

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

Горный институт
Кафедра открытых горных работ

Павел Александрович Самусев

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД
И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ.
СПОСОБЫ ПОДГОТОВКИ ПОРОД К РАЗМЫВУ.
ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГИДРОМОНИТОРОВ И
ПАРАМЕТРОВ ГИДРОМОНИТОРНОЙ СТРУИ**

Методические материалы к лабораторным
работам

Рекомендовано учебно-методической комиссией
направления подготовки 21.05.04 Горное дело, специализации
«Открытые горные работы» в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2024

Рецензент: Тюленев М.А. – канд. тех. наук, доцент, заведующий кафедрой «Открытые горные работы» ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева».

Самусев, П.А. Физико-механические свойства горных пород и их влияние на выбор технических решений. Способы подготовки пород к размыву. Гидравлический расчет гидромониторов и параметров гидромониторной струи: методические материалы к лабораторным работам для обучающихся по специальности 21.05.04 Горное дело, специализации «Открытые горные работы»/ сост. П. А. Самусев: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. – Кемерово, 2024. – Текст: электронный.

Раскрыто содержание лабораторных работ по темам, предусмотренным рабочей программой дисциплины «Специальные способы разработки рыхлых отложений» для студентов направления подготовки 21.05.04 Горное дело, специализации «Открытые горные работы», всех форм обучения. Методические материалы включают теоретические материалы, вопросы для проверки знаний, предусмотренных учебной программой дисциплины, перечень рекомендуемой учебной и нормативной литературы.

© Кузбасский государственный
технический университет
имени Т. Ф. Горбачева, 2024
© Самусев П.А.,
составление, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Лабораторная работа № 1. Тема: Физико-механические свойства горных пород и их влияние на выбор технических решений	4
Лабораторная работа № 2. Тема: Способы подготовки пород к размыву	19
Лабораторная работа № 3. Тема: Гидравлический расчет гидромониторов и параметров гидромониторной струи	31
Список рекомендуемой литературы	38

ВВЕДЕНИЕ

Методические материалы предназначены для изучения и закрепления знаний по дисциплине «Специальные способы разработки рыхлых отложений» студентами специальности 21.05.04 Горное дело, специализации «Открытые горные работы».

Методические материалы состоят из трех лабораторных работ, в которых изложен материал по изучению физико-механических свойств горных пород и их влиянию на процессы гидромеханизации, приведена классификация горных пород по трудности разработки гидромониторами, способы подготовки пород к размыву и классификация видов обрушений откосов уступов при разработке гидромониторами, а также сведения по гидравлическому расчету гидромониторов и параметров гидромониторной струи.

Отчеты о выполнении лабораторной работы 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.

Лабораторная работа № 1.

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

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 обработки 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 разрыхленном или раздробленном состояниях. Учет свойств пород при этом имеет большое практическое значение.

Физико-механические свойства пород определяют такие важнейшие технологические параметры гидромеханизации, как, например, удельный расход воды, требуемый напор для разрушения грунта, параметры гидротранспорта пород, параметры гидротвалов 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 ее 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 твердые тела. С увеличением влажности они постепенно снижают прочность, переходят в мягкое состояние, а при сильном увлажнении – в текучее, т. е. полностью ее теряют.

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

Плотность природной горной породы (ρ) – масса единицы объема породы с естественной влажностью и природным (ненарушенным) сложением. Это величина переменная и зависит от минералогического состава, влажности и пористости. С повышением содержания тяжелых минералов и влажности при данной пористости она увеличивается, с увеличением пористости уменьшается. Так, например, порода с плотностью твердых 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 – объем минеральной части (скелета породы), см^3 (м^3); V_2 – объем пор в породе, см^3 (м^3).

Плотность пород, разрабатываемых гидравлическим способом, изменяется в пределах (0,6-0,8) - (2,2-2,4) т/ м^3 . Плотность пород непостоянна и зависит от условий естественного залегания (влажность, количество воды в порах и т.д.).

