки крупности грунт просеивают через набор сит с различными размерами ячеек. При этом гранулометрический состав называют механическим. Для более мелких частиц используют способ, основанный на разделении их под действием силы тяжести при оседании в жидкости.

Крупность частиц имеет важное значение в процессах гидромеханизации, так как для различных фракций характерны различные гидромеханические процессы при их перемещении в потоках воды. В зависимости от крупности сыпучие горные породы делятся на следующие фракции:

- кусковатая – с размером частиц от 200 до 40 мм (галька), в потоках воды перемещается по нижней стенке трубопровода, характеризуется высокими скоростями свободного падения в среде;

- крупнозернистая – с размерами частиц от 40 до 5 мм (крупный гравий), в потоках воды перемещается в пристеночной области, характеризуется большими скоростями свободного падения в среде;

- мелкозернистая – с размерами частиц от 5 до 2 мм (мелкий гравий или дресва), в потоках воды перемещается скачкообразно с относительно малым периодом пребывания во взвешенном состоянии, характеризуется значительными скоростями свободного падения в среде;

- песчаная – с размерами частиц от 2 до 0,05 мм (пески), в потоках воды перемещается с относительно большим пребыванием частиц во взвешенном состоянии, характеризуется незначительными скоростями свободного падения в среде;

- пылевая – с размерами частиц от 0,05 до 0,01 мм (пески), в потоках воды перемещается во взвешенном состоянии, характеризуется небольшими скоростями свободного падения в среде;

- иловая – с размерами частиц от 0,01 до 0,005 мм, в потоках воды перемещается во взвешенном состоянии, в воде осаждается медленно;

- глинистая – с размерами частиц менее 0,005 мм, в воде дает практически коллоидные смеси, осаждается крайне медленно.

1.3. Построение графика гранулометрического состава

Для наглядного изображения результатов гранулометрического анализа строится график гранулометрического состава (интегральная кривая гранулометрического состава породы). Гранулометрический состав грунта для наглядности и сравнительной характеристики изображают в виде интегральных (суммарных, кумулятивных) кривых. Построение кривых рекомендуется проводить в полулогарифмическом масштабе. Это позволяет нанести на график содержание мелких фракций с достаточной точностью и производить дальнейшие расчёты.

По оси абсцисс откладывают диаметр частиц в логарифмическом масштабе, по оси ординат – суммарное процентное содержание частиц с диаметром меньше данного. Начало координат соответствует фракции 0,01 мм (или 0,001 мм, если определялось содержание глинистых частиц). Масштаб вычисляется по формуле $\lg 10 = 1b$, где b – произвольный отрезок длины (см, мм). Затем по оси от начала координат через 50 мм делаются граничные отметки, которые подписываются 0,001; 0,01; 0,1; 1; 10. Исходя из этого, ось абсцисс делится слева направо на 4 отрезка

по 50 мм, на которых откладываются диаметры частиц. Расстояние между каждыми двумя метками (0,001 и 0,01 и т. д.) делится на десять частей, пропорциональных логарифмам чисел 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9. Например, если принять, что $\lg 10 = 1$ соответствует отрезку длиной 50 мм, то $\lg 2 = 0,301$ будет соответствовать отрезку 0,301 от 50 мм – 15 мм, $\lg 3 = 0,477$ будет соответствовать отрезку 0,477 от 50 мм – 24 мм и т. д.

Указанные отрезки (в миллиметрах) откладываются по оси абсцисс от начала координат и от каждой метки, ограничивающей отрезок длиной 50 мм. На построенной таким образом шкале в первом от начала координат интервале выделенные отрезки будут отвечать диаметрам частиц от 0,002 мм до 0,009 мм, во втором – от 0,02 мм до 0,09 мм и т. д.

График гранулометрического состава можно построить в программе Excel.

На рис. 1.1 показан график гранулометрического состава для пород, характеризующихся следующим распределением фракций по крупности (табл. 1.8).

Таблица 1.8

Распределение фракций по крупности

Характеристика	Качественный состав пород						
	глини- стые	пылева- тые	песчаные			гравий	
Размер частиц, мм	менее 0,005	0,005– 0,05	0,05– 0,25	0,25– 0,5	0,5– 2,0	2,0– 10,0	более 10
Содержание фракции, %	12	25	38	12	7	6	–
Суммарное содержание фракций, %	12	37	75	87	94	100	

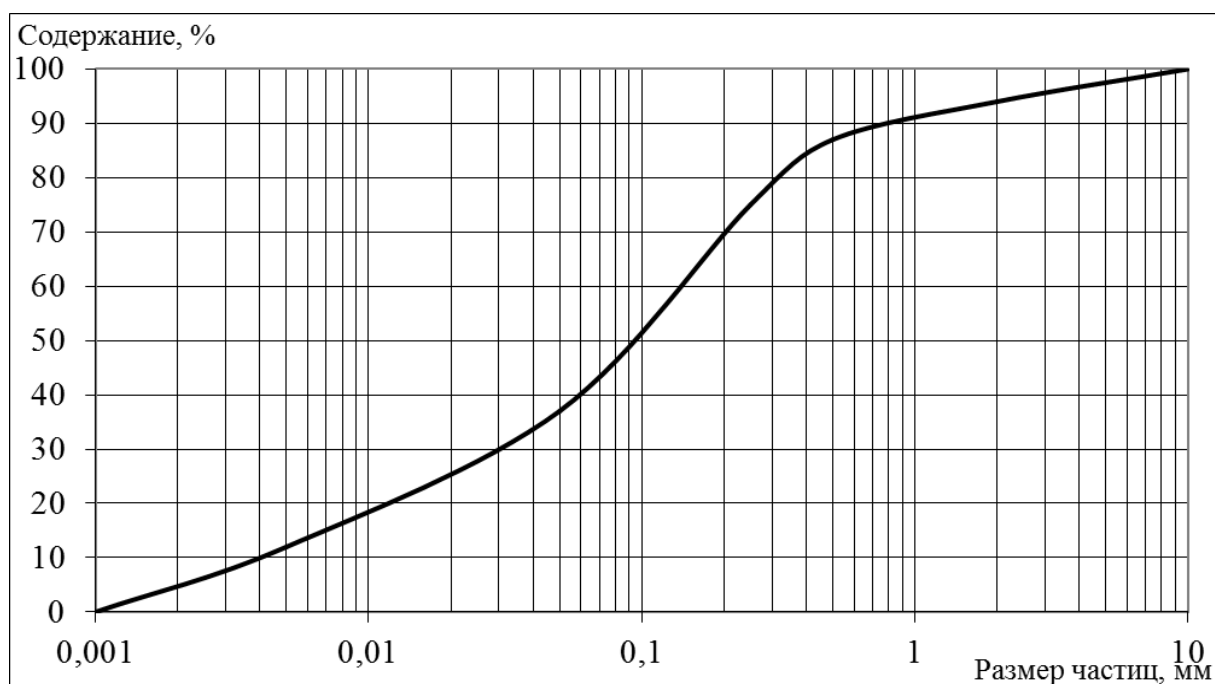


Рис. 1.1. График гранулометрического состава (размеры частиц приведены в логарифмической шкале)

На основании данного графика определяется диаметр средней частицы (d_{cp}), для чего ось ординат разбивается на n равных интервалов (в нашем случае принято $n = 10$). Из середины каждого интервала проводятся линии, параллельно оси абсцисс, до пересечения с графиком. Точки пересечения сносят на ось ординат и определяют значение диаметра средней частицы в данном интервале (d_{cpi}). Значения диаметра средней частицы по интервалам приведены в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Диаметры средних частиц по интервалам

Границы интервалов, %	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90	90–100
Средины интервалов, %	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
Размеры средней частицы в интервале, мм	0,0048	0,0086	0,034	0,078	0,092	0,1	0,342	0,602	0,806	6,02

Значение диаметра средней частицы определится из выражения

$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{cpi}}{n} = \frac{8,08}{10} = 0,808 \text{ мм.} \quad (1.8)$$

Гидравлическая крупность – скорость падения частиц в спокойной воде. Гидравлическая крупность зависит от формы, размеров, удельного веса частиц, вязкости и температуры воды. Ориентировочно значение гидравлической крупности можно принимать по данным В. Н. Гончарова (табл. 1.10) или по данным табл. 1.11.

Таблица 1.10

Гидравлическая крупность при различных режимах течения

Диаметр частиц, мм	Гидравлическая крупность частиц (см/с) при температуре воды				Режим течения
	5 °С	10 °С	15 °С	20 °С	
0,01	0,0044	0,00512	0,00588	0,00663	Ламинарный
0,10	0,441	0,512	0,588	0,663	
0,12	0,635	0,737	0,847	0,956	
0,15	0,99	1,15	1,325	1,49	
0,20	1,545	1,711	1,876	2,042	Переходный от ламинарного к турбулентному
0,40	3,785	3,951	4,116	4,242	
1,00	10,505	10,671	10,836	11,002	
1,20	12,745	12,911	13,076	13,212	
1,40	16,105	16,271	16,436	16,602	

Таблица 1.11

Гидравлическая крупность частиц в зависимости от их диаметра

Диаметр частиц, мм	Гидравлическая крупность, см/с	Диаметр частиц, мм	Гидравлическая крупность, см/с
1,75	17,8	10,00	42,5
2,00	19,0	12,50	47,7
2,50	21,25	15,00	52,0
3,00	23,25	17,50	56,2
4,00	26,85	20,00	60,2
5,00	30,0	22,50	63,7
6,00	32,9	25,00	67,2
7,00	35,5	27,50	70,6
8,00	38,0	30,00	73,6

В таблицах 1.10 и 1.11 даны значения гидравлической крупности для грунтов с удельным весом $\gamma = 2,65 \text{ т/м}^3$. Для грунтов с удельным весом, отличающимся от принятого, значение гидравлической крупности из таблиц умножается на поправочный коэффициент, определяемый из выражений:

- для ламинарного и переходного режимов течения

$$Z = \frac{\gamma - 1}{1,65}, \quad (1.9)$$

- для турбулентного режима течения

$$Z = \sqrt{\frac{\gamma - 1}{1,65}}. \quad (1.10)$$

Для частиц размерами меньше 0,01 мм значения гидравлической крупности (W) следующие:

$d, \text{ мм}$	—	0,008	0,005	0,003	0,002	0,001
$W, \text{ см/с}$	—	0,00892	0,00153	0,00055	0,00025	0,00006

При анализе гранулометрической смеси средневзвешенное значение гидравлической крупности определяется следующим образом: по графику гранулометрического состава (рис. 1.1) определяется значение диаметров частиц $d_1, d_2, d_3, \dots, d_{10}$, а по таблицам 1.11 и 1.12 — значения гидравлической крупности $W_1, W_2, W_3, \dots, W_{10}$, тогда средневзвешенная гидравлическая крупность определяется из выражения

$$W_{\text{ср}} = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_{10}}{10}. \quad (1.11)$$

Вопросы для самоконтроля

1. Какие физико-механические свойства пород влияют на размыв пород гидромониторами?
2. Какие физико-механические свойства пород влияют на процесс гидротранспорта?
3. Какие физико-механические свойства пород влияют на укладку пород в отвал?
4. Дайте определение понятию «плотность породы».
5. Дайте определение понятию «пористость грунта».
6. Дайте определение понятию «разрыхляемость».
7. Дайте определение понятиям «влагоёмкость» и «влажность».
8. Дайте определение понятиям «водопроницаемость» и «водоотдача».
9. Дайте определение понятиям «сцепление» и «набухание».
10. Дайте определение понятию «абразивность».
11. Что называют гранулометрическим составом грунта?
12. Построение графика гранулометрического состава.
13. Гидравлическая крупность и её определение.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Тема: Способы подготовки пород к размыву. Классификация видов обрушений

Цель лабораторной работы: изучить способы предварительной подготовки пород к размыву при их гидромониторной разработке.

2.1. Способы подготовки пород к размыву

При гидромониторной разработке плотных пород (тяжёлых суглинков, глин, алевролитов, аргиллитов, выветрелых известняков, песчаников, а также некоторых полезных ископаемых) требуются значительные затраты напорной воды. При этом образуется малоконцентрированная пульпа, не отвечающая оптимальным условиям транспортирования, а вся технологическая схема гидромеханизации становится энергоемкой, малопродуктивной. Особенно трудоемкой при этом является операция образования «вруба».

Однако смыв этих же пород, предварительно разрыхленных до определённой степени, весьма эффективен, т. к. гидравлический транспорт породы имеет значительные преимущества перед другими видами транспорта. Это и обуславливает целесообразность применения схем гидромониторной разработки пород после её предварительного рыхления. Способы подготовки пород к размыву приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Способы подготовки пород для пульпообразования

Способ подготовки	Основные средства подготовки	Характеристика элементов подготовки
Механический	Экскаваторы	Выемка и складирование в навал или в приёмные устройства
	Специальные рыхлители (струи, скреперы)	Подготовка может производиться со складированием породы в навал, одновременно с размыванием или в приёмные ёмкости гидротранспортных установок

Способ подготовки	Основные средства подготовки	Характеристика элементов подготовки
Механический	Дробильные устройства	Порода полностью или частично поступает на дробилки специальной или обычной конструкции; после дробления поступает в гидротранспортные установки
Гидравлический	Водонасыщающее оборудование	Рыхление производится напорной водой, подаваемой с помощью насыщающих трубок по фронту работ, которые одновременно частично производят первичное разрушение породы
	Подача самотечного потока воды на верхнюю площадку уступа	За счёт движения безнапорного потока по фронту работ происходит насыщение водой породы, частичный её размыв с ослаблением массива, обрушение уступа
Буровзрывное рыхление	Буровзрывные средства	Расположение скважин, их параметры и конструкция зарядов выбираются в зависимости от типа и необходимой степени дробления по условиям гидротранспорта
Механическая подрезка	Струги, уступо-подрезающие машины	Уступ подрезается механическими средствами по всему фронту работ. Смыв проводят гидромониторами

Предварительное рыхление пород связано с дополнительными затратами. Однако опыт гидромеханизации показывает, что применение предварительного рыхления при разработке пород IV категории и выше (в соответствии с классификацией пород по трудности разработки гидромониторами) улучшает технико-экономические показатели гидромеханизации.

Среди существующих способов подготовки пород для размыва наиболее широкое распространение получил механический. Для механической подготовки пород к пульпообразованию могут применяться экскаваторы, бульдозеры, плуги, струги, скреперные устройства, рыхлители, дробильные устройства.

2.2. Предварительное рыхление пород драглайнами

Наиболее широкое распространение получил экскаваторный способ рыхления с укладкой породы на уступе. Он производится обычно на карьерах при рыхлении тяжёлых суглинков и тощих глин. Используются, как правило, экскаваторы-драглайны, т. к. они имеют увеличенные рабочие параметры, что позволяет им образовывать навалы со значительным объёмом породы, приходящимся на единицу длины. Это позволяет снизить число передвижек забойного оборудования при смыве навалов и повысить безопасность работ.

Рыхление драглайном производится по двум схемам:

- экскаватор разрабатывает забой и сбрасывает породу на нижнюю площадку уступа, где она размывается гидромонитором (рис. 2.1).

- экскаватор складировает грунт на верхней площадке уступа (рис. 2.2).

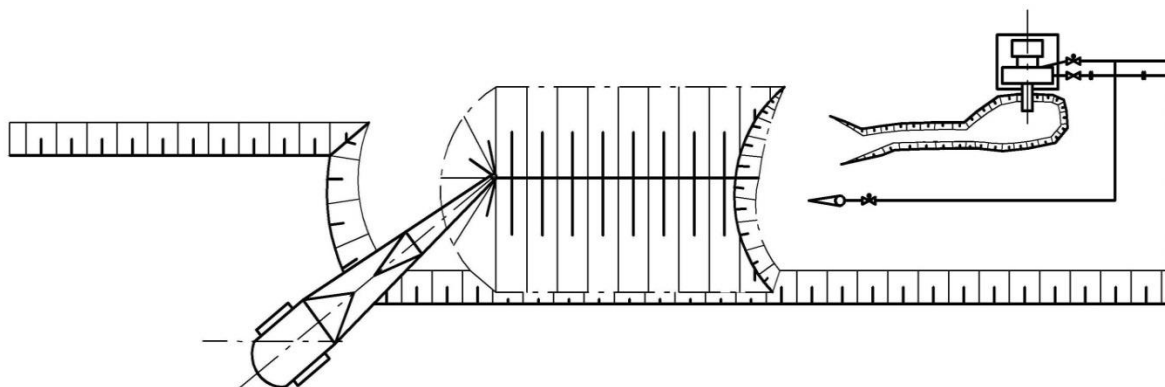


Рис. 2.1. Предварительное рыхление пород экскаватором с укладкой её в навал, расположенный на нижней площадке уступа

Основным преимуществом первой схемы является высокая производительность экскаватора в связи с малым углом его поворота. Недостаток схемы заключается в жёсткой взаимосвязи работы экскаватора и гидромонитора.

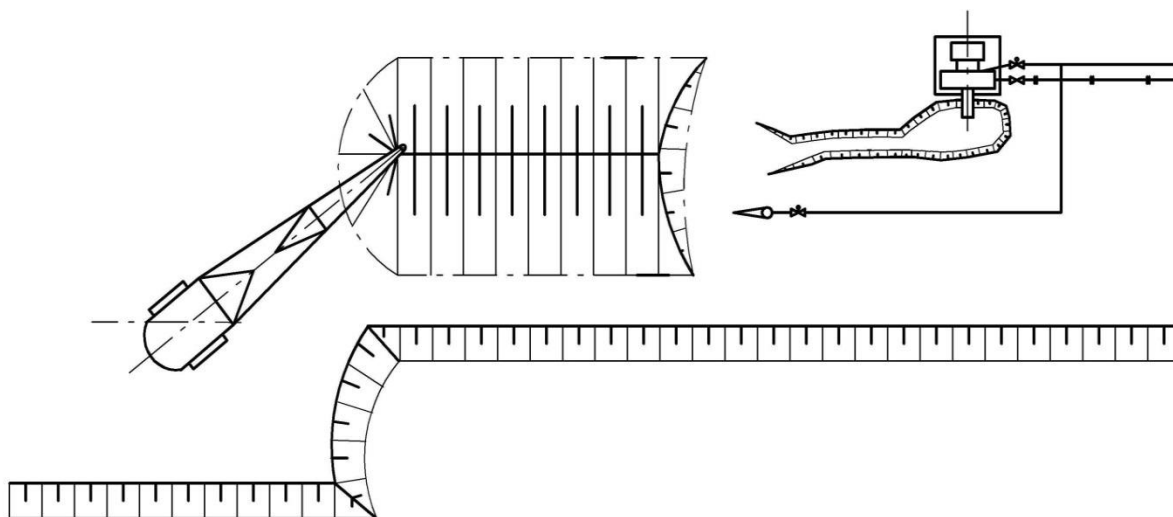


Рис. 2.2. Предварительное рыхление пород экскаватором с укладкой её на верхней площадке уступа

Вторая технологическая схема получила наибольшее распространение, т. к. в этом случае экскаваторные работы ведутся с некоторым опережением и гидромониторные работы по смыву производятся независимо от работ по экскавации.

Возможна совместная разработка целика и навала, когда в толще вскрышного уступа имеются различные по прочности породы с выраженной между ними границей. Рыхлению подвергаются более плотные породы, которые разрабатываются экскаватором и укладываются в навал на менее плотные, не требующие рыхления по условиям размыва (рис. 2.3).

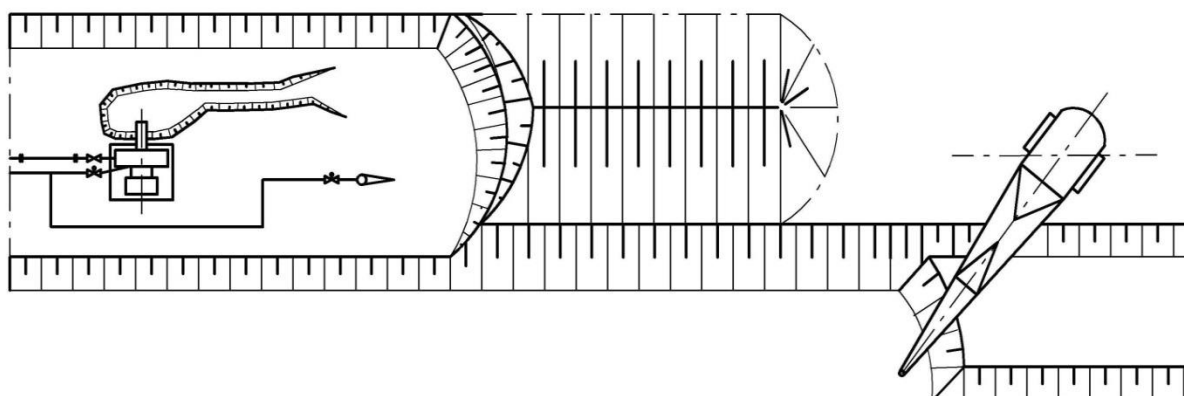


Рис. 2.3. Совместная разработка целика и навала

Экскаваторное рыхление пород осуществляется драглайнами типа ЭШ-10/70 (ЭШ-13/50), ЭШ-15/90 и другими и получило распространение на многих разрезах.

2.3. Предварительное рыхление пород бульдозером

Предварительное рыхление бульдозером применяется при малой высоте уступа или при рыхлении нижней части уступа. Рыхление может производиться двумя способами:

- последовательным перемещением бульдозера вкrest фронта работ;
- заходками по фронту.

В обоих случаях бульдозер разрабатывает породу слоями 0,1–0,15 м и перемещает её в навал или к зумпфу землесоса (рис. 2.4).

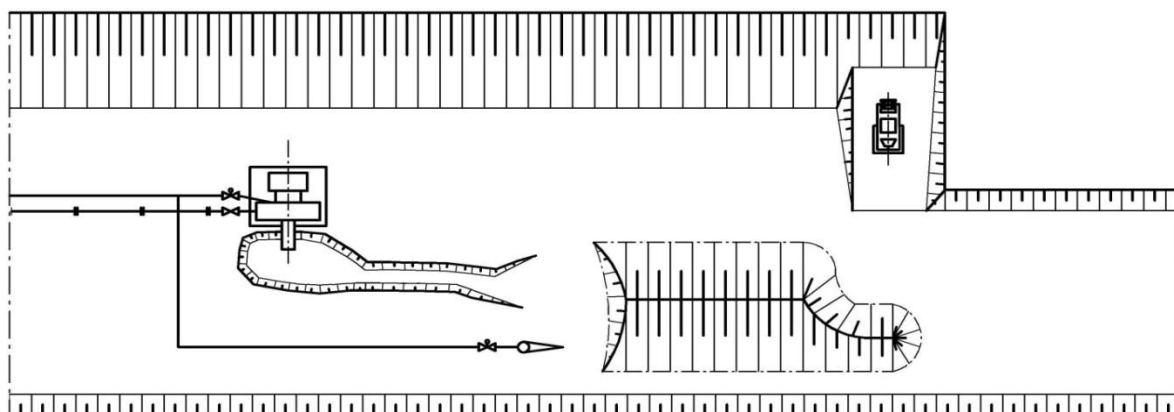


Рис. 2.4. Подготовка породы к размыву бульдозером

При перемещении бульдозера вкrest фронта работ производится постепенное выполаживание откоса, порода собирается в навалы и смывается гидромониторами. При выемке породы заходками по фронту бульдозер находится на верхней площадке уступа, срезает породу стружками и сбрасывает под откос. Постепенно уменьшая высоту уступа, бульдозер доходит до нижней площадки. Предварительное рыхление пород бульдозером обеспечивает значительное сокращение расхода воды на размыв.

2.4. Другие способы механического рыхления пород

Для предварительной подготовки пород к размыву могут применяться канатный струг (рис. 2.5), фрезерный рыхлитель (рис. 2.6), бар (рис. 2.7) или уступоподрезающие машины различных конструкций, а также дробление пород дробильными установками.

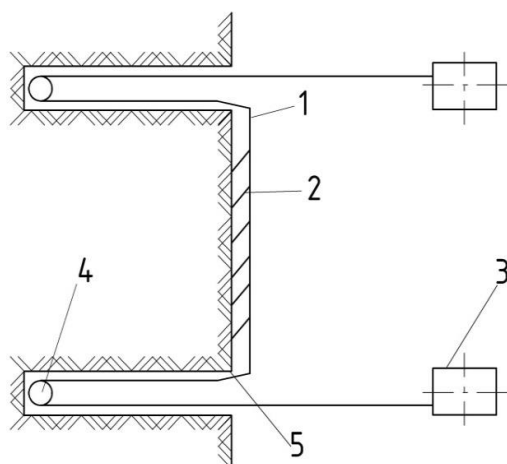


Рис. 2.5. Рыхление с механической подрезкой канатным стругом:

- 1 – трос;
- 2 – резцы;
- 3 – лебёдки;
- 4 – направляющие блоки;
- 5 – скважины

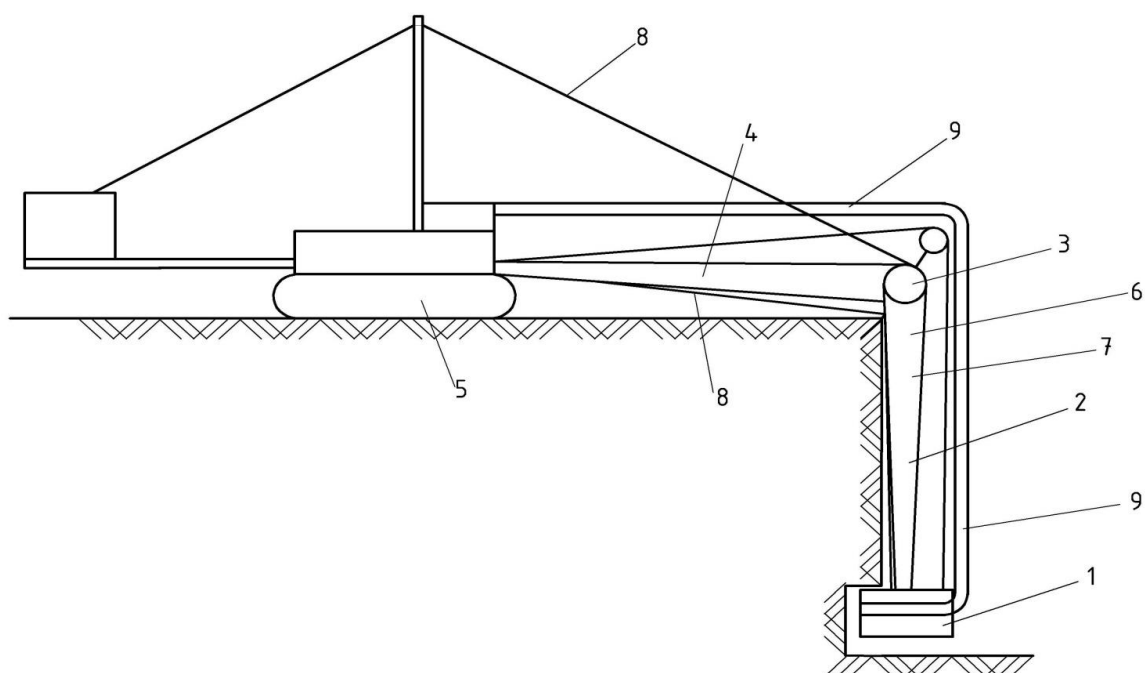


Рис. 2.6. Механическая подрезка уступа фрезерным рыхлителем: 1 – фрезерный рыхлитель; 2 – стрела; 3 – шарнир; 4 – упор; 5 – тележка; 6 – электродвигатель; 7 – редуктор; 8 – поддерживающий трос; 9 – труба

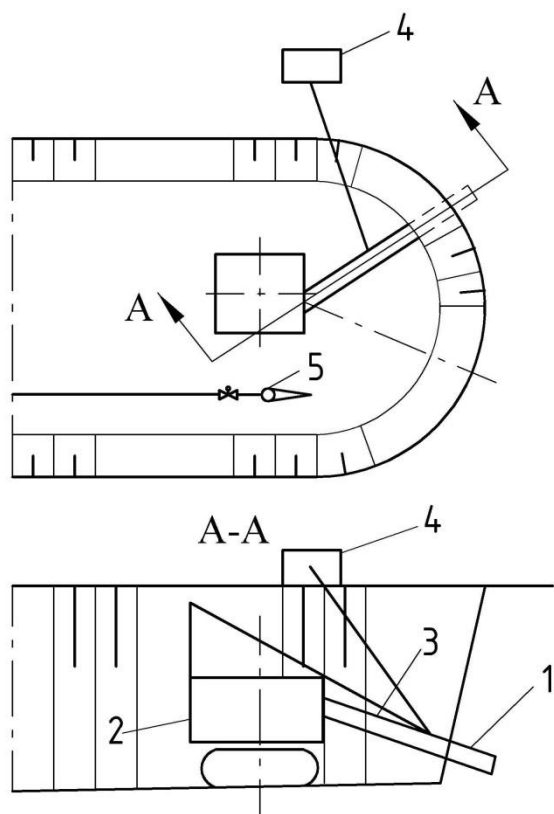


Рис. 2.7. Схема подрезки уступа баром:

- 1 – подрезной бар;
- 2 – бульдозер;
- 3 – штанга;
- 4 – лебёдка;
- 5 – гидромонитор

2.5. Буровзрывное рыхление пород

При разработке тяжёлых трудноразмываемых глин и полускальных пород может применяться буровзрывной способ предварительного рыхления пород. Бурение осуществляется станками шнекового бурения. Оптимальный диаметр скважины – 160–200 мм, удельный расход ВВ – 0,2–0,3 кг/м³. Расход воды – 3–5 м³/м³. Разрыхленная порода смывается гидромониторами. При этом значительно (в 2–4 раза) улучшаются технико-экономические показатели.

2.6. Предварительное ослабление породного массива водонасыщением

Предварительное рыхление пород водонасыщением возможно осуществлять напорной и безнапорной водой. Насыщение пород напорной водой через перфорированные трубки называется методом Карцева.

При напорном водонасыщении вдоль верхней бровки уступа располагают трубы диаметром 12–22 мм, которые потом вбивают в грунт на всю высоту уступа (рис. 2.8).

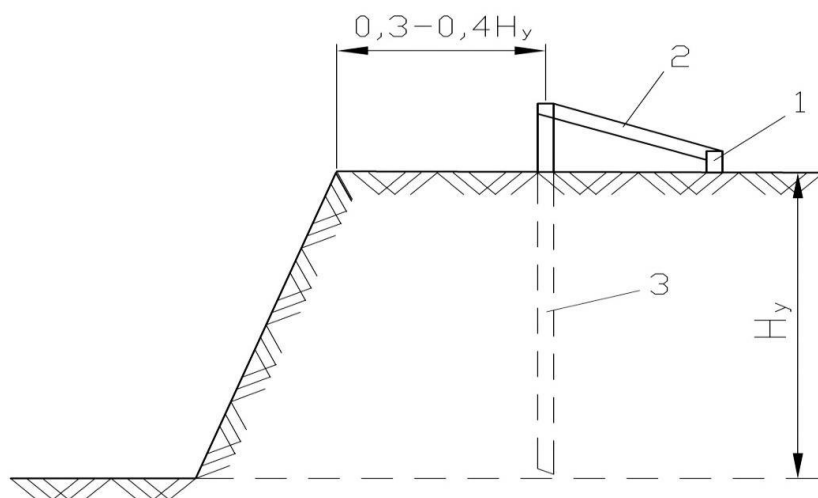


Рис. 2.8. Схема предварительного ослабления породного массива водонасыщением: 1 – магистральный водовод; 2 – гибкий шланг; 3 – труба для водонасыщения

На один гидромонитор принимается по фронту 5–6 трубок. Трубки соединены при помощи гибких шлангов с водоводом. Напорная вода подаётся под давлением до 0,8–0,9 МПа. Насыщение водой продолжается 1–3 часа. Нарушение структуры породы в массиве происходит от того, что фильтрующаяся вода уменьшает связность частиц породы и создает гидродинамическое давление, которое действует по направлению течения воды.

Предварительное водонасыщение самотечным транспортированием воды (безнапорной водой) требует некоторого предварительного объёма земляных работ. На верхней площадке уступа проходят траншеи глубиной 1,5–2 м (рис. 2.9). Из вынутого грунта делают круговое обвалование вокруг траншеи и заполняют выработку водой слоем 3–4 м. Вода через поры и трещины в породе фильтруется и производит водонасыщение породы, что уменьшает силы сцепления между частицами. Так, если при гидромониторной разработке лёсса без водонасыщения удельный расход воды составляет 8–10 м³/м³ при напоре у насадки гидромонитора 100–120 м водяного столба, то при их водонасыщении

удельный расход снижается до $4 \text{ м}^3/\text{м}^3$, а напор до 60–80 м водяного столба.

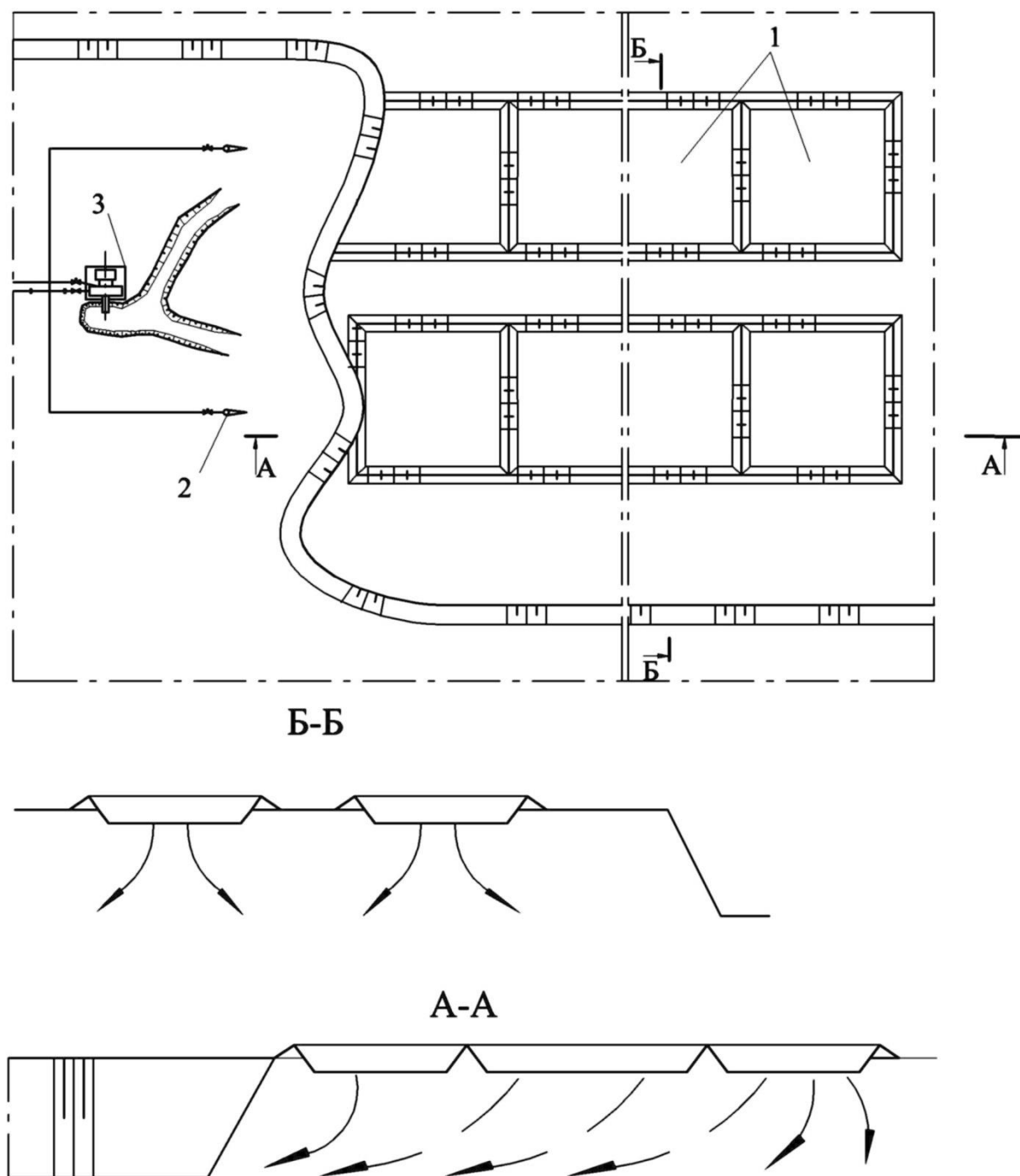


Рис. 2.9. Схема разрушения породного массива безнапорной водой: 1 – траншеи; 2 – гидромонитор; 3 – землесос с зумпфом

Если уступ сложен по высоте разнородными породами, ухудшающими фильтрацию воды, то по дну траншеи целесообразно бурить скважины диаметром 100–150 мм. Тогда вода будет распространяться по всем прослойкам.

В Кузбассе применялась комбинированная схема водонасыщения и безнапорного размыва. При этом месячная производительность гидромониторов в забое увеличилась на 33 % (со 150 до 200 тыс. м³).

2.7. Приёмно-смесительные установки для гидротранспортирования пород от экскаваторов

Смесительно-транспортные установки по признаку размещения в карьере делятся на стационарные, полустационарные и передвижные. Для подачи породы к этим установкам может использоваться любой применяемый на карьере вид транспорта. Пульпообразование осуществляется гидромониторами, брызгательными установками, смесительными насадками, механическими перемешивающими устройствами. Установки могут быть на гусеничном, железнодорожном, колёсном ходу или на санях.

Механическая подготовка пород в смесительных устройствах состоит в следующем. Экскаватор разгружает породу в приёмный бункер с грохотом, на котором происходит разделение породы на классы – <100 мм и >100 мм. Рыхлые породы с размером >100 мм размываются водой. Полускальные дробятся в дробилках. Далее эта порода поступает в зумпф землесоса или в приёмную воронку гидроэлеватора. Испытания показали, что возможно получение твёрдого к жидкому (Т : Ж) как 1 : 2,5–1 : 3. При сухой загрузке породы в гидроэлеватор пульпа имеет неравномерную консистенцию, что усложняет работу. Коэффициент использования во времени таких установок – 0,9–0,95.

2.8. Классификация видов обрушений

Классификация видов обрушений откосов уступов приведена в табл. 2.2 и на рис. 2.10.

Таблица 2.2

**Классификация видов обрушения откосов уступов
при гидромониторной разработке (по Г. А. Нуруку)**

Тип	Характер обрушения	Горнотехнические условия разработки	Особенности обрушения
I	Оползневое обрушение при однородных породах (рис. 2.10, а)	Высота уступа до 20–25 м	Поверхность скольжения кривая, близкая к цилиндрической
II	Обрушение при разнородных породах (рис. 2.10, б)	При различных сочетаниях отдельных пород	Обрушение происходит по поверхности, разграничивающей два слоя пород
IIIа	Обвал со срезом при однородных породах (рис. 2.10, в)	Высота уступа до 20 м. Глинистые породы и лёссовидные суглинки	После углубления происходит срез породы
IIIб	Обвал с просадкой при однородных породах (рис. 2.10, д)	Высота уступа 10–12 м. Суглинистые породы	При просадке срезаемый слой перемещается на глубину вруба
IV	Непрерывное обрушение по мере размыва (рис. 2.10, з)	Высота уступа до 20–25 м. Преимущественно пески	Обрушение происходит небольшими частями непрерывно
V	Обрушение с опрокидыванием (рис. 2.10, е)	Высота уступа до 15 м. Слежавшиеся породы	Разрушение начинается в верхней части откоса уступа и продолжается до рабочей площадки. Оторвавшийся массив значительно нарушает свою структуру
VI	Обрушение со сползанием массива и опрокидыванием (рис. 2.10, ж)	При различном сочетании разнородных пород	Часть уступа (обычно верхняя) разрушается с опрокидыванием массива, часть – при оползневом обрушении

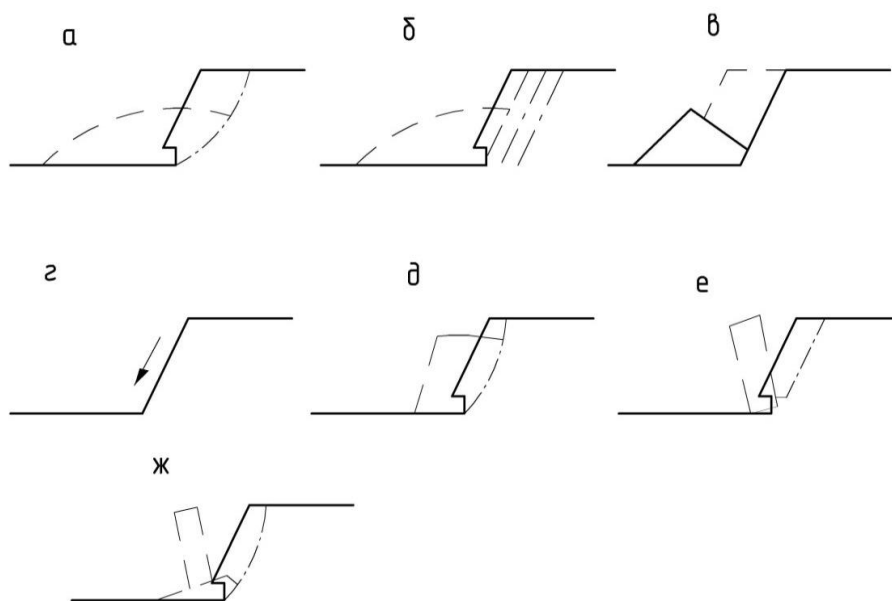


Рис. 2.10. Виды обрушений откосов уступа

Вопросы для самоконтроля

1. Основные способы подготовки пород к размыву.
2. Предварительное рыхление пород драглайнами.
3. Предварительное рыхление пород бульдозерами.
4. Специальные способы механического рыхления пород.
5. Ослабление породного массива водонасыщением.
6. Приёмно-смесительные установки для гидротранспортирования пород от экскаваторов.
7. Классификация видов обрушений откосов уступов при гидромониторной разработке.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Тема: Выбор гидромониторов

Цель лабораторной работы: выбор гидромониторов, расчёт диаметра насадки гидромонитора, определение потерь напора в стволе гидромонитора и его насадке.

3.1. Общие сведения

Гидромониторно-землесосным комплексом принято называть совокупность энергомеханического оборудования, предназначенного для гидравлической разработки и транспортирования горных пород на карьерах. Он включает насосно-гидромониторную и гидротранспортную установки (рис. 3.1).

Насосно-гидромониторная установка – система насосов и трубопроводов, осуществляющих подачу воды к гидромониторам (система водоснабжения) в совокупности с самими гидромониторами.

Гидротранспортная установка – система насосов, предназначенных для транспортирования гидросмесей (грунтовые насосы, землесосы) и трубопроводов, по которым гидросмесь перемещается от забоя до места складирования – гидроотвала, карт намыва и т. п. (система гидротранспортирования).

Гидросмесь (пульпа) – механическая смесь частиц сыпучих или измельчённых горных пород с водой при разработке их гидравлическим способом.

Гидроотвал — гидротехническое сооружение, предназначенное для гидравлического складирования пород и отвода осветлённой воды.

При применении гидромониторно-землесосных комплексов для разработки вскрышных пород их размыв осуществляется гидромонитором (рис. 3.2).

Он представляет собой оборудование, с помощью которого создается плотная управляемая струя воды с большой скоростью движения. Управление струёй воды осуществляется путём дистанционного перемещения ствола гидромонитора.

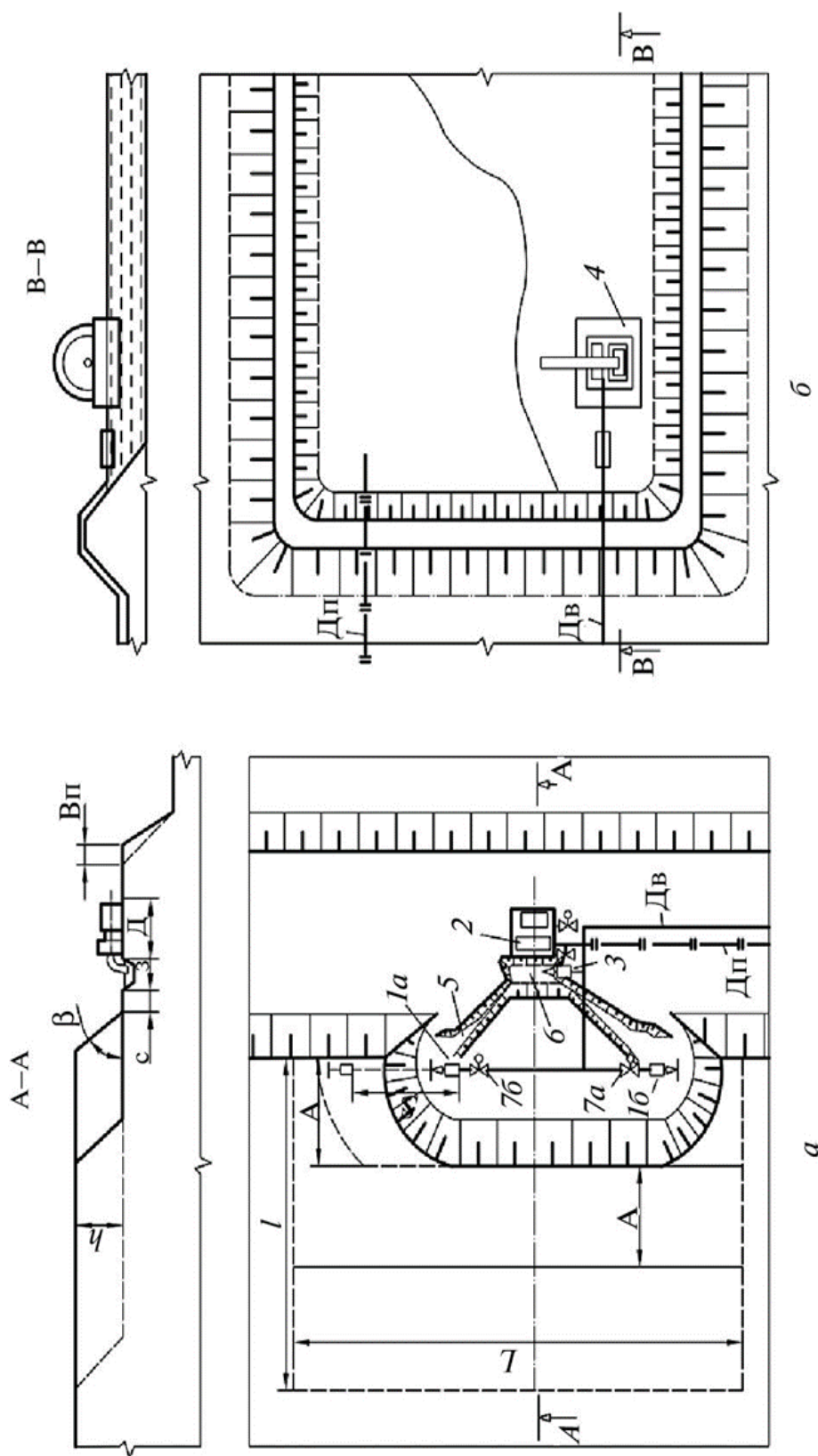


Рис. 3.1. Технология гидровскршнных работ с применением гидромониторно-землесосных комплексов:
 а – разрабатываемый забой; б – гидроотвал; 1а – рабочий гидромонитор; 1б – резервный гидромонитор;
 2 – грунтовый насос (землесос); 3 – зумпфовый гидромонитор; 4 – плавучая насосная станция; 5 – пульпо-
 водная канава; 6 – зумпф; 7а, 7б – задвижка; 8 – шаг передвижки гидромонитора; h – высота забоя; А – ши-
 рина гидромониторной заходки; L – длина разрабатываемого блока; l – ширина разрабатываемого блока;
 $D_{\text{в}}$ – водовод; $D_{\text{п}}$ – пульповод; c – расстояние от нижней бровки разрабатываемого уступа до зумпфа
 землесосной станции; D – ширина полосы, занимаемая землесосной станцией; $b_{\text{п}}$ – ширина полосы без



Рис. 3.2. Гидромонитор ГД-300 на Кедровском разрезе

Схема устройства гидромонитора представлена на рис. 3.3. Гидромонитор предназначен для создания компактной напорной струи воды и направления её в нужную точку забоя для его размыва. Компактность струи воды, выбрасываемой гидромонитором, зависит от гидравлического совершенства его проточной части и тщательности шлифовки насадки.