Значения плотности некоторых горных пород приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Плотность горных пород

Наименование и характеристика горной породы	Плотность
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
Лесс естественной влажности	1,6
Лесс, смешанный с галькой или гравием	1,8
Суглинок легкий и лессовидный	1,75
Суглинок тяжелый	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 твердых частиц (ρ_m) зависит только от минералогического состава породы и возрастает с увеличением содержания тяжелых минералов. Плотность твердых 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 достаточно 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 твердой компоненты (скелета) в единице объема породы при естественной (ненару-

шенной) структуре. Плотность сухой породы зависит от минералогического состава и ее пористости и определяется по формуле

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

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

Величины $\rho_{\text{м}}$ и $\rho_{\text{ск}}$ используются для расчета пористости горных пород n , представляющей собой отношение объема пор к объему 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 объема пор к объему, 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 – $n = 5 - 20 \%$; высокой пористости – $n > 20 \%$.

Разрыхляемость пород – увеличение объема породы в результате рыхления по сравнению с объемом, занимаемым породой в массиве (до рыхления). Оценивается обычно коэффициентом разрыхления (K_p), представляющим отношение объема породы после рыхления к объему ее в массиве.

Коэффициент разрыхления зависит от равномерности дробления породы, крупности ее кусков, емкости и формы сосудов, в

которых она размещается, и времени нахождения породы в разрыхленном состоянии.

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

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

где V_p – объем разрыхленной породы до уплотнения; V_p' – объем разрыхленной 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

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

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

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

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 объем 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 объем при насыщении водой. Коэффициент набухания – отношение объема грунта после насыщения водой к его объему в естественном состоянии. Учитывается при определении объема гидроотвала. Коэффициенты набухания пород приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Коэффициент набухания пород

Наименование пород	Коэффициент набухания
Глины тяжелые, вязкие	2,0-1,5
Глины обычные, пластичные	1,5
Суглинки тяжелые	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, твердые 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 твердость по шкале Мооса	Пески среднезернистые			Пески крупнозернистые			Песчано-гравийная смесь		
	хорошо окатанные зерна	мало окатанные зерна	неокатанные зерна	хорошо окатанные зерна	мало окатанные зерна	неокатанные зерна	хорошо окатанные зерна	мало окатанные зерна	неокатанные зерна
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 объема. 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. Для компактности графика 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 в см или мм. В таблице 1.8 показан масштаб градуировки оси абсцисс при $b=50$ мм. Исходя из этого, ось абсцисс делится слева направо на 3 отрезка по 50 мм, на которых откладываются диаметры частиц.

Таблица 1.8

Логарифмический масштаб размеров
диаметров частиц по оси абсцисс

Чис ла	Лога- рифмы чисел	Мас- штаб, мм	Размер фрак- ции, мм	Рассто- яние от начала коорди- нат, мм	Размер фрак- ции, мм	Расстоя- ние от начала коорди- нат, мм	Размер фрак- ции, мм	Расстоя- ние от начала коорди- нат, мм
1	0	0	0,01	0	0,1	50	1	100
2	0,3	15	0,02	15	0,2	65	2	115
3	0,48	24	0,03	24	0,3	74	3	124
4	0,60	30	0,04	30	0,4	80	4	130
5	0,70	35	0,05	35	0,5	85	5	135
6	0,78	39	0,06	39	0,6	89	6	139
7	0,84	42	0,07	42	0,7	92	7	142
8	0,90	45	0,08	45	0,8	95	8	145
9	0,95	48	0,08	48	0,8	98	9	178
10	1,0	50	0,10	50	1,0	100	10	150

На рис. 1.1 показан график гранулометрического состава для пород, характеризующихся следующим распределением фракций по крупности (табл. 1.9).