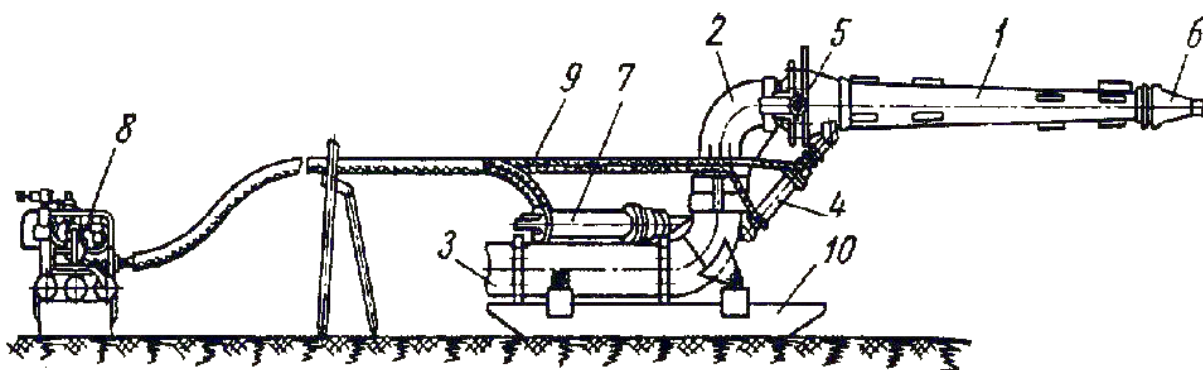


Рис. 3.3. Схема гидромонитора с дистанционным управлением: 1 – ствол; 2 – верхнее колено; 3 – нижнее колено; 4 – гидроцилиндр (перемещение ствола в вертикальной плоскости); 5 – шарнир; 6 – насадка; 7 – гидроцилиндры (перемещение ствола в горизонтальной плоскости); 8 – пульт управления; 9 – напорные рукава; 10 – салазки.

Разработка вскрышных пород осуществляется следующим образом (рис. 3.1). Рабочий гидромонитор высоконапорной струёй воды осуществляет подрезку разрабатываемого уступа – производит размыв породы в нижней части забоя с целью создания вруба. Когда величина вруба достигает определённой высоты и ширины, забой под действием сил гравитации обрушается, а породы разрушаются (разрыхляются). Разрушенные породы интенсивно размываются струёй гидромонитора и смешиваются с водой. Этот процесс обычно называют пульпоприготовлением. Гидросмесь вскрышных пород по пульповодной канаве 5 стекает в забойный зумпф 6, из которого она забирается грунтовым насосом 2 и по трубопроводу-пульповоду $D_{\text{п}}$ транспортируется на гидроотвал, где происходит её сброс, намыв (осаждение) пород под действием сил гравитации и осветление воды. Технически чистую воду забирает плавучая насосная станция 4 и осуществляет подачу высоконапорной воды по трубопроводу-водоводу $D_{\text{в}}$ на рабочий гидромонитор 1а. При размыве обрушившейся породы гидромониторщик струёй гидромонитора осуществляет размыв пульповодной канавы для поддержания её ширины и уклона, которые обеспечат беспрепятственный сток гидросмеси в зумпф.

В процессе такой работы гидромонитора происходит постепенное увеличение расстояния от гидромонитора до забоя и снижение эффективности размыва пород. Для каждого типа разрабатываемых пород, в зависимости от давления (напора) воды, определено предельно допустимое удаление забоя до места расположения гидромонитора. Этот параметр принято называть L_p – длина рабочего участка струи гидромонитора (табл. 4.1). При расстоянии от забоя до гидромонитора, превышающем длину рабочего участка струи гидромонитора, струя воды достигает забоя, но размыв пород происходит не интенсивно. В тот момент, когда расстояние между гидромонитором и забоем достигает величины L_p , открывают задвижку 7а, закрывают задвижку 7б, тем самым включают резервный гидромонитор 1б и выключают рабочий – 1а. Резервный гидромонитор становится рабочим, а рабочий – резервным. Рабочий гидромонитор продолжает подрезать забой, размывать обрушившуюся породу и

формировать пульповодную канаву. Ставший резервным гидромонитор отсоединяют от водовода, наращивают трубопровод и устанавливают ближе к забою на безопасном от него расстоянии (из-за возможного обрушения пород). Величина перемещения гидромонитора на новое положение называется шагом передвижки гидромонитора – S (см. рис. 3.1 и 4.1).

Одним из главных параметров, характеризующих возможности гидромонитора, является допустимая для него величина рабочего давления воды (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Технические характеристики гидромониторов

Параметры	ГД-300	ГМД-250М	ГМН-350
Рабочее давление воды, МПа	3,0	2,5	2,0
Максимальная водопроизводительность, м ³ /ч	4500	2750	4500
Диаметр входного патрубка, мм	300	250	350
Диаметр сменных насадок, мм	125, 150, 155, 160, 165, 175	80, 100, 110, 125	125, 150, 165, 190
Угол поворота ствола в горизонтальной плоскости, град:	270	360	180
Угол поворота ствола в вертикальной плоскости, град:			
- вверх	26	30	26
- вниз	10	30	10
Габаритные размеры, мм:			
- длина	6870	4420	6870
- ширина	2247	2190	6940
- высота	2950	1640	3460
Масса, кг	2370	1010	9500
Коэффициент потерь напора	26,6	14,3	12,5

Кроме того, отличительной характеристикой современных гидромониторов является значительный расход воды, величина которого достигает 5000 м³/ч, что обеспечивает его высокую производительность.

В табл. 3.2 приведены показатели производительности гидромониторов по воде, необходимые удельные расходы воды и давление на насадке гидромонитора для разработки определённой группы пород.

Таблица 3.2

Удельные расходы воды для разработки 1 м³ породы

Группа пород	Породы	Удельный расход воды (м ³ /м ³) при давлении на насадке гидромонитора, МПа						
		1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
I	Малосвязанные, разрыхленные, несслежавшиеся	3,6	3,5	3,2	3,0	2,8	2,6	2,5
II	Пески мелкозернистые. Пески пылеватые. Супеси легкие. Лёсс рыхлый. Торф разложившийся	4,7	4,6	4,4	4,0	3,7	3,5	3,3
III	Пески средне- и разномзернистые. Супеси средние. Суглинки лёгкие. Лёсс плотный	5,8	5,6	5,4	5,0	4,7	4,4	4,2
IV	Пески крупнозернистые. Супеси тяжёлые. Суглинки средние и тяжёлые. Глины текучие тощие	7,6	7,3	7,0	6,5	6,0	5,6	5,4
V	Глины полужирные (глинистых фракций 40–50 %). Песчано-гравийные (гравия до 25 %)	–	–	8,5	7,9	7,3	7,0	6,6
VI	Глины полужирные и пластичные (глинистых фракций 50–60 %). Песчано-гравийные (гравия до 40 %)	–	–	–	9,0	8,5	8,0	7,5
VII	Глины тяжёлые Высокопластичные (трудноразмываемые)	–	–	–	–	12,0	11,3	10,7

Примечание: Удельный расход воды при гидромониторной разработке без предварительного рыхления принимается по данным табл. 3.2. В случае гидромониторной разработки пород с их предварительным рыхлением удельный расход воды принимается по данным табл. 3.2, но на две единицы ниже группы, соответствующей неразрыхлённой породе. Например, при разработке пород группы V с предварительным рыхлением удельный расход принимается как для пород группы III без предварительного рыхления.

3.2. Пример расчёта

Выбрать гидромонитор, определить рабочее количество гидромониторов и потери напора воды в нём при следующих исходных данных.

1. Годовой объём работ гидроучастка – $W = 5,0$ млн м^3 .
2. Тип пород – суглинки средние тяжёлые.
3. Продолжительность сезона – $N_{\text{д}} = 180$ дней.
4. Продолжительность смены – $n_{\text{см}} = 8$ часов.

Порядок расчёта

1. По табл. 3.2 определяем группу пород: суглинки средние тяжёлые – IV группа. Принимаем напор воды на насадке гидромонитора 1,8 МПа, что обеспечивает удельный расход воды для разработки пород $q = 5,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

2. Определяем часовую производительность гидромониторно-землесосного комплекса по воде (насосной станции водоснабжения):

$$Q_{\text{в}} = \frac{W g K_3}{N_{\text{д}} n_{\text{см}} t K_{\text{в}}}, \text{ м}^3/\text{ч};$$

где K_3 – коэффициент запаса, $K_3 = 1,1$; $K_{\text{в}}$ – коэффициент использования гидромониторно-землесосного комплекса во времени, $K_{\text{в}} = 0,8$; t – количество смен в сутки, $t = 3$.

$$Q_{\text{в}} = \frac{5000000 \times 5,6 \times 1,1}{180 \times 3 \times 8 \times 0,8} = 8912 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3. Рабочее количество гидромониторов рассчитывается по формуле

$$N_{\text{г}} = \frac{Q_{\text{в}}}{Q_{\text{т}} K'},$$

где K' – коэффициент, учитывающий конкретные производственные условия, $K' \approx 0,85 \div 0,90$; $Q_{\text{т}}$ – техническая производительность гидромонитора, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Принимаем гидромонитор ГМД-250М, по его технической характеристике (табл. 3.1) $Q_{\text{т}} = 2750 \text{ м}^3/\text{ч}$ и рабочее давление воды 2,5 МПа. Напор воды на насадке гидромонитора $H = 1,8$ МПа

(180 м вод. ст.), что меньше рабочего давления воды в гидромониторе (табл. 3.1) – $H_{\max} = 2,5$ МПа.

$$N_{\Gamma} = \frac{8912}{2750 \times 0,85} = 3,8 \approx 4 \text{ ед.}$$

4. Резервное количество гидромониторов и их общее количество зависит от числа рабочих гидромониторов и определяется по табл. 3.3.

Таблица 3.3

Соотношение количества рабочих
и резервных гидромониторов

Количество рабочих гидромониторов N_{Γ}	1	2	3	4	5	6
Резервное количество гидромониторов $N_{\text{рез.гм}}$	1	1	2	2	3	3
Общее количество гидромониторов $N_{\text{общ}}$	2	3	5	6	8	9

При количестве рабочих гидромониторов $N_{\Gamma} = 4$ число резервных гидромониторов $N_p = 2$ ед. Общее количество гидромониторов (забоев) равно 6.

5. Определяем диаметр насадки гидромонитора:

$$d_{\text{н}} = 0,52 \sqrt{\frac{Q_{\text{вг}}}{\sqrt{H}}}, \text{ м,}$$

где $Q_{\text{вг}}$ – водопроизводительность одного гидромонитора, $\text{м}^3/\text{с}$;
 H – напор воды на насадке гидромонитора, м вод. ст.

$$Q_{\text{вг}} = \frac{Q_{\text{в}}}{N_{\Gamma} K_3} = \frac{8912}{4 \times 0,95} = 2345 \text{ м}^3/\text{ч} = \frac{2345}{3600} = 0,651 \text{ м}^3/\text{с},$$

где K_3 – коэффициент запаса, 0,95.

$$d_{\text{н}} = 0,52 \times \sqrt{\frac{0,651}{\sqrt{180}}} = 0,115 \text{ м} = 115 \text{ мм.}$$

Принимаем ближайший стандартный диаметр насадки (по табл. 3.1) – $d_{\text{н}} = 110 \text{ мм}$ (0,11 м).

6. Потери напора в гидромониторе складываются из потерь в поворотном колене и шарнирах ($h_{\text{г}}$), а также потерь в насадке ($h_{\text{н}}$).

$$H_{\text{гм}} = h_{\text{г}} + h_{\text{н}}, \text{ м вод. ст.}$$

Потери в колене и шарнирах:

$$h_{\text{г}} = K Q_{\text{вг}}^2 \text{ м вод. ст.,}$$

где K – коэффициент потерь напора (табл. 3.1), $K = 14,3$ для ГМД-250М.

$$h_{\text{г}} = 14,3 Q_{\text{вг}}^2 = 14,3 \cdot 0,651 = 6,06 \text{ м вод. ст.}$$

Потери напора в насадке:

$$h_{\text{н}} = 0,06 \frac{V_0^2}{2g}, \text{ м вод. ст.,}$$

где V_0 – скорость струи у выхода из насадки, м/с.

$$V_0 = \varphi \sqrt{2gH} = 0,92 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 180} = 54,67 \text{ м/с,}$$

где φ – коэффициент скорости, $0,92 \div 0,96$; g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

$$h_{\text{н}} = 0,06 \times \frac{(54,67)^2}{2 \times 9,81} = 9,14 \text{ м вод. ст.}$$

Суммарные потери напора в гидромониторе

$$H_{\text{гм}} = h_{\text{г}} + h_{\text{н}} = 6,06 + 9,14 = 15,2 \text{ м вод. ст.}$$

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение гидромониторно-землесосного комплекса.
2. Дайте определение насосно-гидромониторной установке.
3. Дайте определение гидротранспортной установке.
4. Что такое гидросмесь?
5. Что такое гидроотвал?
6. Что такое гидромонитор?
7. Для чего нужны резервные гидромониторы?
8. Что такое длина рабочего участка струи гидромонитора?
9. От чего зависит удельный расход воды для разработки 1 м^3 породы?
10. Для чего предназначен гидромонитор?
11. Назовите основные части гидромонитора.
12. Назовите три участка гидромониторной струи.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Тема: Определение параметров технологической схемы гидромониторного-землесосного комплекса карьера

Цель лабораторной работы: определение основных элементов системы разработки при применении гидромониторно-землесосных комплексов.

4.1. Общие сведения

Основные элементы системы разработки (рис. 4.1): h – высота разрабатываемого уступа; A – ширина гидромониторной заходки; S – шаг передвижки гидромонитора; L – длина разрабатываемого блока; l – ширина разрабатываемого блока и $Ш_{р.п}$ – ширина рабочей площадки. Ширина рабочей площадки рассчитывается по формуле

$$Ш_{р.п} = C + З + Д + П + b_{п} + A,$$

где C – расстояние от нижней бровки разрабатываемого уступа до зумпфа землесосной станции, $C \approx 0,3h$, м; $З$ – ширина зумпфа, $З \approx 8 \div 12$ м; $Д$ – ширина полосы, занимаемая землесосной станцией, $Д \approx 6 \div 8$ м; $П$ – ширина полосы для размещения дополнительного оборудования и проезда вспомогательного транспорта, $П \approx 6$ м; $b_{п}$ – ширина полосы безопасности (призмы обрушения), м.

Ширина полосы безопасности рассчитывается по формуле

$$b_{п} = h(\operatorname{ctg}\alpha_y - \operatorname{ctg}\alpha),$$

где α_y – угол устойчивого откоса уступа, град.; α – угол рабочего откоса уступа, град. Для учебных расчётов значения углов откосов уступов по наносам можно принимать следующие: $\alpha_y = 45\text{--}55$ град., $\alpha = 60\text{--}70$ град.

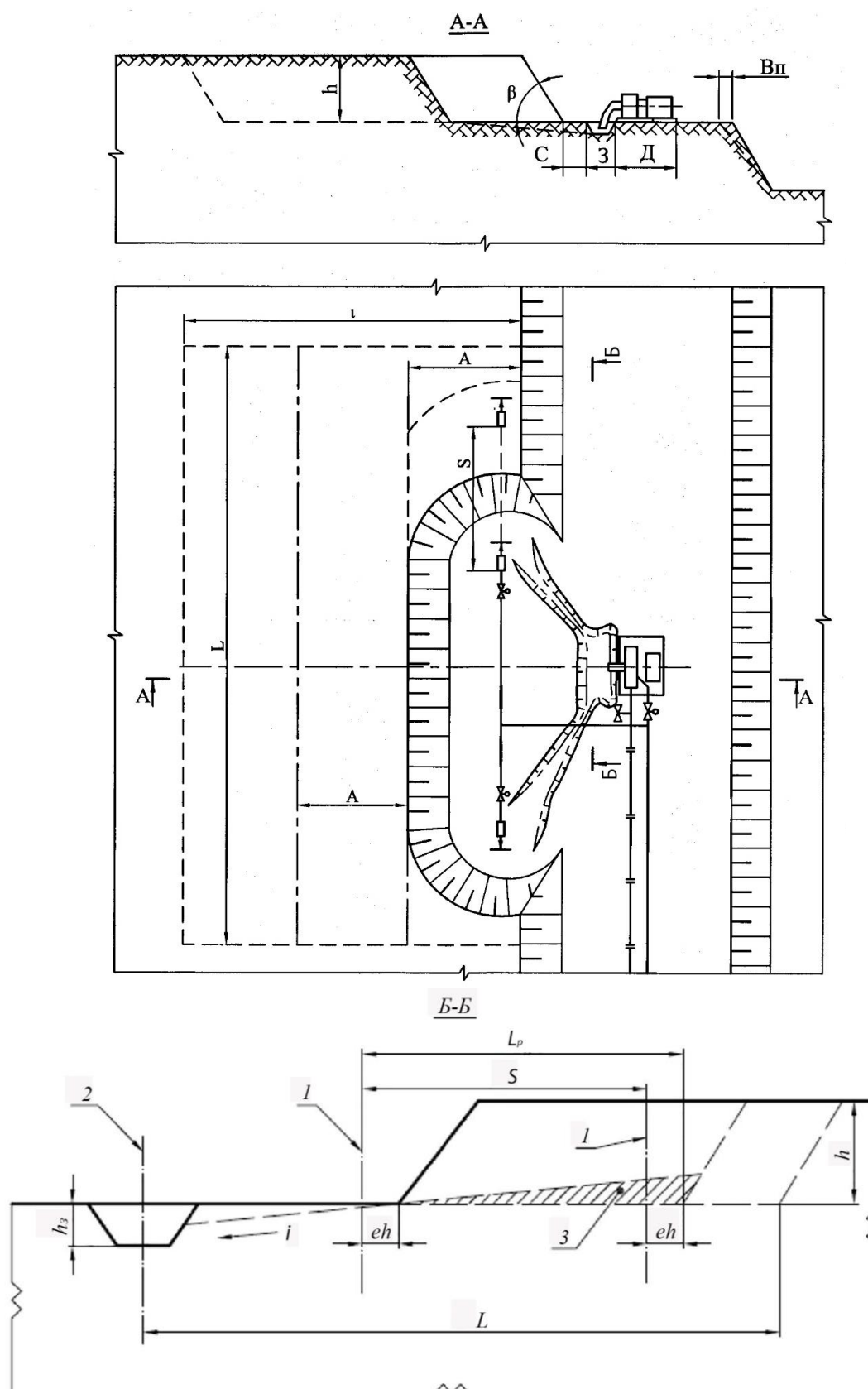


Рис. 4.1. Основные элементы системы разработки: 1 – ось установки гидромонитора; 2 – ось зумпфа забойной землесосной станции; 3 – недомыв

Цикл работы гидромонитора включает несколько операций. Первая – подрезка разрабатываемого уступа, во время которой в зоне подошвы уступа размывается массив и осуществляется формирование вруба. В результате этого забой обрушивается, а порода под действием сил гравитации измельчается. Вторая операция – это размыв обрушившейся породы и формирование гидросмеси (пульпы). Условно можно выделить и третью операцию – поддержание пульповодной канавы, по которой гидросмесь поступает в зумпф забойной землесосной станции, и прогон гидросмеси струёй гидромонитора по пульповодной канаве (поддержание необходимого её уклона).

Гидромониторный забой перемещается от зумпфа гидротранспортной установки, расположенного на нижней площадке разрабатываемого уступа, к границам блока (рис. 4.1).

Гидромонитор устанавливается на минимальном безопасном расстоянии от разрабатываемого забоя:

$$l_{\min} = e h, \text{ м};$$

где e – коэффициент приближения гидромонитора к забою; для гидромониторов с дистанционным управлением $e = 0,4$; h – высота разрабатываемого уступа, м.

Водяная струя, вылетая из насадки с большой скоростью, сначала имеет плотную структуру и является наиболее эффективной для размыва грунта. По мере удаления струи от насадки в результате сопротивления воздуха первоначальная компактность струи гидромонитора постепенно теряется, её диаметр увеличивается, скорость резко падает, давление понижается, струя расслаивается и рассеивается. Происходит насыщение струи воздухом (аэрация), отделение периферийных струек, струя приобретает конусную форму, а эффективность её резко снижается.

Физико-механические свойства разрабатываемых пород и величина давления воды перед насадкой гидромонитора определяют длину рабочего участка струи гидромонитора (табл. 4.1). Этот параметр исчисляется в метрах и его принято обозначать L_p . Он характеризует предельную величину расстояния между гидромонитором и забоем, когда работающий гидромонитор необходимо останавливать из-за малой эффективности размыва, а разработку пород осуществляют резервным гидромонитором, кото-

рый смонтирован в соседнем забое на безопасном расстоянии от нижней бровки разрабатываемого уступа (по условию его возможного обрушения) и становится рабочим (см. рис. 4.1).

Согласно ФНП «Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом» при гидромеханизированном способе разработки расстояние от гидромониторной установки и другого забойного оборудования (скреперов, бульдозеров) до забоя должно составлять не менее 0,8 высоты уступа. Для глинистых, плотных и лёссовидных пород, способных к обрушению глыбами, это расстояние должно быть не менее 1,2 высоты уступа. При размыве боковым забоем расстояние гидромонитора до забоя должно быть не менее 0,4 высоты уступа.

В период его работы, ставший резервным гидромонитор, перемещают как можно ближе к забою на безопасное расстояние и подключают к водоводу. Таким образом, для обеспечения непрерывной работы гидромониторно-землесосного комплекса для каждого рабочего монитора требуется еще один резервный. При хорошей организации работы гидрокомплекса на два рабочих гидромонитора достаточно одного резервного.

В результате размыва пород забой постепенно «удаляется» от гидромонитора. В том случае, когда расстояние от гидромонитора до забоя превышает величину рабочего участка струи гидромонитора L_p , гидромонитор перемещают в новое положение и также располагают на безопасном расстоянии от забоя.

4.2. Пример расчёта

Определить параметры технологической схемы гидромониторного-землесосного комплекса карьера при следующих исходных данных:

1. Высота уступа – $h = 20$ м.

1. Определяем минимальное безопасное расстояние гидромонитора от разрабатываемого забоя.

При высоте разрабатываемого уступа $h = 20$ м, гидромонитор с дистанционным управлением, может устанавливаться на расстоянии от забоя не менее

$$l_{\min} = 0,4 \times 20 = 8 \text{ м.}$$

2. Шаг передвижки гидромонитора рассчитывается по формуле

$$S = 1/4 \times \left[\sqrt{8L_p^2 + (\varepsilon h)^2} - 3\varepsilon h \right], \text{ м,}$$

где L_p – длина рабочего участка струи гидромонитора, которая зависит от группы разрабатываемой породы и напора на насадке гидромонитора (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Длина рабочего участка струи гидромонитора (м)

Давление перед насадкой гидромонитора, МПа	Группа породы						
	I	II	III	IV	V	VI	тяжёлые глины (VII)
1,0	38	36	33	31	–	–	–
1,1	40	38	35	33	–	–	–
1,2	42	40	37	35	29	–	–
1,3	44	42	39	37	31	–	–
1,4	46	44	41	39	33	30	20
1,5	48	46	43	41	35	33	25
1,6	50	48	45	43	37	34	30
1,7	51	50	46	45	38	36	33
1,8	53	52	48	46	39	38	36
1,9	55	54	50	48	41	39	38
2,0	56	55	51	49	43	41	40
2,1	58	57	53	51	45	43	41
2,2	59	58	54	52	46	44	43
2,3	61	60	56	54	47	46	44
2,4	62	61	57	56	49	47	46
2,5	64	63	58	57	50	48	47

В работе № 3 были приняты следующие условия: группа породы IV (суглинки средние тяжёлые), напор на насадке гидромонитора 1,8 МПа, следовательно, длина рабочего участка струи гидромонитора равна $L_p = 46$ м. Шаг передвижки гидромонитора равен

$$S = 1/4 \times [\sqrt{8 \times 46^2 + (0,4 \times 20)^2} - 3 \times 0,4 \times 20] = 26,6 \text{ м.}$$

В соответствии с величиной стандартной (по условию транспортировки) длине плети труб 6 м шаг передвижки гидромонитора принимается кратной этой величине, т. е. $S = 24$ м.

3. Ширина заходки гидромонитора рассчитывается по формуле

$$A \leq 2 \cdot \sqrt{(L_p + l_k)^2 - (\varepsilon \cdot h + S)^2}, \text{ м,}$$

где l_k – длина шарнирного поворотного колена, м; в нашем случае $l_k = 0$, тогда

$$A \leq 2 \times \sqrt{(46 + 0)^2 - (0,4 \times 20 + 24)^2} = 66 \text{ м.}$$

4. Ширина разрабатываемого блока рассчитывается по формуле

$$l = (k_1 h + k_2 h_3) / i, \text{ м;}$$

где k_1 – коэффициент допустимого неомыва, $k_1 \leq 0,3$; k_2 – коэффициент, учитывающий глубину пульповодной канавы по отношению к глубине зумпфа, $k_2 \approx 0,5$; i – величина уклона пульповодной канавы, $i = 0,03 \div 0,05$; h_3 – глубина забойного зумпфа, $h_3 = 4 \div 6$ м.

Ширина блока для принятых условий будет равна

$$l = (0,2 \times 20 + 0,5 \times 5) / 0,03 \approx 217 \text{ м.}$$

5. Рассчитываем длину блока, разрабатываемого на одно положение забойного зумпфа.

Длина блока не должна превышать удвоенной расчётной ширины. Длина блока, разрабатываемого на одно положение забойного зумпфа, составит

$$L \approx 2 l = 2 \times 217 = 434 \text{ м.}$$

6. Определяем число передвижек гидромонитора.

В пределах длины блока L число передвижек гидромонитора определяется с округлением до целого по формуле

$$n \leq \frac{L - S}{S} = \frac{434 - 24}{24} \approx 17.$$

7. Объём пород, разрабатываемых на одно положение забойного зумпфа, определяется по формуле

$$V_3 = l L h = 217 \times 434 \times 20 = 1883,5 \text{ тыс. м}^3.$$

Если известна годовая производительность гидроучастка (см. задание на лабораторную работу № 3 – $W = 5,0$ млн м^3), то количество блоков, отрабатываемых за сезон, будет равно

$$M = W/V_3 = 5000/1883,5 = 2,65 \approx 3 \text{ блока.}$$

Следовательно, к сезону необходимо оборудовать 3 забойных зумпфа.

8. Суммарная длина фронта, отрабатываемая за сезон:

$$L_{\Phi} = M \times L = 2,65 \times 434 = 1150 \text{ м.}$$

Скорость подвигания фронта работ на участке гидромеханизации составляет $V_{\Phi} = l = 217$ м (на блоке, равном 1150 м).

9. Ёмкость забойного зумпфа рассчитывается по формуле

$$W_3 = Q_p k / 60, \text{ м}^3,$$

где Q_p – производительность забойной гидротранспортной установки, $\text{м}^3/\text{ч}$ (определяется в другой работе); k – коэффициент запаса, $k \approx 2$.

В том случае, если забойная гидротранспортная установка оснащена распространённым грунтовым насосом Гр 4000/71 ($Q_p = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$), ёмкость забойного зумпфа равна

$$W_3 = \frac{4000 \times 2}{60} \approx 133 \text{ м}^3.$$

Нами принята глубина зумпфа $h_3 = 5$ м. Считаем, что ширина зумпфа равна его длине, тогда

$$a \approx b = \sqrt{W_3/h_3} = \sqrt{133/5} = 5,2 \approx 5 \text{ м.}$$

Таким образом, в этой работе определены:

- 1) ширина заходки гидромонитора $A = 66$ м;
- 2) шаг передвижки гидромонитора $S = 24$ м;

3) минимальное безопасное расстояние установки гидромонитора до разрабатываемого забоя $l_{\min} = 8$ м;

4) длина и ширина блока, разрабатываемого на одно положение забойного зумпфа $L = 434$ м и $l = 217$ м;

5) объём пород, разрабатываемых на одно положение забойного зумпфа, $V_z = 1883,5$ тыс. м³ и количество блоков, отрабатываемых за один сезон при годовой производительности $W = 5000$ тыс. м³, – $M = 3$ блока;

6) длина фронта, отрабатываемого за сезон, $L_{\phi} = 1152$ м и скорость подвигания фронта на этом участке $V_{\phi} = 217$ м;

7) параметры забойного зумпфа – глубина $h_z = 5$ м, длина и ширина $a = b \approx 5$ м.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные элементы системы разработки при гидромеханизированной разработке.

2. Как определяется ширина рабочей площадки при гидромеханизированной разработке?

3. Опишите цикл работы гидромонитора.

4. На каком расстоянии гидромонитор устанавливается от разрабатываемого забоя?

5. Что такое длина рабочего участка струи гидромонитора и от чего она зависит?

6. Для чего нужен резервный гидромонитор?

7. Как определяется шаг передвижки гидромонитора?

8. Какой процесс обычно называют «пульпоприготовлением»?

9. Как осуществляется и для чего производится подрезка разрабатываемого уступа?

10. Как ускорить интенсивность размыва горных пород?

11. Какие вы знаете способы подготовки пород к размыву?

12. Почему шаг передвижки гидромонитора обычно принимается кратным длине наращиваемых секций трубопровода?

13. Каким параметром характеризуется эффективность размыва и работы всего гидромониторно-землесосного комплекса?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Тема: Выбор насосного оборудования для гидромониторно-землесосного комплекса

5.1. Источники водоснабжения

Водоснабжение в основном осуществляется из поверхностных источников (речек, озёр, дренажных вод разрабатываемых месторождений, дождевых и паводковых стоков, которые аккумулируются в водохранилищах и прудах и т. п.) или артезианских скважин.

В первом приближении считают, что источник удовлетворяет потребности гидроустановки в воде, если его годовой дебет (м^3) не менее годовой производительности гидроустановки (м^3 горной массы). Помимо дебета (водоносности) источника, также учитывается и качество воды, её физические и химические свойства.

В настоящее время нет твёрдо установленных норм физических и химических свойств воды, рекомендуемых для гидромеханизации, однако практика работ показывает, что размыв горной массы осуществляется более интенсивно при использовании чистой воды. При работе на воде, загрязненной механическими примесями, износ (истирание) рабочих частей машин и аппаратов усиливается, а КПД оборудования снижается. Причём интенсивность износа зависит не только от количества, но и от вида примесей, размера их частиц и гранулометрического состава. Следует считать, что частицы кварца, включая и мелкопесчаные, не должны допускаться в водоводы и к насосам, а общее содержание механических примесей не должно превышать 15–20 г/л. Что касается химических свойств воды, то она должна иметь слабощелочную или нейтральную реакцию, но не кислую.

Существует три способа подачи воды из водоисточника: самотечный, напорный, комбинированный – сочетание самотечного и напорного.

Самотечный способ подачи воды возможен лишь при благоприятных топографических условиях местности, позволяющих подвести воду с необходимым напором к месту работы. Для

обеспечения потребного напора гидроустановки необходимо иметь превышение отметки водозабора в водоисточнике над рабочей площадкой карьера, определяемое по формуле:

$$H_c = H_m + \Sigma h,$$

где H_m – рабочий напор у гидромонитора, м вод. ст.; Σh – сумма потерь напора (в водоводах, гидромониторах и др.), м.

Напорный способ подачи воды осуществляется с помощью насосов. Необходимый напор, который должны развивать насосы для обеспечения рабочего напора гидромониторов, определяется по формуле

$$H_c = H_m \pm H_r + \Sigma h,$$

где H_r – геодезическая разность отметок горизонта воды в водоисточнике и рабочей площадки карьера, м.

Комбинированный способ водоподачи применяется в том случае, если самотечный способ не обеспечивает необходимых напоров и требуется установка насосов.

5.2. Схемы водоснабжения

Подача воды к гидромониторам в количестве и с напором, обеспечивающими эффективную разработку горной массы, осуществляется системой сооружений и устройств водоснабжения, входящей в общий комплекс гидромеханизации.

В зависимости от дебета водоисточника и конкретных условий гидромеханизации горных работ различают две принципиальные схемы водоснабжения – прямоточную и циркуляционную (круговоротную). При прямоточном водоснабжении имеет место однократное использование воды, после очистки она сбрасывается из системы, а вместо неё забирается свежая вода из источника. При циркуляционном водоснабжении вода используется многократно, а свежая вода из источника подаётся только для восполнения потерь в системе (рис. 5.1).

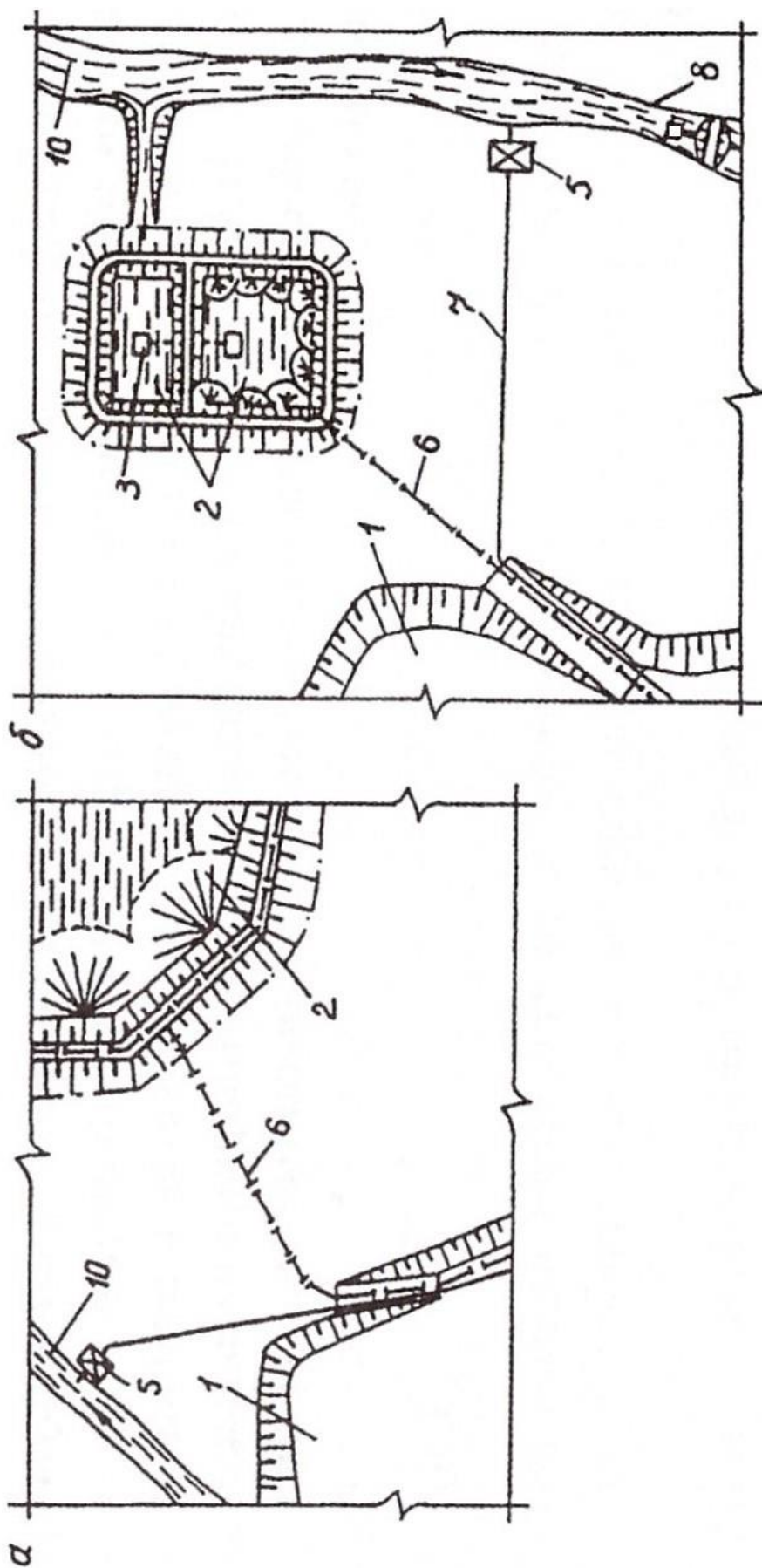
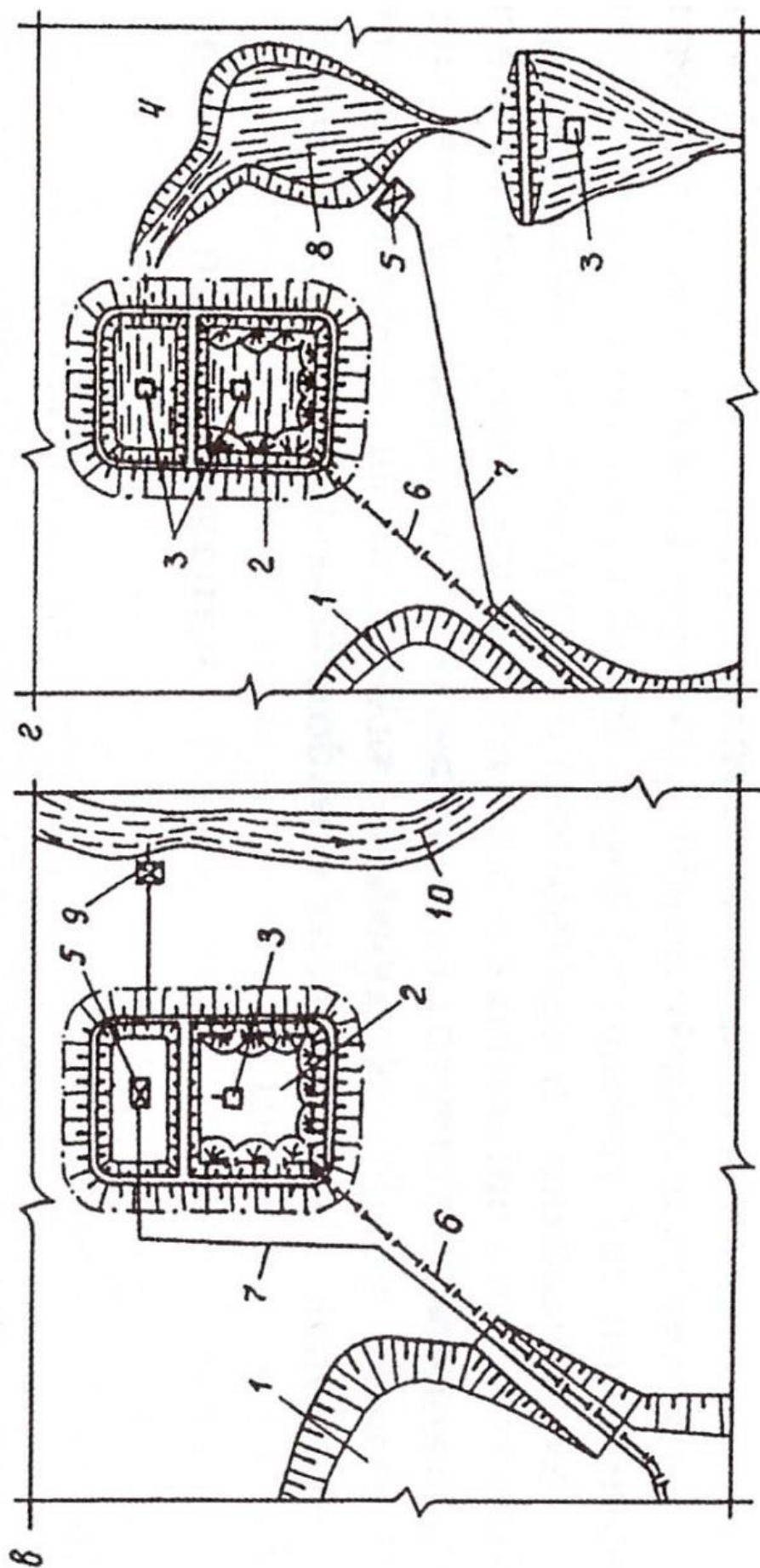


Рис. 5.1. Схемы водоснабжения: *а* – прямоточное напорное водоснабжение; *б* – обратное с возвратом осветленной воды в водоисточник; *в* – обратное с расположением плавучей насосной станции на гидроотвале; *г* – обратное с устройством водохранилища. 1 – карьер; 2 – гидроотвал; 3 – водосбросной колодец; 4 – водосборная канава; 5 – насосная станция; 6 – пульпопровод; 7 – водовод; 8 – водохранилище; 9 – насосная станция подпитки; 10 – река



Продолжение рис. 5.1.

При прямоточном водоснабжении дебет водоисточника должен быть больше или равен общему водопотреблению воды гидроустановкой. При кругооборотном водоснабжении дебет водоисточника должен быть больше или равен безвозвратному водопотреблению, которое равно потерям воды в системе.

В общем виде каждая система водоснабжения включает в свой состав сооружения и устройства по забору воды из источника, устройство для транспортирования и создания напора воды, сооружения по обезвоживанию гидросмеси и очистке воды.

Когда дебет водоисточника меньше общего водопотребления установок, обеспечение водой агрегатов гидромеханизации возможно только по циркуляционной схеме. Кроме того, часты случаи, когда циркуляционное водоснабжение технически более целесообразно даже при наличии водоисточников с дебетом, достаточным для прямоточного водоснабжения.

Прямоточное водоснабжение возможно при условии обеспечения соотношения:

$$Q \geq qV + \Sigma q_{\text{п}},$$

где Q – часовой расход воды водоисточника, $\text{м}^3/\text{ч}$; q – удельный расход воды на 1 м^3 грунта, $\text{м}^3/\text{м}^3$; V – производительность установки по породе, $\text{м}^3/\text{ч}$; $\Sigma q_{\text{п}}$ – сумма потерь воды в забое, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Сумма потерь воды в забое складывается из потерь на испарение и фильтрацию, потерь воды, остающейся в порах намывного грунта.

Возможно также использование водоисточников с ограниченными расходами при устройстве водохранилищ и прудов в оврагах и ручьях, в которых аккумулируются паводковые и атмосферные стоки.

При отсутствии источников воды с необходимым дебетом организуется обратное водоснабжение. Для восполнения потерь воды в системе при этом виде водоснабжения необходимо иметь водоисточник для «подпитки» с расходами воды ($Q_{\text{п}}$):

$$Q_{\text{п}} \geq \Sigma q_{\text{п}}.$$

Работа на кругообороте воды может быть экономически целесообразной и при удалённых от места работ водоисточниках,

так как в этом случае наибольший расход воды подаётся насосной станцией, расположенной в непосредственной близости от места производства работ.

Потери воды в системе при работе на кругообороте складываются из потерь: в забое, в карьере, на отвалах, при испарении в водоёмах и при фильтрации в водохранилище. Потери воды в забое состоят из потерь на фильтрацию через подошву забоя и на унос воды ветром. Поскольку фильтрационные потери при наличии грунтовых вод незначительны, ими в расчётах можно пренебречь.

Потери воды на отвалах происходят вследствие насыщения водой пор грунта, фильтрации через ложе и дамбы отвалов, испарения с водной поверхности отвалов и отстойников.

На основании практических данных установлено, что общие потери воды, которые необходимо учитывать при определении объёма водоисточника, составляют не более $15 \div 20$ % потребного расхода воды для гидроустановки.

Одним из радикальных способов использования водоисточников с небольшим бытовым расходом является устройство водохранилищ. Местом для устройства водохранилищ могут быть малые несудоходные реки, ручьи, балки, овраги, староречье и др.

Таким образом, в состав гидромониторно-землесосного комплекса входят две основные системы: насосно-гидромониторная и гидротранспортная.

5.3. Центробежные насосы

Насосно-гидромониторная система включает насосные установки, гидромониторы и трубопроводы (водоводы). Наибольшее распространение для водоснабжения гидромониторов гидромеханизации получили одноступенчатые центробежные насосы (рис. 5.2).

Обычно насосы поставляются в виде агрегата: насос и электродвигатель, смонтированные на одной раме (рис. 5.3).

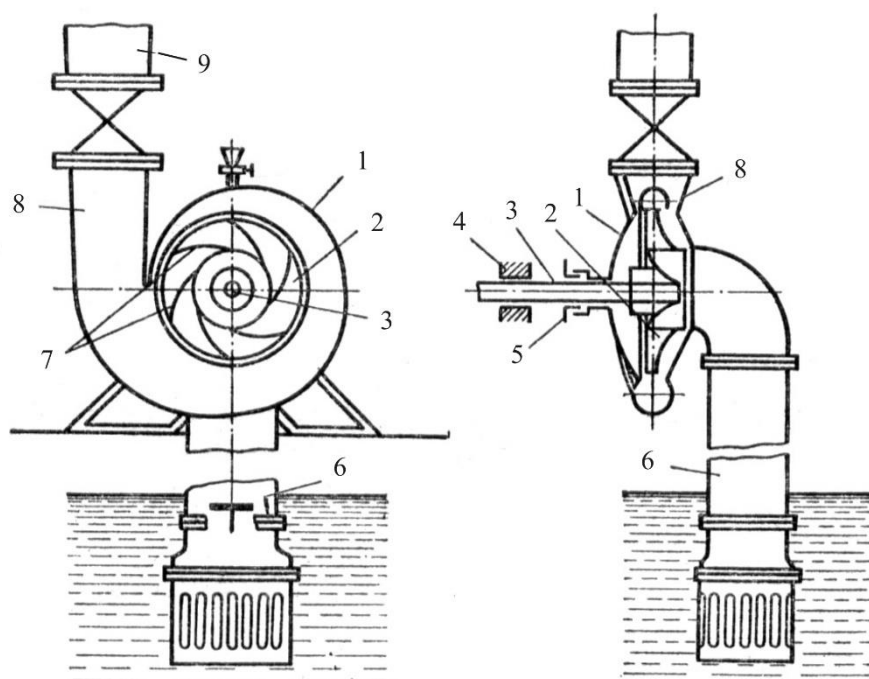


Рис. 5.2. Центробежный насос: 1– спиральный корпус; 2 – рабочее колесо; 3 – вал; 4 – подшипники; 5 – сальники; 6 – всасывающий патрубок; 7 – лопатки рабочего колеса; 8 – нагнетательный патрубок; 9 – напорный трубопровод

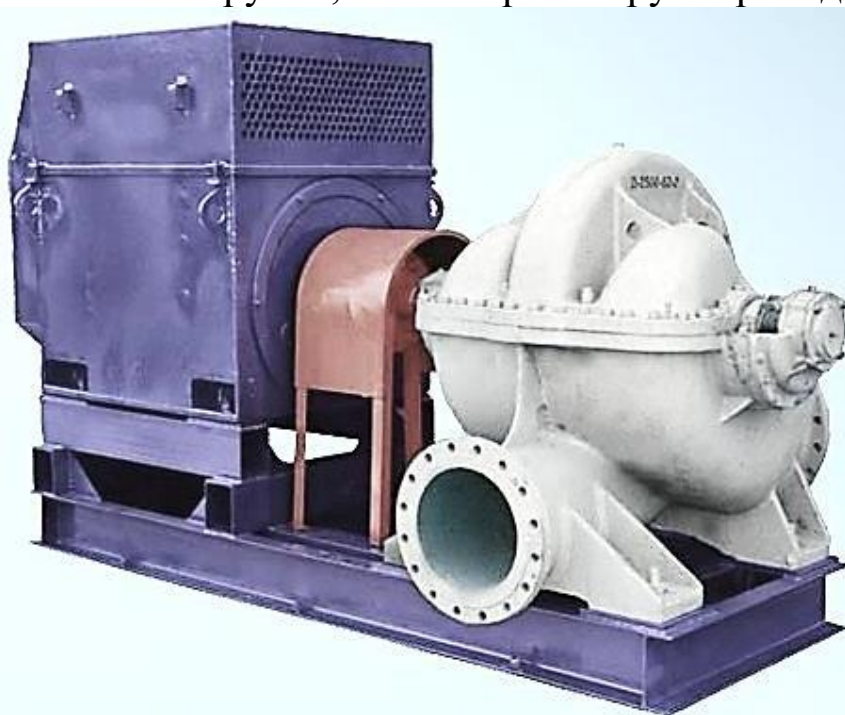


Рис. 5.3. Насосный агрегат

Центробежный насос 4 должен быть оборудован следующей арматурой и приборами (рис. 5.4): приёмным обратным клапаном с сеткой 1, предназначенным для удержания в корпусе и всасывающем патрубке насоса воды при его заливе перед пуском; сетка служит для задержания крупных взвесей, плавающих в воде; всасывающим патрубком 2; вакуумметром 3 для измерения разрежения на всасывающей стороне; краном для выпуска воздуха при заливе воды, который устанавливается в верхней части корпуса (на рисунке не указан); манометром 5 на напорном патрубке для измерения напора, развиваемого насосом; обратным клапаном 6 на напорном трубопроводе, предотвращающем движение воды через насос в обратном направлении при параллельной работе другого насоса; задвижкой 7 на напорном трубопроводе, предназначенной для пуска в работу, остановки и регулирования производительности и напора насоса; предохранительным клапаном (на рисунке не указан) на напорном патрубке 8 за задвижкой для защиты насоса, напорного патрубка и трубопровода от гидравлических ударов; устройством для залива насоса водой (на рисунке не указан).