Таблица 1.9

Распределение фракций по крупности

Характеристика	Качественный состав пород						
	глини- стые	пыле- ватые	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
Количество их по весу, %	12	25	38	12	7	6	-

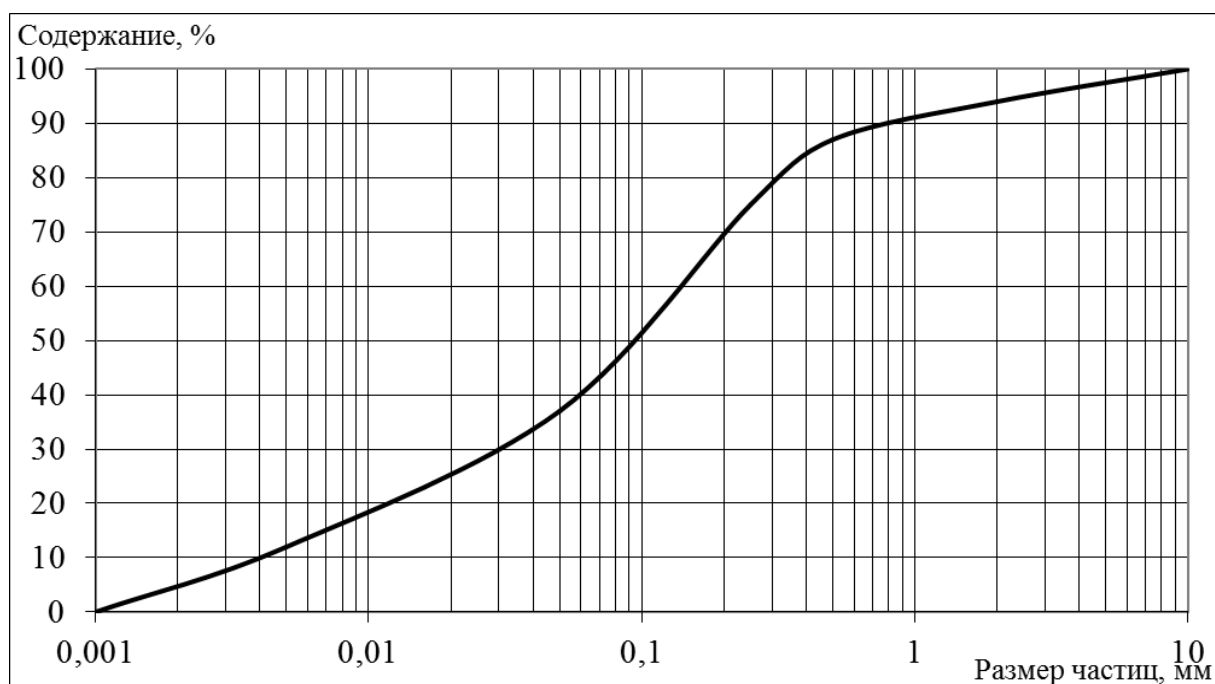


Рис. 1.1. График гранулометрического состава (размеры частиц приведены в логарифмической шкале)

На основании данного графика определяется диаметр средней частицы ($d_{ср}$), 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 ($d_{ср i}$). Значения диаметра средней частицы по интервалам приведены в табл. 1.10.

Таблица 1.10

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
Середины 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

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

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. 1.11) или по данным табл. 1.12.

Таблица 1.11

Гидравлическая крупность при различных режимах течения

Диаметр частиц, мм	Гидравлическая крупность частиц (см/с) при температуре воды				Режим течения
	5°C	10°C	15°C	20°C	
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 1.12

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 1.11 и 1.12 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 «влагоемкость» 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 ее определение.

Лабораторная работа № 2.