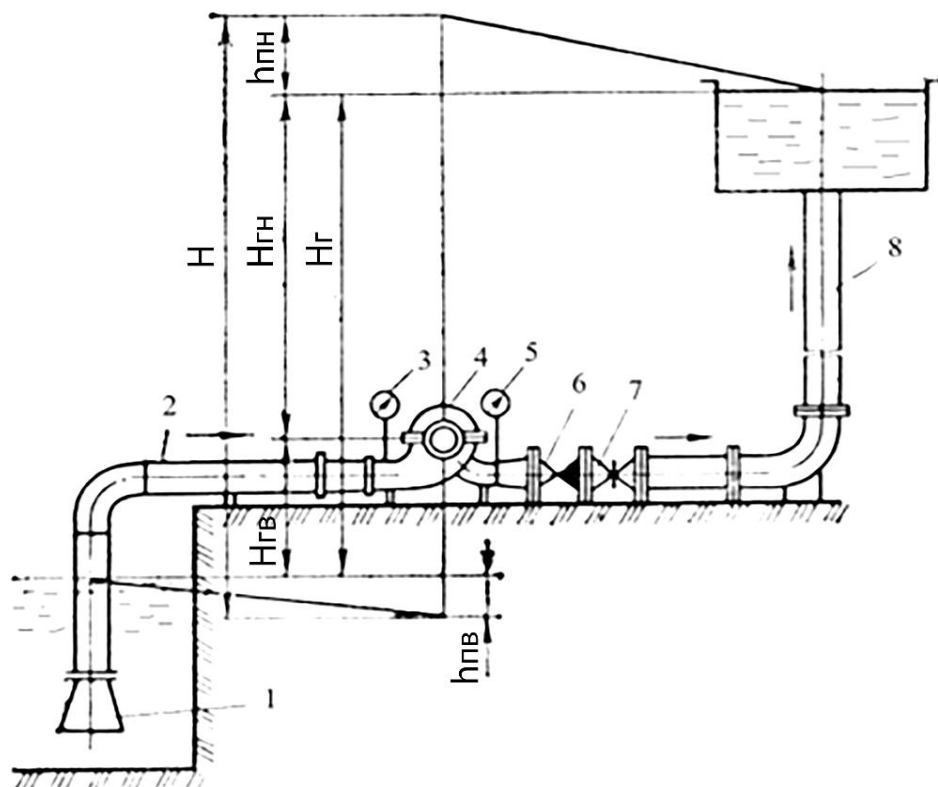


Рис. 5.4. Схема установки центробежного насоса

Основное назначение агрегатов данного типа – забор воды из источника и создание напора для её перемещения. Принцип работы центробежного насоса заключается в том, что в результате вращения рабочего колеса электродвигателем в корпусе насоса создаются центробежные силы, которые заставляют жидкость перемещаться. Она начинает отбрасываться к краю корпуса и перемещается в сторону нагнетания к напорному трубопроводу.

Всасывающий патрубок предназначен для подачи жидкости внутрь насоса, где для создания высокого напора могут находиться несколько рабочих колёс.

Вал, на котором крепится рабочее колесо насоса, соединяется с валом электродвигателя специальной муфтой, предотвращающей скручивание вала и выход из строя электродвигателя из-за заклинивания насоса.

На центробежных насосах устанавливается оборудование, которое обеспечивает управление и безопасность работы агрегата.

Насосы, используемые в системе водоснабжения гидромониторно-землесосного комплекса, предназначены для перекачивания воды и жидкостей, сходных с водой по вязкости и химической активности. Допускается содержание твёрдых включений с концентрацией не более 0,05 % по массе и размером до 0,2 мм.

В обозначение насоса входят буквенный индекс и цифры, указывающие модификацию, подачу и напор. Насос, обозначение которого Д 2000-100-2 является: «Д» – насосом с двухсторонним входом; «2000» – величина подачи в режиме максимального КПД, м³/ч; «100» – величина напора в режиме максимального КПД, м; «2» – модификация.

Кроме того, расширение области режимов работы этих насосов достигается за счёт применения рабочих колёс уменьшенного диаметра. Для обозначения насосов с уменьшенным диаметром рабочего колеса используют буквенные индексы «а» и «б». Например, Д 2000-100а-2, Д 2000-100б-2.

При производстве гидровскрышных работ на угольных разрезах также применяются двухступенчатые насосы спирального типа марки ЦН. Они подобны насосам типа Д по условиям применения, но имеют более высокие напоры. Обозначения этих

насосов включают те же параметры, что и обозначения насосов типа Д.

Технические характеристики некоторых водяных насосов, применяемых для водоснабжения гидромониторов гидрокомплексов для открытых горных работ, приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Технические характеристики насосов

Типоразмер насоса	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения, мин ⁻¹	КПД, %	Допустимый кавитационный запас, м	Мощность электродвигателя, кВт
Д 1250-125	1250	125	1500	78	5,8	630
Д 2000-100	2000	100	1000	75	6,2	800
Д 3200-75	3200	75	1000	87	7,5	800
Д 4000-95	4000	95	1000	88	7,0	1600
ЦНС 500-240	500	240	—	76	—	440
ЦНСГ850-240	850	240	1500	72	8,5	800
ЦН 1000-180	1000	180	1500	80	8,0	630
НМ 1800-240	1800	240	—	83	—	1500
НМ 2500-230	2500	230	—	86	—	1750
ЦН 3000-197	3000	197	1000	77	7,0	2500

Основными параметрами системы водоснабжения, которые определяют эффективность работы гидромониторно-землесосного комплекса, являются часовая производительность по воде, м³/ч; величина напора воды на насадке гидромонитора, м.

В конкретных горнотехнических условиях карьера очень часто бывает ситуация, когда для обеспечения работы гидромониторов недостаточно того количества воды, которое приходит в забой, или её напор не обеспечивает интенсивный размыв породы. Возникает необходимость совместной работы нескольких насосов одновременно. При этом возможны два способа их соединения: последовательное и параллельное.

Параллельной работой насосов называется одновременная подача перекачиваемой жидкости несколькими насосами в общий напорный трубопровод (коллектор) (рис. 5.5).

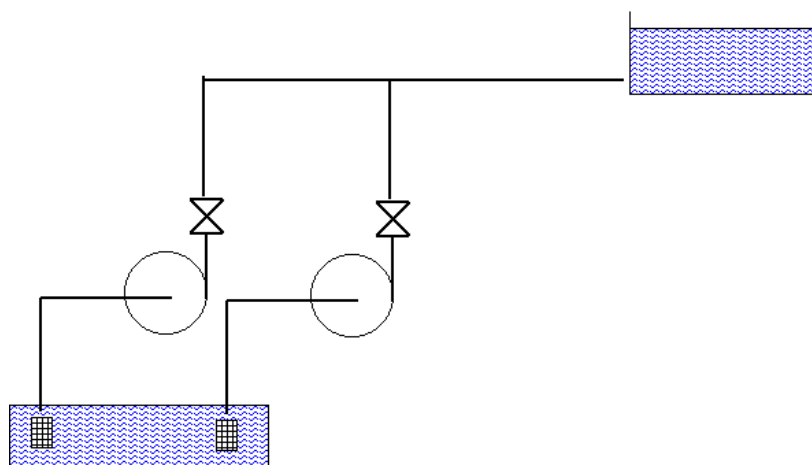


Рис. 5.5. Параллельное соединение насосов

Необходимость в параллельной работе нескольких одинаковых или разных насосов возникает в тех случаях, когда невозможно обеспечить требуемый расход воды подачей одного насоса. Кроме того, поскольку водопотребление может быть неравномерно из-за выхода из строя гидромонитора и неготовности резервного или иной производственной необходимости, подачу воды на насосной станции можно регулировать числом одновременно работающих насосов.

Для параллельной работы следует подбирать насосы однотипные с равными или незначительно отличающимися напорами и подачей.

Насосы подключаются к общему трубопроводу на близком расстоянии друг от друга.

При параллельном соединении каждый из насосов создаёт одинаковый напор H_1 и H_2 , у параллельно соединённых насосов суммарный напор не изменится $\Sigma H = H_1 = H_2$.

Каждый из насосов подаёт определённое количество жидкости Q_1 и Q_2 . Для потребителя расход насосной установки будет складываться из расходов насосов. Таким образом, получим $\Sigma Q = Q_1 + Q_2$.

Последовательной называется работа насосов, при которой один насос (I ступень) подает перекачиваемую жидкость во всасывающий трубопровод другого насоса (II ступень), а последний подаёт её в напорный водовод (рис. 5.6).

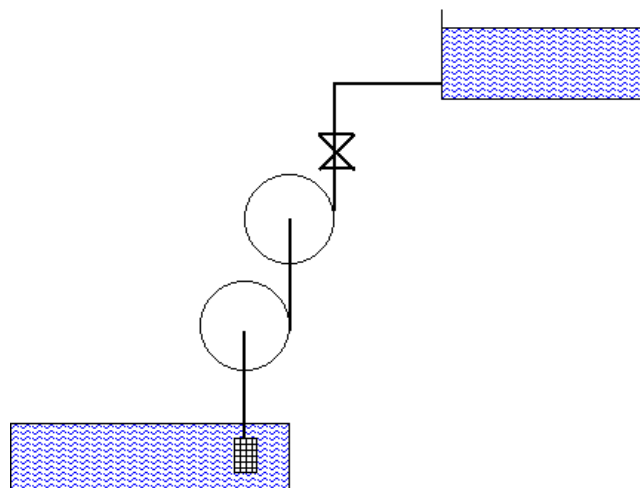


Рис. 5.6. Последовательное соединение насосов

В условиях проектирования и строительства насосных станций последовательную работу насосов применяют в тех случаях, когда жидкость подаётся по трубам на очень большие расстояния или на большую высоту. Последовательное соединение применяют и в тех случаях, когда необходимо при постоянном (или почти постоянном) расходе увеличить напор, что невозможно сделать одним насосом.

При последовательном соединении насосов вода последовательно проходит все насосы. При этом каждый насос добавляет воде какое-то количество энергии (напора). Суммарный напор насосной установки будет складываться из напоров, создаваемых насосами $\Sigma H = H_1 + H_2$.

Суммарный расход не меняется $\Sigma Q = Q_1 = Q_2$.

Если гидротранспортная установка одноступенчатая, то перекачивающая насосная станция располагается в забое. Если гидротранспортная установка имеет две ступени, то перекачивающую насосную станцию целесообразно располагать в зоне перекачивающей землесосной станции. Причём последовательно работающие насосы соединяются без разрыва сплошности потока (без промежуточных зумпфов).

Головные и перекачивающие насосные станции помимо рабочих имеют резервные насосы – по одному на каждый рабочий насос или на пару рабочих.

В современной практике горных работ применяют трубопроводы диаметром от 0,1 до 1,2 м.

Водоводы подразделяются на *магистральные*, проложенные от насосной станции до карьера; *разводящие* (участковые), подающие воду от магистрального на отдельные участки карьера; *забойные*, расположенные на рабочих площадках уступа, подающие воду непосредственно к гидромониторам.

Расчёт водопроводной сети гидроустановки осуществляется с целью подбора насоса с необходимым напором и расходом воды. Расчёты выполняются для всех характерных участков водопроводной сети.

Диаметры водопроводных линий должны выбираться по заданным расходам воды с учётом экономических факторов. Трубопроводы малых диаметров дешевле по стоимости и монтажу, но при равном расходе воды потери напора в них больше, чем в трубопроводах большого диаметра. Это ведёт к увеличению мощности насосных агрегатов, увеличению их стоимости и эксплуатационных расходов.

5.4. Пример расчёта

Исходные данные:

1. Геодезическая высота подъёма воды – $H_r = -30$ м;
2. Длина магистрального водовода – $L_m = 3000$ м;
3. Длина разводящего (забойного) водовода – $L_z = 300$ м.

1. По установленной (в работе № 3) производительности гидрокомплекса по воде

$$Q_r = \frac{WqK_3}{N_d n_{cm} t K_B}, \quad Q_r = 8912 \text{ м}^3/\text{ч}$$

по каталогу оборудования выбираем насос ЦН 3000/197, его параметры: подача – $Q_B^T = 3000 \text{ м}^3/\text{ч}$; напор – $H_{нас} = 197$ м вод. ст.

Учитывая возможность параллельной работы насосов, определяем количество насосов (по производительности):

$$N = \frac{Q_r}{Q_B^T} = \frac{8912}{3000} \approx 3 \text{ ед.}$$

Принимаем 3 ед. рабочих насосов и 1 ед. резервный насос.

2. Диаметр магистрального водовода определяется по формуле

$$D_m = 0,0188 \sqrt{\frac{Q_r}{n_m V_p}}, \text{ м,}$$

где $Q_r = 8912 \text{ м}^3/\text{ч}$; n_m – количество трубопроводов, ед.; V_p – расчётная скорость движения воды, принимаем $V_p \approx 2\text{--}2,5 \text{ м/с}$.

Количество трубопроводов и их диаметр определяются методом перебора.

2.1. Принимаем количество ниток магистрального водовода $n_m = 1$, тогда диаметр магистрального водовода будет равен

$$D_m = 0,0188 \cdot \sqrt{\frac{8912}{1 \cdot 2,5}} = 1,12 \text{ м.}$$

При максимальных значениях рекомендуемой скорости движения воды $V_p = 2,5 \text{ м/с}$ диаметр водовода превышает 1 м. При одной нитке магистрального водовода принимаем водовод диаметром 1200 мм.

2.2. Принимаем количество ниток магистрального водовода $n_m = 2$, тогда диаметр магистрального водовода будет равен

$$D_m = 0,0188 \cdot \sqrt{\frac{8912}{2 \cdot 2,5}} = 0,79 \text{ м.}$$

При двух нитках магистрального водовода можно принять два водовода диаметром 800 мм.

2.3. Принимаем количество ниток магистрального водовода $n_m = 3$, тогда диаметр магистрального водовода будет равен

$$D_m = 0,0188 \cdot \sqrt{\frac{8912}{3 \cdot 2,5}} = 0,65 \text{ м.}$$

При трёх нитках магистрального водовода можно принять три водовода диаметром 700 мм.

Учитывая, что в лабораторной работе № 3 принято 4 гидромонитора, а в данной работе 3 насоса, окончательно по справочнику [2] принимает одну нитку магистрального водовода разме-

ром 1220×10 (наружный диаметр × толщина стенки трубы), при этом скорость воды в трубопроводе будет меньше 2,5 м/с.

3. Принимаем диаметр разводящего (забойного) водовода (D_p) 500 мм. Можно принять 400 мм, 300 мм и даже 250 мм при «малых» расходах. Принимаем 2 нитки разводящего водовода ($n_p = 2$ ед.), учитывая, что в лабораторной работе № 3 принято 4 гидромонитора.

На рис. 5.7 приводим схему к расчёту водоводов.



Рис. 5.7. Схему к расчёту водоводов

Расход воды по участкам трубопровода составит

– магистральный водовод $Q_{\Gamma} = 8912 \text{ м}^3/\text{ч}$;

– разводящие (забойные) водоводы

$$Q_{\Gamma p1} = Q_{\Gamma p2} = Q_{\Gamma} / n_p = 8912 / 2 = 4456 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

4. Определяем необходимый напор насосной станции

$$H_{\text{нс}} = [1,1(i_{\text{ом}}L_{\text{м}} + i_{\text{ор}}L_{\text{р}}) + H + H_{\Gamma} + h_{\text{в}} + H_{\text{гм}}],$$

где i_0 – удельные потери напора в магистральном и разводящем водоводе; H_{Γ} – геодезическая высота подъёма воды, м; $L_{\text{м}}$ – длина магистрального водовода, м; $L_{\text{р}}$ – суммарная длина разводящего и забойного водовода, м; H – напор на насадке гидромонитора; H_{Γ} – геодезическая высота подъёма гидросмеси; $h_{\text{в}}$ – потери напора при всасывании; $H_{\text{гм}}$ – потери напора в гидромониторе.

4.1. Удельные потери напора в водоводе определяются по формуле

$$i_0 = \lambda_0 \cdot \frac{\lambda_0}{2 g D}, \text{ м вод. ст./м,}$$

где V – фактическая скорость движения воды в водоводе, м/с;
 λ_0 – коэффициент гидравлического сопротивления, который для ориентировочных расчётов принимаем по табл. 5.2.

Таблица 5.2

Коэффициенты гидравлического сопротивления

$D_{\text{мр}}, \text{ м}$	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6
λ_0	0,0165	0,0160	0,0155	0,0152	0,0148	0,0143
$D_{\text{мр}}, \text{ м}$	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	
λ_0	0,0138	0,0134	0,0130	0,0126	0,0126	

Для магистрального водовода диаметром 1200 мм (внутренний диаметр) коэффициент гидравлического сопротивления $\lambda_0 = 0,0126$.

Для разводящего (забойного) водовода диаметром 500 мм коэффициент гидравлического сопротивления $\lambda_0 = 0,0148$.

4.2. Фактическая скорость движения воды определяется по формуле

$$V_{\text{м}} = \frac{4 Q_{\Gamma}}{3600 n_{\text{м}} \pi D^2} - \text{для магистрального водовода.}$$

$$V_{\text{р}} = \frac{4 Q_{\Gamma}}{3600 n_{\text{р}} \pi D^2} - \text{для разводящего (забойного) водовода.}$$

Определим величину скорости движения воды (фактическую):

– в магистральном водоводе:

$$V_{\text{м}} = \frac{4 \cdot 8912}{3600 \cdot 1 \cdot 3,14 \cdot 1,2^2} = 2,2 \text{ м/с.}$$

– в разводящем водоводе:

$$V_p = \frac{4 \cdot 8912}{3600 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5^2} = 6,3 \text{ м/с.}$$

После окончательного выбора насосов и их схемы соединения диаметр разводящего (забойного) водовода может измениться.

4.3. Определяем величину удельных потерь напора:

– в магистральном водоводе:

$$i_{\text{ом}} = 0,0126 \cdot \frac{2,2^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 1,2} = 0,0026 \text{ м вод. ст./м;}$$

– в разводящем водоводе:

$$i_{\text{ор}} = 0,0148 \cdot \frac{6,3^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,5} = 0,06 \text{ м вод. ст./м.}$$

4.4. Определяем необходимый напор насосной станции:

$$H_{\text{нс}} = [1,1(i_{\text{ом}}L_{\text{м}} + i_{\text{ор}}L_{\text{р}}) + H + H_{\text{г}} + h_{\text{в}} + H_{\text{гм}}],$$

где H – напор на насадке гидромонитора (см. лабораторную работу № 3); $H_{\text{г}}$ – геодезическая высота подъёма гидросмеси, согласно заданию $H_{\text{г}} = -30$ м; $h_{\text{в}}$ – потери напора при всасывании, $h_{\text{в}} = 6$ м; $H_{\text{гм}}$ – потери напора в гидромониторе, $H_{\text{гм}} = 15,2$ м вод. ст. (определяется в работе № 3).

$$\begin{aligned} H_{\text{нс}} &= [1,1 \cdot (0,0026 \cdot 3000 + 0,06 \cdot 300) + 180 - 30 + 6 + 15,2] = \\ &= 199,58 \approx 200 \text{ м вод. ст.} \end{aligned}$$

5. Определяем количество насосов (по напору):

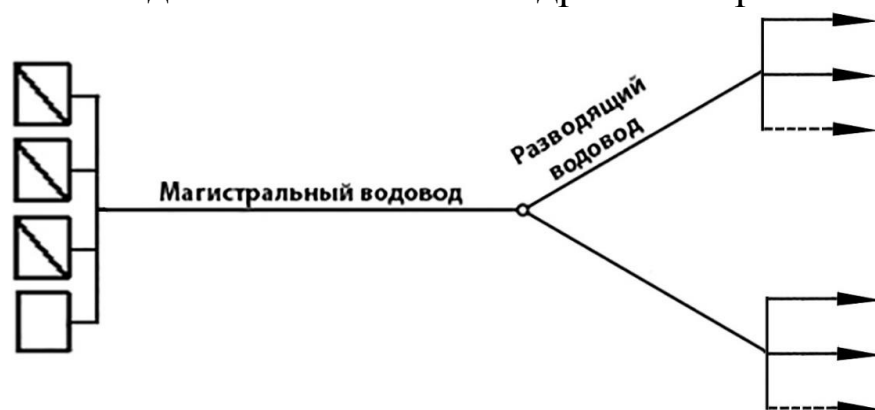
$$N' = \frac{H_{\text{нс}}}{H^*} = \frac{200}{197} = 1,015 \text{ ед.}$$

Учитывая напор на насадке гидромонитора 180 м вод. ст., считаем напор насоса ЦН-3000/197 достаточным.

При недостаточности напора выбранного насоса необходимо подобрать другой насос и провести расчёт заново или выбрать ещё дополнительный насос, соединённый последовательно с основным на магистральном водоводе или на разводящих водоводах с напором

$$H^* = H_{\text{нс}} - H_{\text{нас}}, \text{ м вод. ст.}$$

6. Схема соединения насосов и гидромониторов.



Зона гидроотвала
(водохранилища)

Зона перекачи-
вающей станции

Забойная зона

Условные обозначения:

	водяной насос ЦН 3000/197		резервный гидромонитор
	резервный водяной насос ЦН 3000/197		водовод
	рабочий гидромонитор		

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое геодезическая высота подъёма воды?
2. От чего зависит необходимый напор насосной станции?
3. Как подразделяются водоводы на карьерах?
4. Как определяются потери напора для водоводов?
5. Как подбираются насосы на водозаборной станции?
6. Что обязана обеспечить система водоснабжения при подаче воды к гидромониторам?
7. Назовите основные источники для накопления воды в гидроотвале.
8. Назовите основное назначение насосных агрегатов системы водоснабжения.
9. Какая допускается концентрация содержания по массе твёрдых включений (%) и их размер (мм) в воде, которая подаётся к гидромониторам?
10. Что означают буквенный индекс и цифры в обозначение насоса?
11. Дайте определения понятиям «параллельная работа насосов», «последовательная работа насосов».

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Тема: Выбор грунтовых насосов для системы гидротранспорта гидромониторно-землесосного комплекса

Цель лабораторной работы: расчёт параметров гидротранспорта и выбор грунтовых насосов.

6.1. Общие сведения

Гидравлическим транспортом называется процесс переноса различных, сравнительно мелких материалов потоком жидкости по искусственным руслам: канавам, лоткам и трубам. Транспортируемым материалом чаще всего являются различные грунты, дроблёные горные породы, полезные ископаемые, отходы металлургических, химических и других заводов, тепловых электростанций, а транспортирующей средой – вода.

При гидромониторной разработке в общем случае имеет место сочетание самотечного и напорного гидротранспорта: самотёчный – в пределах забоя от зоны размыва до пульповодной канавы и до зумпфа землесосной станции; напорный – от землесосной станции до гидроотвала.

Течение жидкости по трубам может быть ламинарным и турбулентным.

При *ламинарном течении* движение жидкости происходит параллельными несмешивающимися струями. Струи жидкости, находящиеся на разном расстоянии от оси трубы, движутся с различными скоростями, причём максимальную скорость имеет осевая струя.