Тема: Способы подготовки пород к размыву

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 (тяжелых 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 смыл этих же пород, предварительно разрыхленных до определенной 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 ее 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 приемные устройства
	Специальные рыхлители (струги, скреперы)	Подготовка может производиться со складированием породы в навал, одновременно с размыванием или в приемные емкости гидро-

Способ подготовки	Основные средства подготовки	Характеристика элементов подготовки
		транспортных установок
	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 счет движения безнапорного потока по фронту работ происходит насыщение водой породы, частичный ее 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 тяжелых суглинков и тощих глин. Используются, как правило, экскаваторы-драглайны, т.к. они имеют увеличенные рабочие параметры, что позволяет им образовывать навалы со значительным объемом 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).

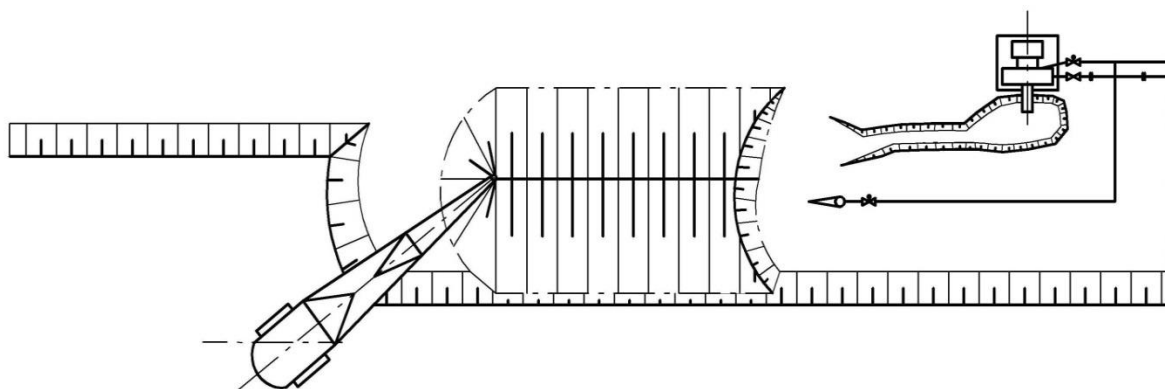


Рис. 2.1. Предварительное рыхление пород экскаватором с укладкой ее в навал, расположенный на нижней площадке уступа

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

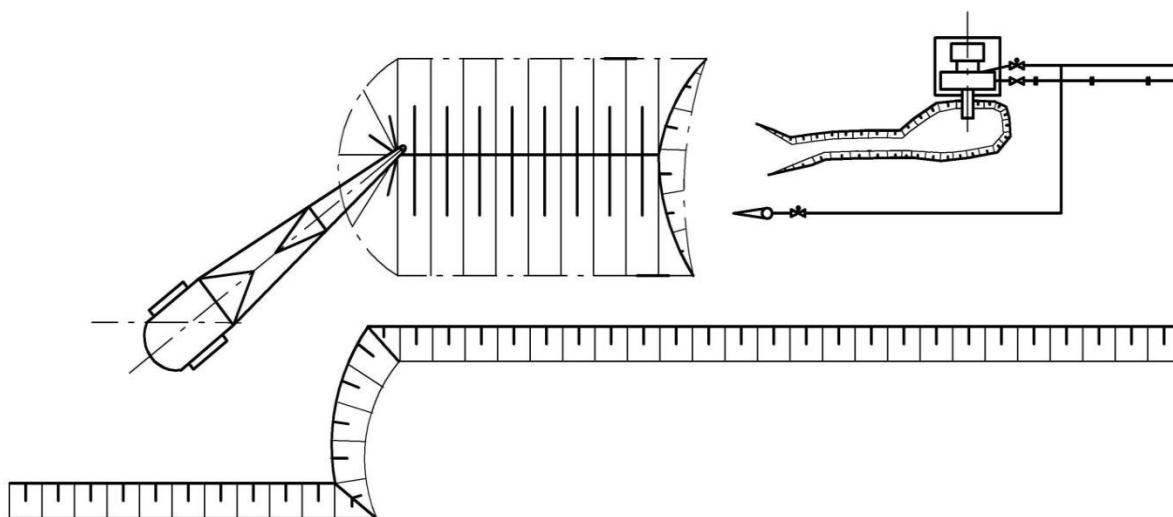


Рис. 2.2. Предварительное рыхление пород экскаватором с укладкой ее на верхней площадке уступа

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).