Турбулентное течение представляет собой беспорядочное перемещение в потоке вихрей, совершающих поступательное и вращательное движение.

Длительное перемещение водой тяжёлых частиц во взвешенном состоянии возможно только в турбулентных потоках гидросмеси.

Твёрдые частицы, проносимые напорным или безнапорным потоком воды, при снижении скорости движения начинают оседать на дно потока. Средняя скорость потока гидросмеси, соот-

ветствующая началу осаждения твёрдых частиц на дно, называется *критической скоростью*. Величина критической скорости для определённых трубопроводов, типов грунта и консистенции гидросмеси имеет большое значение, так как при скоростях ниже критической возможно частичное или полное заиливание трубопровода.

В зависимости от критической скорости возможные скорости при гидротранспорте подразделяют на три области: область скоростей выше критической, близких к критической и ниже критической. В области скоростей ($V > V_{кр}$) весь грунт транспортируется во взвешенном состоянии. При скоростях, близких к критической ($V \approx V_{кр}$), грунт в основном транспортируется во взвешенном состоянии, но большое количество твёрдых частиц передвигается вблизи дна, причём на дне может лежать тонкий слой грунта, периодически смываемый потоком. При гидротранспорте в производственных условиях поддерживать постоянно критическое значение скорости довольно сложно.

При дальнейшем уменьшении критической скорости движения гидросмеси ($V < V_{кр}$) на дне потока будет находиться постоянный слой заиливания. Структура потока гидросмеси при критической скорости характеризуется тем, что поток предельно насыщен возле нижней его границы и всякое новое количество грунта, введённое в поток, осядет на дно. Многочисленными исследованиями установлено, что режим движения гидросмеси с критической скоростью соответствует минимальным гидравлическим сопротивлениям и наименьшим удельным затратам энергии на гидротранспорт.

Целью расчётов гидротранспорта является определение критических скоростей $V_{кр}$ и удельных потерь напора $i_{г}$.

Удельными называют потери напора на преодоление линейных гидравлических сопротивлений, отнесённые к 1 м длины трубопровода.

Значения основных параметров гидротранспорта зависят в первую очередь от физико-механических свойств гидросмеси, которые определяются характеристиками её жидкой и твёрдой составляющих.

Твёрдая составляющая характеризуется следующими основными свойствами: плотностью ρ_T , пористостью m и крупностью.

Крупность твёрдого материала может характеризоваться гранулометрическим составом или гидравлической крупностью.

Одной из характеристик гранулометрического состава является средневзвешенный диаметр частиц $d_{ср}$.

Основной характеристикой гидросмеси является её насыщенность твёрдым материалом. В количественном отношении степень насыщенности гидросмеси твёрдым выражается её *плотностью* или *концентрацией*.

Плотность гидросмеси ρ_r (кг/м³) рассчитывается по формуле

$$\rho_r = \frac{\rho_0 q + \rho_T (1 - m)}{q + (1 - m)},$$

где q – удельный расход воды на гидротранспорт, м³/м³; ρ_0 – плотность воды, кг/м³; ρ_T – плотность твёрдых частиц, кг/м³.

Концентрация твёрдого в гидросмеси представляет собой отношение объёма или массы твёрдого материала к объёму или массе гидросмеси. Связь между плотностью и объёмной концентрацией (S) твёрдого в гидросмеси выражается зависимостью:

$$S = \frac{(\rho_r - \rho_0)}{(\rho_T - \rho_0)}.$$

Из анализа многочисленных методик и расчётных формул для определения основных параметров гидротранспортирования (критической скорости и удельных линейных потерь напора) следует, что в них по-разному оценивается влияние концентрации твёрдого в гидросмеси, диаметра трубопровода, геометрической или гидравлической крупности твёрдых частиц. Ни одна из существующих методик расчёта гидротранспорта не является универсальной.

Выбор типа и количества грунтовых насосов производится по необходимой подаче (Q) и необходимому напору (H).

Если невозможно выбрать один насос, удовлетворяющий необходимым параметрам, то применяют последовательную и параллельную их работу на общую внешнюю сеть. Кроме того, нужно иметь в виду, что область промышленного использования

грунтовых насосов формируется за счёт обточки рабочего колеса. Поэтому для последовательной работы могут быть приняты насосы с рабочими колёсами различного диаметра – нормальным и уменьшенным (обточенным). В табл. 6.1 приведены основные параметры грунтовых насосов и землесосов, наиболее часто применяемые на карьерах. Общий вид землесосных агрегатов ЗГМ-2М и ГР4000/71 показан на рис. 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1

Основные параметры грунтовых насосов и землесосов

Типоразмер насоса	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения мин ⁻¹	КПД, %	Допустимый кавитационный запас, м	Мощность электродвигателя кВт	Размер проходного сечения, мм
ЗГМ-2М	1900	58	750	72	—	630	180
Гру 2000/63	2000	63	600	68	5,3	800	180
ГрТ 4000/71	4000	71	500	73	5,0	1600	230
12У6	900	175	1500	60	5,9	1000	100
14У7	1400	175	1500	67	—	1250	100
Гр 800/40	800	40	725	65	6	170	115



Рис. 6.1. Общий вид землесосного агрегата ЗГМ-2М



Рис. 6.1. Общий вид землесосного агрегата ГР4000/71

Основным оборудованием систем гидротранспортирования гидромониторно-землесосных комплексов являются трубопроводы для перемещения гидросмеси вскрышных пород на гидроотвал (пульповоды) и грунтовые насосы. Их количество определяется необходимой производительностью гидрокомплекса по твёрдому. При этом возможно различное соединение грунтовых насосов (землесосов): параллельное (для увеличения производительности) и последовательное (для увеличения расстояния транспортирования и геодезической высоты подъёма гидросмеси).

При последовательной работе грунтовых насосов они могут располагаться на одной землесосной станции или быть рассредоточенными по трассе трубопроводов. Причём рассредоточение может быть выполнено без разрыва сплошности потока гидросмеси (соединение нагнетательного трубопровода головного грунтового насоса непосредственно с всасывающим патрубком перекачивающего) или с её разрывом с использованием промежуточного зумпфа.

Размещение последовательно соединённых грунтовых насосов на одной землесосной станции упрощает их обслуживание. Однако практически все современные отечественные грунтовые насосы имеют ограничение по давлению на входе, поэтому такое

расположение грунтовых насосов имеет очень ограниченную область применения.

Работа рассредоточенных по трассе трубопроводов грунтовых насосов без разрыва сплошности потока гидросмеси характеризуется жёсткой взаимозависимостью последовательно соединённых насосных агрегатов, что усложняет обслуживание установки. Использование промежуточного зумпфа уменьшает эту взаимозависимость и упрощает процесс обслуживания. Поэтому на разрезах Кузбасса все многоступенчатые установки работают с промежуточными зумпфами.

На один грунтовый насос в забое могут работать два, параллельно соединённых, расположенных на перекачивающей землесосной станции грунтовых насоса, и наоборот.

Известно, что использование перекачивающих землесосных станций значительно увеличивает затраты на разработку вскрыши гидравлическим способом.

Для горнотехнических условий конкретного разреза сначала выбирается структура системы гидротранспортирования, для которой подбираются приемлемые варианты системы водоснабжения. Приняты следующие ограничения:

- на один трубопровод работает один или два грунтовых насоса (землесоса), соединённых параллельно;
- при значительных расстояниях транспортирования гидросмеси и (или) большой геодезической высоте её подъёма последовательное соединение грунтовых насосов осуществляется с разрывом сплошности потока гидросмеси, т. е. перекачивающая землесосная станция оборудуется собственным зумпфом;
- количество перекачивающих землесосных станций технически не лимитируется, а ограничивается допустимой величиной затрат (себестоимости) на разработку 1 м³ вскрышных пород средствами гидромеханизации в сравнении с другими технологиями её разработки;
- система резервирования: на один и на два работающих для обеспечения требуемой производительности гидромонитора, для водяных и грунтовых насосов в резерве должен находиться еще один насос (землесос);
- для увеличения производительности гидрокомплекса разреза количество потоков (пульповодов) кратно увеличивается.

6.2. Пример расчёта

Исходные данные:

1. Транспортируемый материал – суглинки средние и тяжёлые, крупность частиц (d) до 0,12 мм.
2. Удельный расход воды – q (см. лабораторную работу № 3).
3. Пористость породы – $m = 0,4$.
4. Плотность породы – $\rho_T = 2100 \text{ кг/м}^3$.
5. Геодезическая высота подъёма гидросмеси – $Z = 40 \text{ м}$.
6. Высота всасывания грунтового насоса – $H_{\text{вс}} = 2 \text{ м}$.
7. Расстояние гидротранспортирования – $L_M = 3000 \text{ м}$.
8. Годовая производительность гидроучастка – $W = 5,0 \text{ млн м}^3$.
9. Число рабочих дней за сезон – $N_d = 180 \text{ дней}$.
10. Число смен в сутки – $n = 3$.
11. Время смены – $t = 8 \text{ часов}$.

Расчёт проводим по методике Кнороза В. С. (крупность до 0,15 мм; $T : Ж < 1:7$).

1. Определяем часовую производительность гидротранспортной установки по гидросмеси:

$$Q_{\Gamma} = Q_T (1 - m + q) = \frac{W(1 - m + q)}{N_d n t K_B},$$

где K_B – коэффициент использования гидроустановок во времени, $K_B = 0,85$; Q_T – часовая производительность гидромониторной установки по грунту (по «твёрдому»), $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$Q_{\Gamma} = \frac{5000000 \cdot (1 - 0,4 + 5,6)}{180 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 0,85} = 8442 \text{ м}^3/\text{ч} \approx 8500 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

2. Выбираем грунтовые насосы (землесосы) по производительности.

По табл. 6.1 принимаем два землесоса Гр4000/71 (две нитки трубопровода-пульповода) и один землесос Гр800/40 (одна нитка трубопровода-пульповода). Производительность трех грунтовых насосов равна $4000 + 4000 + 800 = 8800 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для примера ограничимся выбором диаметра пульповода только для землесоса

Гр4000-71 $Q_r = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для других землесосов расчёт необходимо выполнить самостоятельно.

3. Плотность гидросмеси определяем по формуле

$$\rho_r = \frac{\rho_0 q + \rho_r(1 - m)}{q + (1 - m)} \text{ кг/м}^3,$$

где ρ_0 – плотность воды, $\rho_r = 1000 \text{ кг/м}^3$; q – удельный расход воды, $\text{м}^3/\text{м}^3$ (см. лабораторную работу №3); ρ_r – плотность породы, кг/м^3 (см. исходные данные); m – пористость породы (см. исходные данные).

$$\rho_r = \frac{1000 \cdot 5,6 + 2100 \cdot (1 - 0,4)}{5,6 + (1 - 0,4)} = 1106 \text{ кг/м}^3.$$

4. Массовую консистенцию гидросмеси определяем по формуле

$$P = \frac{\rho_r - \rho_0}{\rho_r - \rho_r} \cdot \frac{\rho_r}{\rho_0} \cdot 100 \%.$$

$$P = \frac{1106 - 1000}{2100 - 1106} \cdot \frac{2100}{1000} \cdot 100 \% = 22,39 \%.$$

5. Рассчитываем величину критической скорости.

Транспортируемый материал имеет крупность частиц $d = 0,12 \text{ мм}$, что меньше $0,15 \text{ мм}$. Консистенцию пульпы принимает по удельному расходу воды (q), т. е. $T : Ж = 1:5,6$.

Величину критической скорости определяем по методике Кнороза В. С. Этот метод расчёта гидротранспорта применяют при транспортировании крупнозернистых ($0,15 \text{ мм} < d < 1,5 \text{ мм}$), мелкозернистых ($0,07 \text{ мм} < d < 0,15 \text{ мм}$), пылеватых частиц и отходов обоганительных фабрик ($d \leq 0,07 \text{ мм}$). Для мелкозернистых ($0,07 \text{ мм} < d < 0,15 \text{ мм}$) частиц критическая скорость гидросмеси определяется по формуле

$$V_{кр} = 0,255 (1 + 2,48 \sqrt[3]{P} \sqrt[4]{D}), \text{ м/с},$$

где D – внутренний диаметр пульповода, м.

Для $Q_r = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$ принимаем по справочнику [2] трубу $720 \times 8 \text{ мм}$ (наружный диаметр $\times$ толщина стенки трубы, мм) и рассчитываем величину критической скорости.

По расчётному диаметру выбирают трубы по стандарту, принимая толщину стенки в пределах $8 \div 14 \text{ мм}$. В гидротранспортных установках используют трубы стальные горячедеформированные бесшовные (ГОСТ 8732-78) или трубы стальные электросварные прямошовные (ГОСТ 10704-76).

$$V_{кр} = 0,255 \cdot (1 + 2,48 \cdot \sqrt[3]{22,39} \cdot \sqrt[4]{0,7}) = 1,89 \text{ м/с}.$$

6. Определяем величину действительной (фактической) скорости движения гидросмеси в трубопроводе по формуле

$$V_d = \frac{4Q_r}{3600 \pi D^2}, \text{ м/с}.$$

$$V_d = \frac{4 \cdot 4000}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,7^2} = 2,89 \text{ м/с}.$$

7. Сравниваем критическую ($V_{кр}$) и фактическую (V_d) скорости движения гидросмеси.

Диаметр трубопровода выбирается из условия, что $V_d = 1,05 \div 1,2 V_{кр}$. Если это условие соблюдается, то окончательно принимают выбранный стандартный трубопровод. Если это условие не выполняется, то принимают ближайший меньший (если $V_d < 1,05 V_{кр}$) или ближайший больший (если $V_d > 1,2$) стандартный диаметр трубопровода и расчёты по определению $V_{кр}$ и V_d повторяются до тех пор, пока условие $V_d = 1,05 \div 1,2 V_{кр}$ не будет выполнено.

$V_d / V_{кр} = 2,89 / 1,89 = 1,53$, условие не выполняется – при применении трубы диаметром 720 мм фактическая скорость превышает критическую примерно в 1,5 раза.

8. Производим повторный расчёт величины критической скорости при большем диаметре пульповода – $820 \times 8 \text{ мм}$ [2].

$$V_{кр} = 0,255 \cdot (1 + 2,48 \cdot \sqrt[3]{22,39} \cdot \sqrt[4]{0,8}) = 1,94 \text{ м/с}.$$

9. Производим повторный расчёт величины действительной (фактической) скорости движения гидросмеси.

$$V_d = \frac{4 \cdot 4000}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,8^2} = 2,21 \text{ м/с.}$$

10. Сравниваем критическую ($V_{кр}$) и фактическую (V_d) скорости движения гидросмеси при диаметре пульповода 820×8 мм.

$V_d/V_{кр} = 2,21/1,94 = 1,14$, условие выполняется – при применении трубы диаметром 820 мм фактическая скорость превышает критическую в 1,14 раза.

11. Определяем величину удельных линейных потерь напора по формуле

$$i_\Gamma = i_0 = \lambda_0 \frac{V_d^2}{2 g D}, \text{ м/м,}$$

где V_d – фактическая скорость движения воды в водоводе, м/с; λ_0 – коэффициент гидравлического сопротивления (см. табл. 5.2 в лабораторной работе № 5), для труб диаметром 0,8 м $\lambda_0 = 0,0134$.

$$i_\Gamma = \frac{0,0134 \times 2,21^2}{2 \times 9,81 \times 0,8} = 0,0042 \text{ м/м.}$$

12. Необходимый напор землесоса определяется по формуле

$$H_\Pi = h_\Pi + h_{вс} + h'_{вс} + h_l + h_m + h_{ос}, \text{ м.}$$

где h_Π – потери напора на подъём гидросмеси, которые определяются по формуле

$$h_\Pi = \frac{Z \rho_\Gamma}{\rho_0}, \text{ м,}$$

где Z – геодезическая высота подъёма гидросмеси, м.

$$h_\Pi = 40 \times 1106/1000 = 44,24 \text{ м.}$$

$h_{вс}$ – потери напора на подъём гидросмеси во всасе землесоса, которые определяются по формуле

$$h_{вс} = h_{вс} \frac{\rho_\Gamma}{\rho_0}, \text{ м,}$$

где $h_{\text{вс}}$ $H_{\text{вс}}$ – высота всасывания, согласно заданию $H_{\text{вс}} = 2$ м.

$$h_{\text{вс}} = 2 \times 1106/1000 = 2,21 \text{ м.}$$

$h'_{\text{вс}} \cong 2$ м – потери на трение во всасывающем патрубке землесоса.

h_l – потери напора при движении гидросмеси, которые определяются по формуле

$$h_l = i_{\Gamma} L_{\text{м}}, \text{ м,}$$

где $L_{\text{м}}$ – расстояние гидротранспортирования, м (см. задание).

$$h_l = 0,0042 \times 3000 = 12,6 \text{ м.}$$

$h_{\text{м}}$ – местные потери, которые определяются по формуле

$$h_{\text{м}} = (0,05 \div 0,10) h_l, \text{ м.}$$

$$h_{\text{м}} = (0,05 \div 0,10) h_l = 0,1 \times 12,6 = 1,26 \text{ м.}$$

$h_{\text{ос}}$ – остаточный напор на выпуск гидросмеси, принимается равным $3 \div 5$ м.

Рассчитываем необходимый напор землесоса.

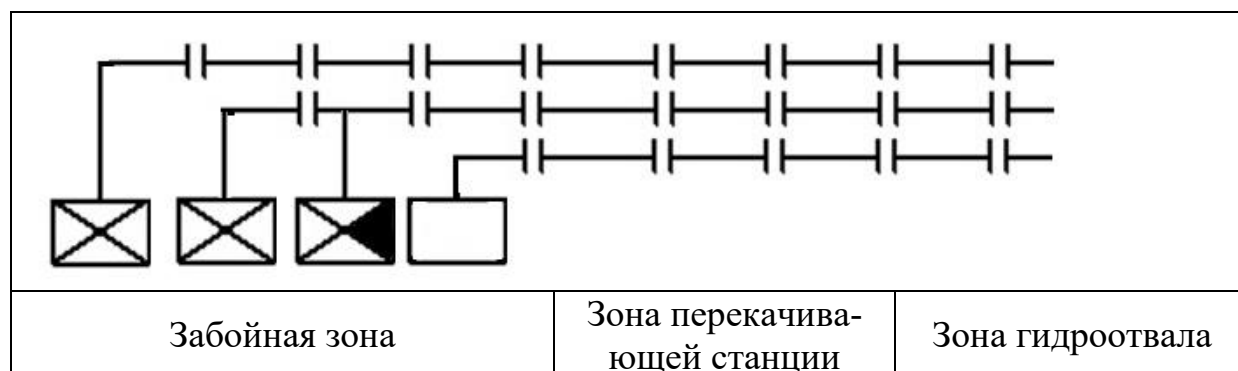
$$H_{\text{п}} = 44,24 + 2,21 + 2 + 12,6 + 1,26 + 3 = 65,31 \approx 65 \text{ м.}$$

Грунтовый насос, выбранный нами по производительности – Гр4000/71, имеет напор 71 м, что превышает необходимый напор землесоса $H_{\text{п}} = 65$ м. Одного грунтового насоса для обеспечения напора достаточно.

Для обеспечения часовой производительности гидротранспортной установки по гидросмеси в объёме $8500 \text{ м}^3/\text{ч}$ в п. 2 настоящей лабораторной работы были выбраны два землесоса Гр4000-71 (две нитки трубопровода-пульповода – по одной на каждый землесос) и один землесос Гр800/40 (одна нитка трубопровода-пульповода). Учитывая необходимый напор землесоса равный $H_{\text{п}} = 65$ м землесос Гр800/40 (подача $800 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор 40 м) не обеспечит требуемого напора, поэтому по справочнику [2] выбираем центробежный грунтовый насос ГРТ800/71 с подачей $800 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напором 71 м.

Для грунтового насоса ГРТ800/71 проводим выбор диаметра пульповода по вышеприведенной методике с учётом критической ($V_{кр}$) и фактической (V_d) скоростей движения гидросмеси.

13. Схема системы гидротранспорта:



Условные обозначения:

	землесос Гр4000/71		Пульповод
	землесос ГРТ800/71		резервный землесос Гр4000/71

Вопросы для самоконтроля

1. Какой процесс называется гидравлическим транспортом?
2. Чем отличаются ламинарное и турбулентное течение жидкости по трубам?
3. Дайте определение понятию «критическая скорость движения гидросмеси».
4. Что представляет собой концентрация твёрдого в гидросмеси?
5. Какие основные параметры гидротранспорта зависят от физико-механических свойств транспортируемой породы?
6. От чего зависит коэффициент линейных гидравлических сопротивлений при движении по пульповоду?
7. Какие параметры определяют необходимый напор насосной станции на этапе выбора оборудования?
8. Из какого соотношения скоростей движения гидросмеси производится выбор труб для пульповода?
9. Что означают цифры в обозначение землесоса?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Тема: Расчёт параметров гидроотвалов

Цель лабораторной работы: обосновать параметры гидроотвала.

7.1. Общие сведения

Заключительным процессом технологии разработки вскрышных пород гидромониторно-землесосными комплексами является укладка пород в гидроотвал – *гидроотвалообразование*.

Гидроотвал – гидротехническое сооружение, где происходит приём гидросмеси и её разделение – осаждение и укладка породы, а также осветление и накопление воды (рис. 7.1).

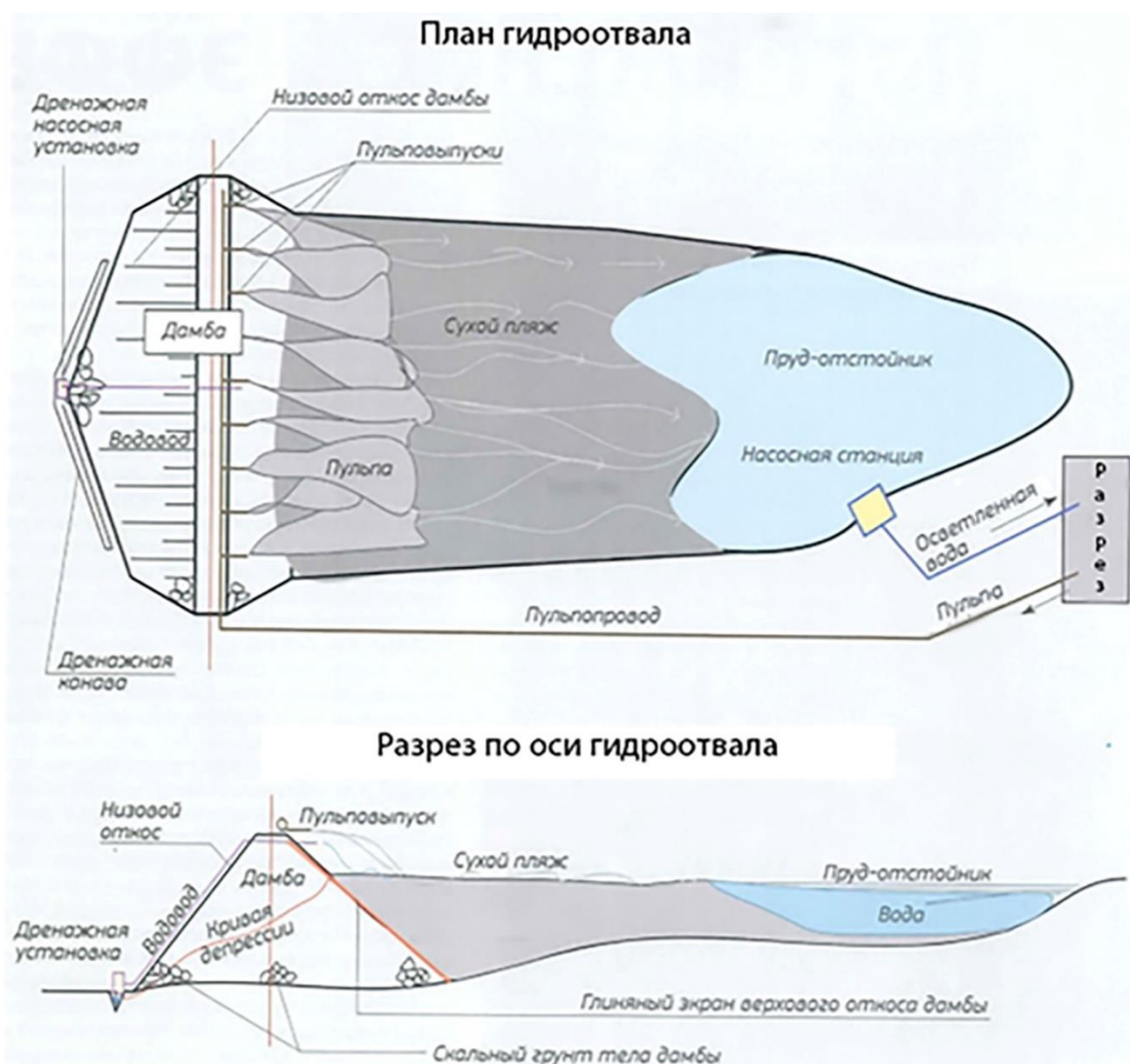


Рис. 7.1. Схема наливного (плотинного) гидроотвала

Гидроотвал следует считать построенным, когда создана начальная ёмкость (со сроком службы обычно до 5 лет), обеспечивающая укладку породы на определённый период работы, принятую интенсивность намыва (желательно не превышающую $3 \div 3,5$ м), освещение и кругооборот воды.

По месту расположения гидроотвал может устраиваться в естественных водоёмах, выработанных пространствах карьеров, котлованах, долинах, оврагах, на косогорах и равнинах (рис. 7.2).

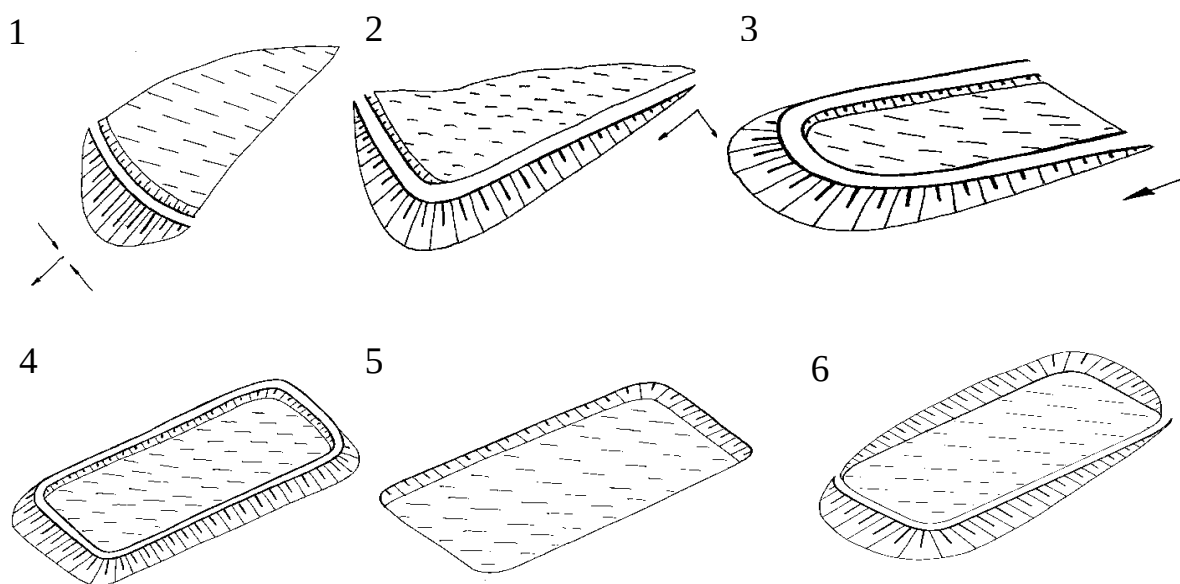


Рис. 7.2. Варианты размещения гидроотвала на местности:
1 – в овраге (трёхскатный склон); 2 – на двухскатном склоне;
3 – на односкатном склоне (косогоре); 4 – на ровной поверхности;
5 – в выработанном пространстве; 6 – комбинированный

В зависимости от высоты намыва гидроотвалы подразделяются на низкие (высотой до 10 м), средние (10–30 м) и высокие (более 30 м). Существуют гидроотвалы высотой 100 м и выше.

На рис. 7.3 приведены основные элементы гидроотвала типичного для разрезов Кузбасса, намыв которого осуществляется по многоярусной схеме.

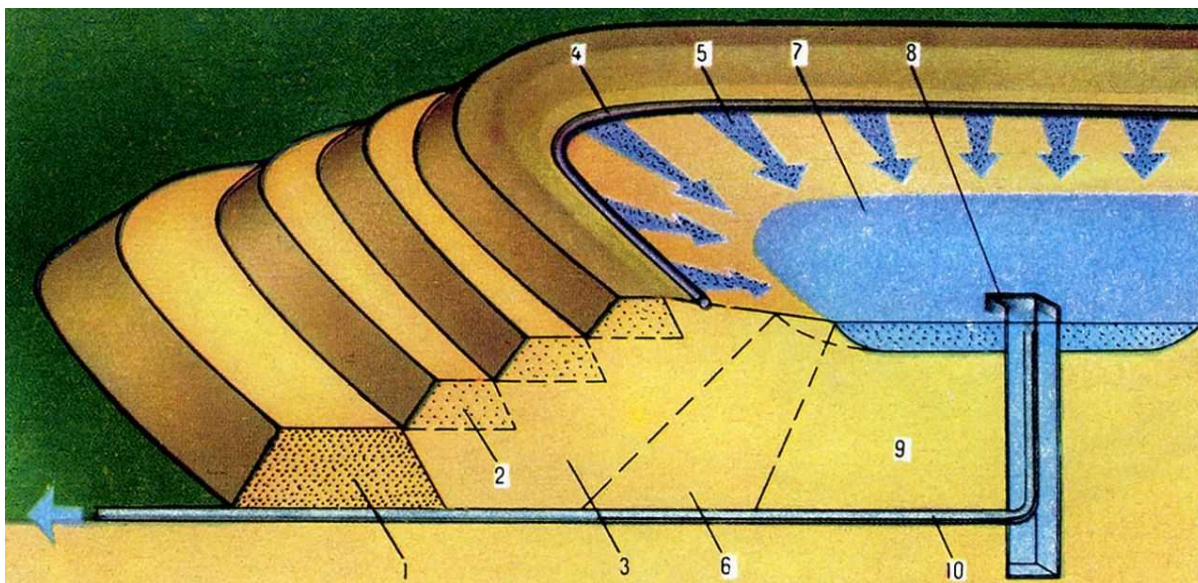


Рис. 7.3. Схема основных элементов намывного гидроотвала:

1 – первичная дамба обвалования (дамба начального обвалования); 2 – дамбы последующего (вторичного) обвалования, возводимые поярусно; 3 – упорная призма, состоящая из наиболее крупнозернистых фракций намываемого грунта; 4 – намывной пульповод на эстакаде; 5 – пляж (поверхность между дамбой обвалования и прудком); 6 – промежуточная зона; 7 – прудок (прудок-отстойник), обеспечивающий осветление гидросмеси; 8 – водосбросный (водозаборный) колодец; 9 – ядро (центральная зона); 10 – водосбросная труба

По степени ответственности гидроотвалы делятся на классы: особо ответственные (I), ответственные (II) и малоответственные (III) (табл. 7.1).

Каждый класс гидроотвала включает группы А и Б. Гидроотвалы группы А располагаются на косогоре и имеют достаточно надежное основание. При них имеется водохранилище. Гидроотвалы группы Б располагаются на равнинной местности. При них отсутствует водохранилище. Основание их недостаточно надежное.

Для гидроотвалов, расположенных в замкнутых котлованах и в выработанном пространстве карьеров, степень ответственности следует снижать на единицу. К районам с неблагоприятными гидрометеорологическими условиями относятся районы, где годовое выпадение осадков превышает 600 мм, а годовой сток с 1 км² более 10 л/с.

Таблица 7.1

Классы ответственности гидроотвалов

Высота гидроотвала, м	Местность	Класс капитальности гидроотвала			
		Благоприятные метеорологические условия и равнинный рельеф местности при интенсивности намыва в месяц, м		Неблагоприятные гидрометеорологические условия и пересечённый рельеф местности при интенсивности намыва в месяц, м	
		<2	>2	<2	>2
> 30	не заселённая и заселённая	I	I	I	I
10–30	заселённая	I	I	I	I
	не заселённая	II	I	II	I
< 10	заселённая	III	II	II	II
	не заселённая	III	III	III	III

По приёмной способности гидроотвалы делятся на четыре категории (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Категория гидроотвала по приёмной способности

Категория гидроотвала	I	II	III	IV
Приёмная способность гидроотвала, млн м ³ /год	свыше 5	2–5	1–2	до 1

Гидроотвалы в зависимости от пород, из которых возводятся ограждающие дамбы, гранулометрического состава и плотности пород, укладываемых в гидроотвал, подразделяются на три типа.

К *первому типу* относятся гидроотвалы, которые заполняются пылевато-глинистыми и илистыми породами (крупность частиц менее 0,05 мм), а ограждающие их дамбы возводятся из привозных пород.

Ко *второму типу* относятся гидроотвалы, которые заполняются преимущественно песчаными и песчано-глинистыми породами, содержащими более 40 % частиц крупнее 0,05 мм, а ограждающие их дамбы возводятся из намытых пород.

К *третьему типу* относятся гидроотвалы, которые заполняются преимущественно песчано-глинистыми и глинистыми породами, в которых преобладают пылеватые фракции, и ограждающие их дамбы возводятся из намытых и привозных пород.

Третий тип гидроотвалов широко распространён на открытых разработках вскрышных пород угольных разрезов, карьеров по добыче руды, строительных горных пород и горно-химического сырья.

Подготовка площади под гидроотвал включает снятие растительного слоя, вырубку леса и т. д. Корчёвка пней, удаление кустарника и планировка поверхности на площади освоения не производится.

Производится строительство водосборных колодцев и укладка водосбросных труб для отвода осветленной воды. В случае необходимости строятся водосборные сооружения для сброса ливневых и паводковых вод.

Для обеспечения электроэнергией оборудования и механизмов, а также для освещения территории гидроотвала, строятся линии электропередач.

Производится монтаж магистральных и разводящих пульповодов, а также устанавливается телефонная или радиосвязь между участком работы в карьере, гидроотвалом и диспетчером.

Укладка грунта в гидроотвал осуществляется только после подготовки основания, отсыпки дамб первичного обвалования и строительства водосборочной системы.

Осветлённая в пруде-отстойнике вода отводится за пределы гидроотвала самотёком через водосбросные колодцы, траншеи, либо откачивается плавучей насосной станцией. Способ отвода осветлённой воды в каждом конкретном случае решается в увязке с проектом производственного водоснабжения.

При осветлении воды в гидроотвале стремятся исключить попадание в водяной насос песчаных частиц, вызывающих абразивный износ рабочего колеса и насадок гидромонитора.

В табл. 7.3 приведена наиболее распространённая классификация грунтов по гранулометрическому составу, в которой учитываются четыре основные фракции, входящие в состав большинства грунтов.

Таблица 7.3

Классификация грунтов по гранулометрическому составу

Наименование грунтов	Размер частиц, мм
гравийная	крупнее 2
песчаная	от 2 до 0,05
пылеватая	от 0,05 до 0,005
глинистая	менее 0,005

К распространённым конструкциям водосбросных колодцев относятся шандорные деревянные, металлические и с центральной металлической трубой из патрубков и др. (рис. 7.4).

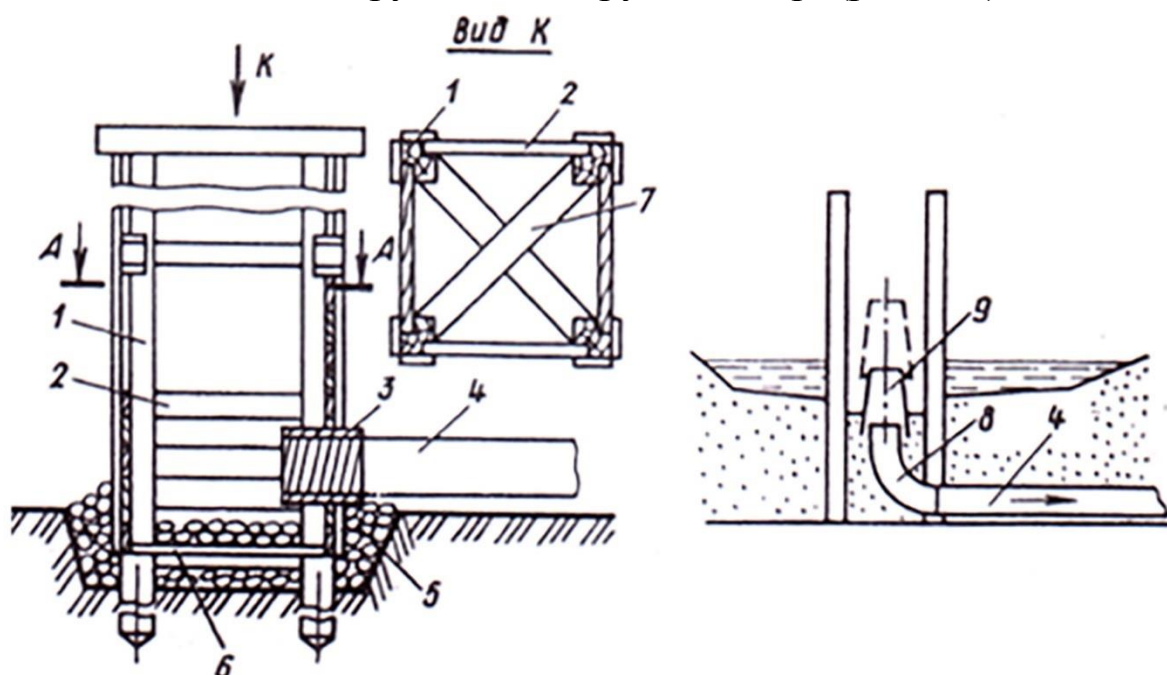


Рис. 7.4. Водосбросные колодцы: а – деревянный с шандорами; б – с металлической трубой; 1 – стойки; 2 – шандоры (доски); 3 – уплотнение; 4 – водосбросная труба; 5 – камень (щебень); 6 – настил; 7 – распорки; 8 – отвод; 9 – патрубок (царга) для наращивания металлической трубы

Деревянные водосбросные колодцы (рис. 7.4) устраивают в виде каркасной конструкции из стоек и распорок, используя брусья. Стенки колодца делают из досок (шандор) толщиной 4–5 см. Наиболее часто применяют квадратные колодцы размерами 1,25×1,25 м и 1,5×1,5 м или треугольные. В зависимости от расхода осветлённой воды колодцы могут состоять из нескольких

секций. Стойки колодцев закапывают в грунт на 1,2–1,5 м, при слабых грунтах их забивают как сваи. Во избежание всплывания колодцы пригружают камнем.

Для уменьшения нагрузки на стенки колодца и придания им устойчивости при намыве высоких сооружений для водослива используют установленную внутри колодца не соединённую с водосбросной трубой цельную металлическую трубу (стояк) диаметром 0,5–0,9 м с закрываемыми водосливными окнами или составную из патрубков (секций) высотой 0,4–0,7 м каждый, наращиваемых по мере намыва. При этом колодец замывается грунтом, толщину шандор уменьшают.

Пропускная способность водосбросных колодцев в зависимости от количества секций приведена в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Пропускная способность водосбросных колодцев
в зависимости от количества секций

№ п/п	Количество секций колодца	Пропускная способ- ность по воде, м ³ /с	Размер, м×м
1	Односекционные колодцы	до 0,5	1×1
2	Двухсекционный колодец	от 0,6 до 1,1	1×2
3	Трёхсекционный колодец	от 1,1 до 1,5	1×3

В зависимости от проектной высоты гидроотвала намыв его может осуществляться по одноярусной (рис. 7.1) или многоярусной схеме (рис. 7.3).

Сущность одноярусной схемы заключается в том, что ограждающая дамба (дамба обвалования) возводится на полную высоту, а потом производится намыв гидроотвала путём перемещения пульповода от ограждающей дамбы в сторону пруда-отстойника.

Одноярусная схема намыва применяется в том случае, когда гидроотвал заполняется пылевато-глинистыми породами, дамба обвалования возводится из привозных пород на полную высоту гидроотвала.

Суть многоярусной схемы состоит в том, что ограждающая дамба (дамба первичного обвалования) возводится не на полную высоту, а до определённой отметки, после чего производится за-

полнение созданной ёмкости. После использования созданной ёмкости возводится следующая дамба (намывом или возведением из привозных пород) и процесс повторяется.

Дамбы обвалования делятся на дамбы первичного обвалования и дамбы наращивания (вторичного обвалования).

При многоярусной схеме дамбы первичного обвалования и наращивания, с учётом образования прудка заданного объёма, сооружаются высотой 3–5 м. Ширина гребня дамб обвалования принимается с учётом условий строительства и эксплуатации гидроотвала, но не менее 2 м, и обычно равно 4–5 м, как при отсыпке на полную высоту, так и при многоярусной отсыпке.

Заложение откосов дамб обвалования зависит от характеристики грунтов, из которых возводятся дамбы, и колеблется для наружных откосов в пределах $1:1,5 \div 1:3$, для внутренних – в пределах $1:1,5 \div 1:2$.

Дамбы наращивания должны располагаться так, чтобы наружный откос гидроотвала имел заложение не менее чем $1:4$, $1:5$.

Превышение гребня дамбы над уровнем воды должно быть достаточным для недопущения перелива и переплёсков воды через гребень.

Превышение гребня дамбы над уровнем намываемой поверхности должно быть следующим (табл. 7.5).

Таблица 7.5

Размеры превышения гребня дамбы
над уровнем намываемой поверхности

Класс ответственности гидроотвала	I(A)	I(Б)	II (A)	II (Б)	III
Превышение, м	1,0	0,85	0,85	0,75	0,7

Дамбы первичного обвалования возводятся из хорошего дренирующего грунта с коэффициентом фильтрации выше, чем у грунта, намываемого в гидроотвал в первоначальный период (до наращивания).

Дамба первичного обвалования обеспечивает обвалование начальной ёмкости гидроотвала и фильтрацию воды из намытого

грунта. При высоте дамбы первичного обвалования более 3 м заложение откосов определяют расчётом на устойчивость дамбы.

Если гидроотвалы заполняются породой, содержащей частицы крупнее 0,05 мм в количестве более 30 %, дамбы обвалования возводятся по многоярусной схеме из намывтого грунта.

Когда гидроотвалы заполняются породой, содержащей частицы крупнее 0,05 мм в количестве 15–30 %, упорная призма формируется комбинированным способом: тело призмы намывается, а дамба обвалования возводится из привозных пород по многоярусной схеме.

Способ укладки грунта в гидроотвал зависит от гранулометрического состава намываемых грунтов. В гидромеханизации на открытых горных работах различают эстакадный, низкоопорный и безэстакадный способы намыва.

Эстакадный способ применяется при намыве мелкозернистых грунтов, т. е. глинистых, суглинистых и супесей, которые образуют непрочный массив, с медленным нарастанием прочностных свойств, что затрудняет или исключает постоянное нахождение на намываемой поверхности людей и механизмов. Так, грунты, содержащие фракции 0,25 мм и крупнее до 20 % укладываются эстакадным способом с эстакадой высотой 3–5 метров (определяется высотой яруса намыва) с рассредоточенным выпуском гидросмеси из отверстий диаметром 150–350 мм внизу трубы вертикально, а иногда с наклоном к дамбе обвалования или же к центру гидроотвала. Отверстия выпусков бывают с патрубками и без них. Отверстия расположены на расстоянии 6–8 м друг от друга. Они закрываются задвижками различной конструкции. Расположение отверстий на большем расстоянии, как показали исследования, нецелесообразно из-за образования зоны отложения мелких частиц между ними (рис. 7.5).

Трубопроводы на эстакадах монтируются специальными кранами-трубоукладчиками с удлинённой стрелой или же гусеничным краном общестроительного назначения.

Низкоопорный способ на гидроотвалах применяется реже. Намывной трубопровод укладывается на опорах высотой до 1,5 м. Гидросмесь вытекает сосредоточенно из одного торца в процессе намыва или сосредоточенно из торцов нескольких конечных звеньев трубопроводов, смещённых относительно друг дру-

га на $1/3$ – $1/4$ поперечного сечения трубы. Для монтажа трубопровода применяется специальная универсальная машина, которая представляет собой трактор с комплексом необходимого оборудования (рис. 7.6).

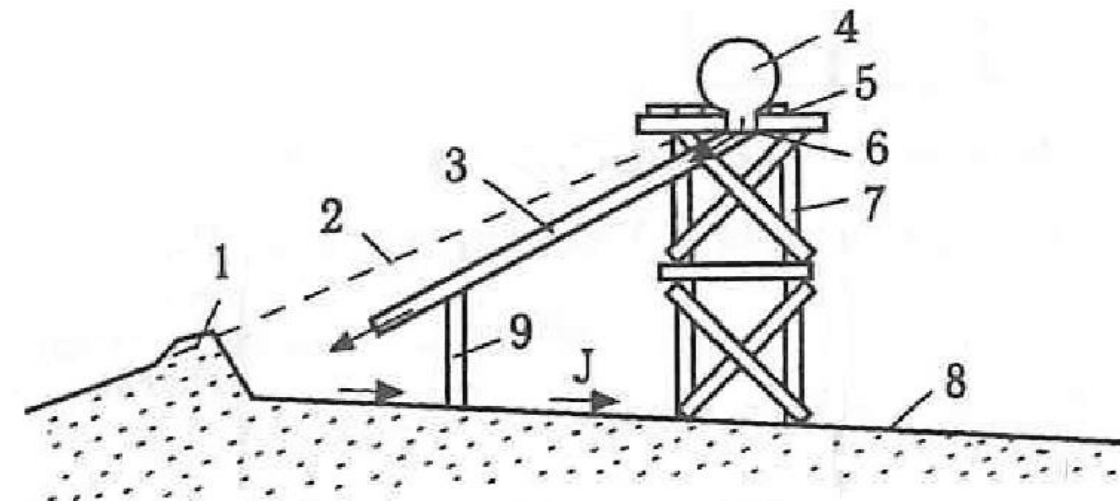


Рис. 7.5. Схема эстакадного способа намыва:

1 – дамба наращивания; 2 – проектный откос; 3 – распределительный лоток; 4 – распределительный трубопровод; 5 – па-трубок; 6 – шибберная задвижка; 7 – эстакада; 8 – пляж намыва; 9 – козловая опора распределительного лотка

Так как низкоопорный способ намыва применяется для грунтов, которые допускают проход оборудования по намывной поверхности, то в условиях гидроотвалов он часто заменяется безэстакадным способом (рис. 7.7).

Безэстакадный способ характеризуется простотой применения и рекомендуется при грунтах, содержащих фракции 0,25 мм и крупнее, более 30 %. Намыв проходит успешно при высокой концентрации гидросмеси. Гидросмесь подаётся в отвал непосредственно из торца трубы, уложенной на поверхности отвала, и толщина намываемого слоя составляет 0,15–0,6 метров (средняя 0,20–0,25 м). Трубопровод монтируют последовательно из звеньев стальных труб, используя быстроразъёмные раструбные соединения.

Через торец крайнего звена трубопровода подают гидросмесь до тех пор, пока поверхность намывного грунта не дойдет до подошвы деревянного бруса (толщиной 0,20–0,25 м), на котором покоит-

ся в горизонтальном положении предыдущее звено. На намытый грунт кладут брусья, а на них укладывают звено трубопровода, и цикл повторяют.