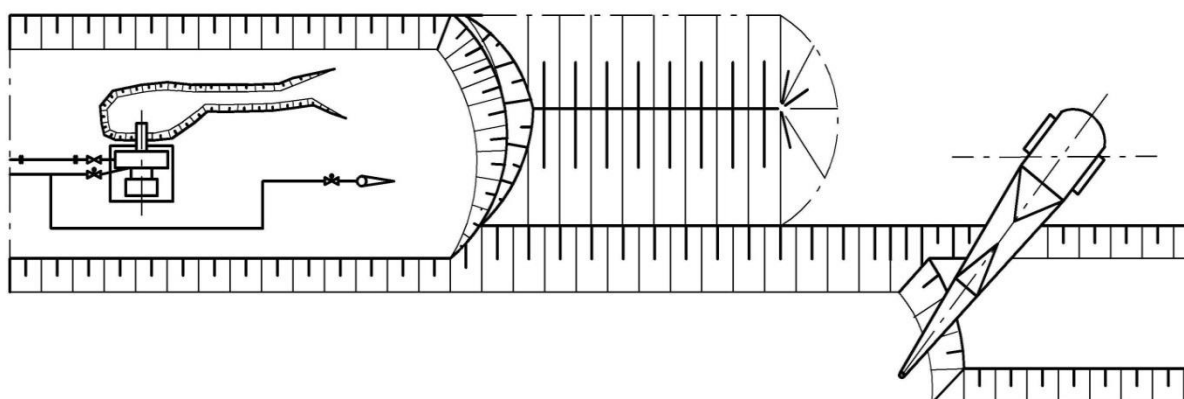


Рис. 2.3. Совместная разработка целика и навала

Экскаваторное рыхление пород осуществляется драглайнами типа ЭШ-10/70 (ЭШ-13/50), ЭШ-15/90 и др. 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 вкрест фронта работ;
- заходками по фронту.

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

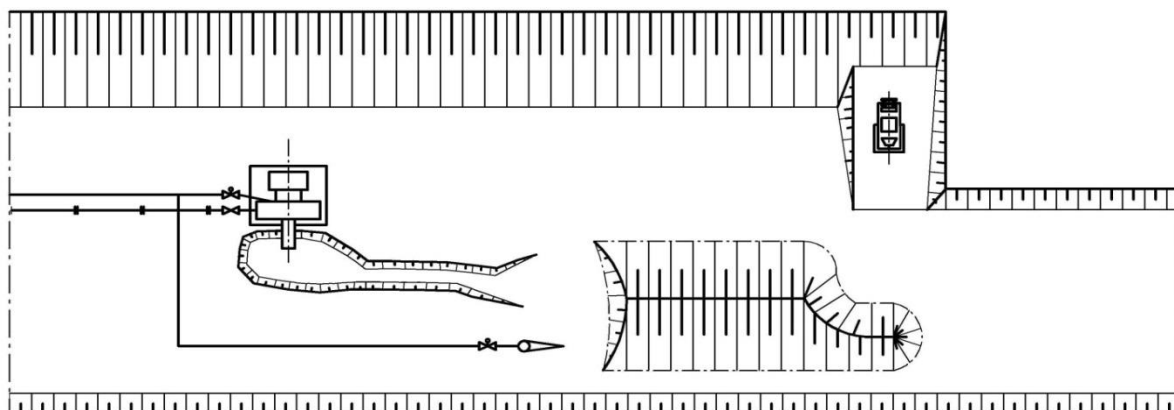


Рис. 2.4. Подготовка породы к размыву бульдозером

При перемещении бульдозера вкрест фронта работ производится постепенное выхолаживание 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 породы 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.