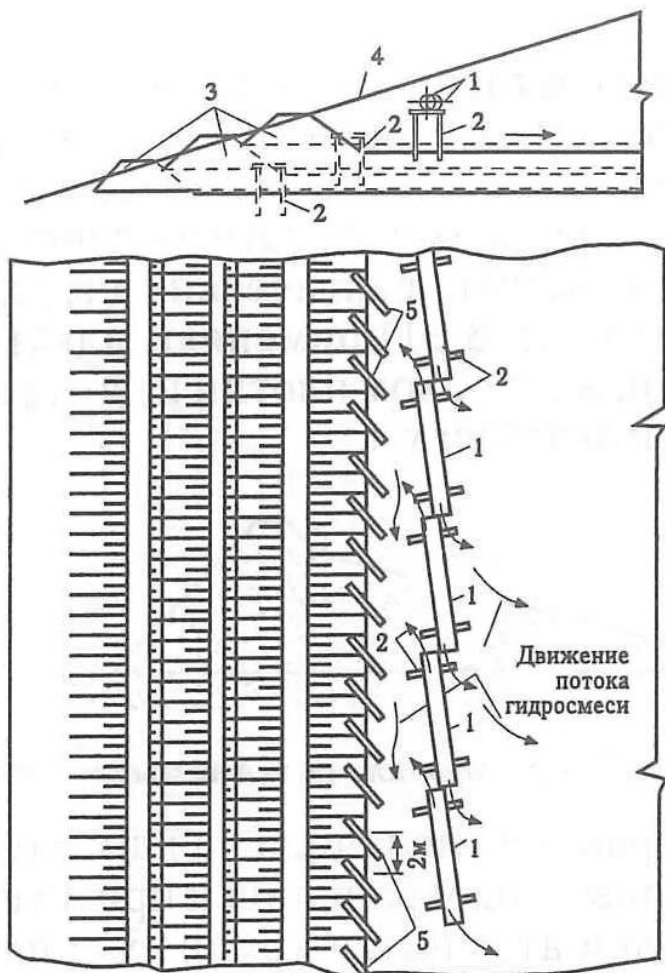


Рис. 7.6. Схема низкоопорного способа намыва:

1 – звенья труб распределительного трубопровода; 2 – низкие опоры; 3 – дамбы наращивания; 4 – проектный откос; 5 – отбойные щитки

Путём постепенного наращивания пульповода до конца намываемого участка меняют направление намыва и, отступая, последовательно снимают звенья трубопровода.

Звенья присоединяют и снимают в процессе намыва. Монтаж и демонтаж звеньев производят с помощью гусеничного крана трубоукладчика.

Интенсивность намыва оказывает влияние на устойчивость дамб как первоначального, так и последующего обвалования.

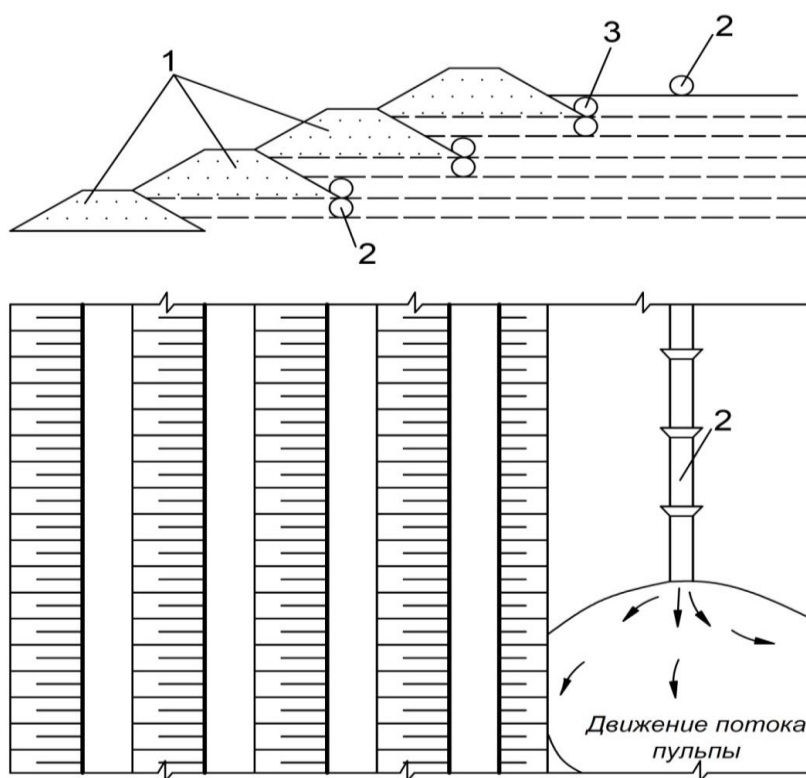


Рис. 7.7. Схема безэстакадного способа намыва:

1 – дамбы наращивания; 2 – положение распределительного пульповода при наращивании; 3 – положение распределительного пульповода при укорачивании

Основными факторами, обуславливающими интенсивность намыва, являются характеристика намываемых грунтов, площадь и высота гидроотвала, водопоглощающая способность основания гидроотвала, угол заложения внешних откосов гидроотвала, способ намыва и консистенции гидросмеси. Кроме того, интенсивность намыва зависит также и от высоты, на которой ведётся намыв, т. е. с увеличением высоты гидроотвала интенсивность намыва должна уменьшаться. Интенсивность намыва может находиться в пределах 1–10 м/год в зависимости от указанных факторов.

Варианты безэстакадного (грунтоопорного) способа намыва при односторонней схеме намыва и при периодическом переукладывании распределительного трубопровода по дамбе показаны на рис. 7.8.

При определении объёма гидроотвала необходимо учитывать способность породы увеличивать свой объём при насыщении водой (набухании). Коэффициент набухания – отношение

объёма грунта после насыщения водой к его объёму в естественном состоянии. Сведения о коэффициенте набухания для некоторых пород приведены в табл. 7.6.

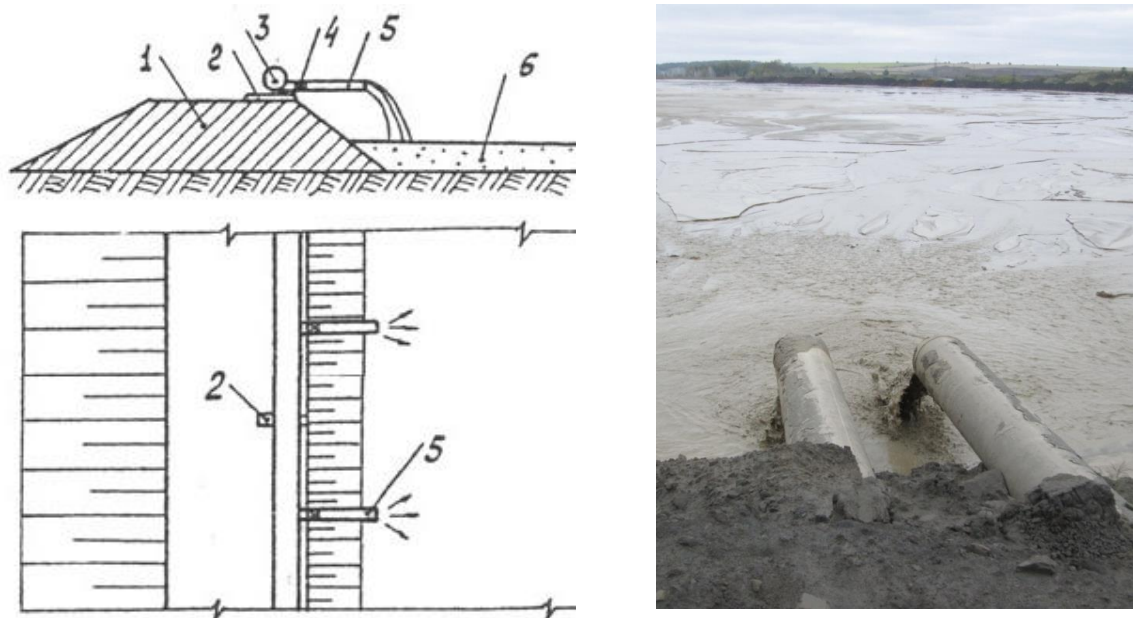


Рис. 7.8. Грунтоопорный способ намыва:

1 – первичная дамба обвалования; 2 – подкладка под пульповод; 3 – распределительный пульповод; 4 – шибберная заслонка; 5 – пульповыпуск; 6 – намываемое сооружение

Таблица 7.6

Коэффициент набухания пород

Породы	Содержание глинистых частиц, %	Коэффициент набухания	Породы	Содержание глинистых частиц, %	Коэффициент набухания
Глины:			Супеси	3–10	1,15–1,05
- тяжёлые;	более 60	2,0–1,5			
- обычные	30–60	1,5			
Суглинки:			Пески:		
- тяжёлые;	20–30	1,5–1,3	- глинистые;	–	1,1–1,05
- средние;	15–20	1,3–1,2	- пылеватые.	–	1,1
- лёгкие	10–15	1,2	Пески	–	1,0

При осветлении воды в прудке-отстойнике необходимо учитывать гидравлическую крупность частиц – скорость падения ча-

стиц в спокойной воде. Гидравлическая крупность зависит от формы, размеров, удельного веса частиц, вязкости и температуры воды. Ориентировочно значение гидравлической крупности можно принимать по табл. 7.7.

Таблица 7.7

Ориентировочные значения гидравлической крупности частиц 0,01–1,5 мм (м/с) при температуре воды $\approx 20^\circ\text{C}$

Диаметр частиц, мм	Гидравлическая крупность (м/с)	Диаметр частиц, мм	Гидравлическая крупность (м/с)
0,01	0,00007	0,40	0,0429
0,03	0,00062	0,50	0,0540
0,05	0,00178	0,60	0,0652
0,08	0,00443	0,70	0,0764
0,10	0,00692	0,80	0,0876
0,12	0,00956	0,90	0,0990
0,15	0,0149	1,00	0,1100
0,20	0,0204	1,2	0,1321
0,30	0,0290	1,5	0,16602

При расчёте водосбросных труб шандорных колодцев коэффициент сопротивления (шероховатости) можно принимать по данным табл. 7.8.

Таблица 7.8

Коэффициенты шероховатости

Трубы	Коэффициент сопротивления (шероховатости) λ_0 для труб диаметром, м					
	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,6
Новые	0,0258	0,0239	0,0225	0,0205	0,019	0,0175
Среднеизношенные, загрязнённые	0,0333	0,0309	0,0291	0,0264	0,024	0,022

7.2. Пример расчёта

Исходные данные:

1. Годовой объём работ гидроучастка – $W = 5,0$ млн м^3 .
2. Тип пород – суглинки средние тяжёлые (см. лабораторную работу № 3).

3. Длина водосбросной трубы – $l_{\text{тр}} = 100$ м.
4. Дополнительный объём, необходимый для аккумуляции поверхностного стока водосбора, тяготеющего к гидроотвалу (годовой сток водосброса), – $V_{\text{д}} = 0$ млн м^3 .
5. Продолжительность сезона – $N_{\text{д}} = 180$ дней (см. лабораторную работу № 3).
6. Удельный расход воды – $q = 5,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$ (см. лабораторную работу № 3).
7. Пористость породы – $m = 0,4$ (см. лабораторную работу № 6).
8. Класс ответственности гидроотвала – III-Б.
9. Диаметр частиц, осаждаемых в отстойнике – $d = 0,05$ мм (фракции больше этого диаметра будут задержаны в отстойнике).
10. Глубина пруда-отстойника – $h_{\text{о}} = 4$ м.
11. Площадь гидроотвала – $S = 5,0$ млн м^2 .
12. Коэффициент заполнения гидроотвала – $\eta_1 \approx 0,9$.
13. Коэффициент запаса водосбросной системы – $K_3 = 1,1$.
14. Коэффициент использования рабочего времени (при определении параметров водосбросной системы) – $K_{\text{в}} = 0,8$.
15. Высота слоя воды над стенкой шандора – $H_{\text{с}} = 0,2$ м.
16. Коэффициент, учитывающий потери воды (при определении количества водосбросных колодцев), – $K_{\text{п}} = 0,8$.

Определить

1. Ёмкость гидроотвала и высоту дамб начального обвалования.
2. Параметры водосбросной системы.
3. Путь осветления гидросмеси.
4. Тип и количество водосбросных колодцев.
5. Диаметр и уклон водосбросной трубы.

1. Определяем первоначальную ёмкость гидроотвала (на срок службы 5 лет) по формуле

$$V_{\text{г}} = 5V_1\alpha + V_{\text{в}} + V_{\text{д}},$$

где $V_1 = W = 5,0$ млн м^3 – объём укладываемых пород в массиве; 5 – срок службы начальной ёмкости гидроотвала, лет; α – коэф-

фициент набухания (см. табл. 7.6), для суглинков $\alpha = 1,5$; V_B – объём воды в отстойнике, равный $5 \div 15$ суточному расходу гидросмеси, подаваемой в отвал; V_d – годовой сток водосброса, млн m^3 , $V_d = 0$ млн m^3 .

Объём воды в отстойнике определяем по формуле

$$V_B = W q (5 \div 15) / N_d, \text{ млн } m^3,$$

где q – удельный расход воды, $q = 5,6 m^3/m^3$ (см. лабораторную работу № 3); N_d – продолжительность сезона, $N_d = 180$ дней (см. лабораторную работу № 3).

$$V_B = 5,0 \cdot 5,6 \cdot 10 / 180 = 1,56 \text{ млн } m^3.$$

Рассчитываем первоначальную ёмкость гидроотвала:

$$V_r = 5 \cdot 5,0 \cdot 1,5 + 1,56 \approx 39 \text{ млн } m^3.$$

2. Высоту дамб начального обвалования рассчитываем по формуле

$$H_{ro} = V_r / \eta_1 / S + z, \text{ м},$$

где η_1 – коэффициент заполнения гидроотвала, $\eta_1 \approx 0,9$; S – площадь гидроотвала, млн m^3 ; z – превышение гребня дамбы над уровнем намываемой поверхности, в соответствии с табл. 7.5 $z = 0,7$ м.

$$H_{ro} = 39 / 0,9 / 5 + 0,7 = 9,4 \text{ м}.$$

3. Длина пути осаждения частиц рассчитывается по формуле [п. 8.6, 6]:

$$L = \frac{K}{K+1} \times \frac{V_{max}}{w_1} h_0, \text{ м}.$$

где w_1 – гидравлическая крупность частиц, осаждаемых в отстойнике; V_{max} – скорость движения частиц по оси потока при входе в пруд-отстойник, м/с; h_0 – глубина пруда-отстойника, м; K – коэффициент, определяемый по формуле

$$K = 1 + 4,8 \sqrt[12]{\frac{h_0}{V_{max}}}.$$

Обычно стремятся исключить попадание в водяной насос абразивных песчаных частиц, вызывающих износ насадок гидромонитора и рабочего колеса. Согласно заданию, диаметр частиц, осаждаемых в отстойнике 0,05 мм, гидравлическая крупность для частиц такого диаметра по табл. 7.7 составляет $w_1 = 0,00178$ м/с.

Скорость потока в пруде-отстойнике ($V_{\max}$) определяется по формуле

$$V_{\max} = \frac{Q_{\Gamma}}{3600 B h_{\Gamma\Gamma}}, \text{ м/с,}$$

где B – активная ширина пруда-отстойника при торцевом намыве, $B \approx 25 \div 50$ м; Q_{Γ} – подача грунтового насоса (землесоса), м³/ч (см. лабораторную работу № 6); $h_{\Gamma\Gamma}$ – глубина потока пульпы на откосе намыва ($h_{\Gamma\Gamma} = 0,1 \div 0,2$ м из практики), м.

Определяем скорость потока в пруде-отстойнике при активной ширине пруда-отстойника $B = 50$ м и сосредоточенном выпуске пульпы из трех ниток пульповода (по расчётам в лабораторной работе № 6).

$$V_{\max} = \frac{8500}{3600 \cdot 50 \cdot 0,15} = 0,315, \text{ м/с.}$$

Определяем значение коэффициента K .

$$K = 1 + 4,8 \cdot 12 \sqrt{\frac{4}{0,315}} = 6,93,$$

тогда путь осветления гидросмеси будет равен

$$L = \frac{6,93}{6,93 + 1} \cdot \frac{0,315}{0,00178} \cdot 4 \approx 619 \text{ м.}$$

4. Расход воды, сбрасываемый шандорным колодцем, определяем по формуле

$$Q_k = m_p b H_c \sqrt{2gH_c}; \text{ м}^3/\text{ч}$$

где m_p – коэффициент расхода воды в колодце, $m_p = 0,3 \div 0,55$; b – ширина водосливной части колодца, м; H_c – высота слоя слива-

ющей воды над стенкой шандора, $H_c \approx 0,1 \div 0,15$ м (при хорошем освещении $H_c \approx 0,3$ м).

Производительность гидромониторно-землесосного комплекса по воде (насосной станции водоснабжения) равна

$Q_r = 8912 \text{ м}^3/\text{ч} = 8912 / 3600 = 2,48 \text{ м}^3/\text{с}$ (см. расчёт в лабораторной работе № 3).

Для обеспечения расхода воды $2,48 \text{ м}^3/\text{с}$ с учётом пропускной способности водосбросных колодцев (табл. 7.4) принимаем трёхсекционные колодцы ($b = 3$ м).

Рассчитываем расход воды, сбрасываемый одним шандорным колодцем

$$Q_k = 0,5 \times 3 \times 0,2 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,2} \approx 0,59 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Количество одновременно работающих колодцев определим по формуле

$$n = \frac{Q_r}{Q_k K_{\Pi}}, \text{ ед.},$$

где K_{Π} – коэффициент, учитывающий потери воды,

$$K_{\Pi} = 0,85 \div 0,9.$$

$$n = \frac{2,48}{0,59 \cdot 0,85} = 4,95 \approx 5 \text{ ед.}$$

В зависимости от класса ответственности гидроотвала принимаем число резервных колодцев. При классе III группа Б число резервных колодцев равно 1. Всего необходимо оборудовать 6 шандорных колодцев.

5. Диаметр водосбросной трубы выбираем из условия обеспечения требуемого расхода воды. Пропускная способность трубы определяется по формуле

$$Q_r = \mu \omega \sqrt{2g h_{\text{тр}}}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где μ – коэффициент расхода при истечении воды в атмосферу;
 ω – площадь поперечного сечения трубы, м^2 ; $h_{\text{тр}}$ – напор воды над осью водосбросной трубы, $h_{\text{тр}} = 1$ м вод. ст.

Коэффициент расхода при истечении воды в атмосферу определяется по формуле

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda_0 \frac{l_{\text{тр}}}{D_{\text{тр}}}}},$$

где $D_{\text{тр}}$ – диаметр трубы; λ_0 – коэффициент сопротивления (шероховатости), зависящий от диаметра трубы и материала, из которого она сделана (табл. 7.8); $l_{\text{тр}}$ – длина водосбросной трубы, $l_{\text{тр}} = 100$ м (согласно заданию).

Учитывая довольно большую производительность гидромониторно-землесосного комплекса по воде $2,48 \text{ м}^3/\text{с}$, задаемся диаметром водосбросной трубы $0,5$ м, для этого диаметра трубы коэффициент сопротивления равен $\lambda_0 = 0,024$ (по табл. 7.8).

Рассчитываем площадь поперечного сечения трубы по формуле

$$\omega = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ м}^2;$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 0,196 \text{ м}^2.$$

Рассчитываем коэффициент расхода при истечении воды в атмосферу

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,024 \cdot \frac{100}{0,5}}} = 0,42.$$

Рассчитываем пропускную способность трубы

$$Q_{\text{т}} = 0,42 \times 0,196 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 1} = 0,36 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Принятый нами трехсекционный колодец ($b = 3$ м) имеет расход $Q_k = 0,59 \text{ м}^3/\text{с}$. Проверяем соблюдение условия

$$0,9Q_k \leq Q_{\text{т}} \leq 1,2Q_k,$$

в нашем случае $Q_k > Q_T$, т. е. условие не соблюдается. Тогда принимаем диаметр водосбросной трубы колодца 0,6 м и повторяем расчёт.

Рассчитываем площадь поперечного сечения трубы:

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} = 0,28 \text{ м}^2.$$

Рассчитываем коэффициент расхода при истечении воды в атмосферу

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,024 \cdot \frac{100}{0,6}}} = 0,46.$$

Рассчитываем пропускную способность трубы

$$Q_T = 0,46 \times 0,28 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 1} = 0,57 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Принятый нами трёхсекционный колодец ($b = 3$ м) имеет расход $Q_k = 0,59 \text{ м}^3/\text{с}$, пропускная способность трубы $Q_T = 0,57 \text{ м}^3/\text{с}$, таким образом, условие $0,9Q_k \leq Q_T \leq 1,2Q_k$ соблюдается.

Нами принято пять одновременно работающих колодцев, которые обеспечивают сброс воды, равный $0,56 \cdot 5 = 2,8 \text{ м}^3/\text{с}$, а нам требуется $2,48 \text{ м}^3/\text{с}$, следовательно, труба диаметром 600 мм в каждом колодце обеспечивает подачу осветлённой воды.

6. Определяем уклон водосбросной трубы по формуле

$$i_{\text{тр}} = \frac{Q_T^2}{\omega^2 C^2 R_{\text{тр}}},$$

где Q_T – пропускная способность трубы, $\text{м}^3/\text{с}$; ω – площадь поперечного сечения трубы, м^2 ; $R_{\text{тр}}$ – гидравлический радиус водосбросной трубы; C – коэффициент Шези.

Гидравлический радиус водосбросной трубы рассчитываем по формуле:

$$R_{\text{тр}} = D/4, \text{ м},$$

$$R_{\text{тр}} = 0,6/4 = 0,15 \text{ м.}$$

Рассчитываем коэффициент Шези, который зависит от шероховатости трубы:

$$C = \frac{1}{n} R_{\text{тр}}^y,$$

где n – коэффициент шероховатости трубы ($n = 0,013$); y – показатель степени, определяемый по формуле

$$y = 1,5\sqrt{n}, \text{ при } R_{\text{тр}} < 1 \text{ м;}$$

$$y = 1,5 \times \sqrt{0,013} = 0,171.$$

Рассчитываем коэффициент Шези

$$C = \frac{1}{0,013} \times 0,15^{0,171} = 55,6.$$

Определяем уклон водосбросной трубы

$$i_{\text{тр}} = \frac{0,56^2}{0,28^2 \cdot 55,6^2 \cdot 0,15} = 0,009 = 0,9\% = 9\text{‰} = 0,52 \text{ град.}$$

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные элементы гидроотвала.
2. Дайте определение гидроотвала.
3. Какая характеристика водосбросных колодцев зависит от количества его секций?
4. Какие зоны формируются в гидроотвале, зависящие от грансостава намываемых пород?
5. Где могут размещаться гидроотвалы?
6. Опишите гидроотвалы, возводимые по одноярусной и многоярусной схемам.
7. Эстакадный способ намыва.
8. Низкоопорный способ намыва.
9. Безэстакадный способ намыва.

Список рекомендуемой литературы

1. Ялтанец, И. М. Гидромеханизированные и подводные горные работы. Кн. 1. Разработка пород гидромониторами и землесосными снарядами : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Открытые горные работы» направления подготовки «Горное дело» / И. М. Ялтанец. – Москва : МГГУ, 2009. – 546 с. – Доступна электронная версия: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=229215&sr=1>.

2. Ялтанец, И. М. Справочник по гидромеханизации. – Москва : Горная книга, 2011. – 737 с.

3. Деревяшкин, И. В. Гидромеханизация открытых горных работ. Гидромониторно-землесосные комплексы : учебное пособие / И. В. Деревяшкин, Е. А. Кононенко, А. В. Демченко. – Москва : ИНФРА, 2016. – 149 с.

4. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. – Москва : Недра, 1982. – 405 с.

5. Повышение эффективности работы гидромониторно-землесосного комплекса разреза путём согласования режимов работы его основных систем : учеб. пособие / С. И. Протасов, Е. А. Кононенко, П. А. Самусев, Ю. И. Литвин ; КузГТУ. – Кемерово, 2015. – 155 с.

6. Гидромеханизация открытых горных работ : комбинированная технология разработки пород гидроотвалов гидромонитором и землесосным снарядом : учебное пособие / С. И. Протасов, Е. А. Кононенко, И. А. Мироненко, П. А. Самусев ; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачёва. – Кемерово, 2022. – 140 с.

7. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом» (утверждены приказом Ростехнадзора от 10.11.2020 № 436, зарегистрированы в Минюсте России 21.12.2020 № 61624).

Составитель
Самусев Павел Александрович

**ГИДРОМЕХАНИЗАЦИЯ
ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ**

Лабораторный практикум

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 16.02.2026. Формат 60×84/16

Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman».

Уч.-изд. л. 6,3. Тираж 100 экз. Заказ.....

Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачёва. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28

Издательский центр Кузбасского государственного технического
университета имени Т. Ф. Горбачёва. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4 а