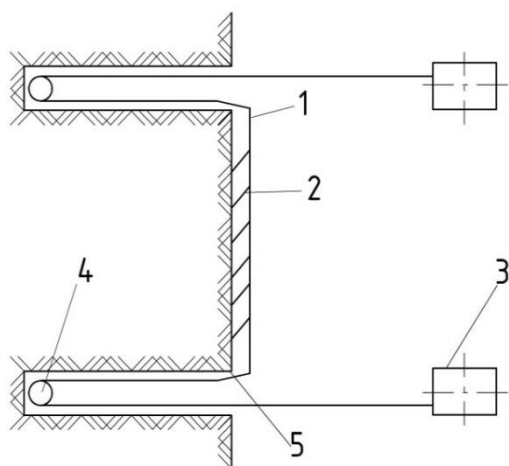


Рис. 2.5. Рыхление с механической подрезкой канатным стругом:

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

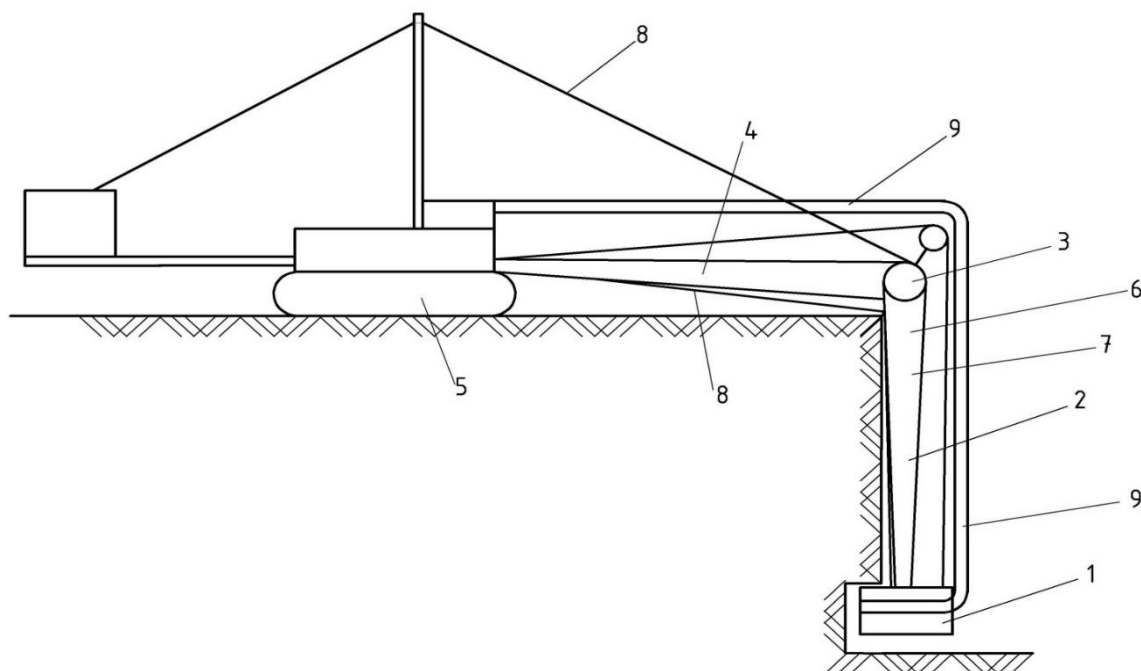


Рис. 2.6. Механическая подрезка уступа фрезерным рыхлителем: 1 – фрезерный рыхлитель; 2 – стрела; 3 – шарнир; 4 – упор; 5 – тележка; 6 – электродвигатель; 7 – редуктор; 8 – поддерживающий трос; 9 – труба

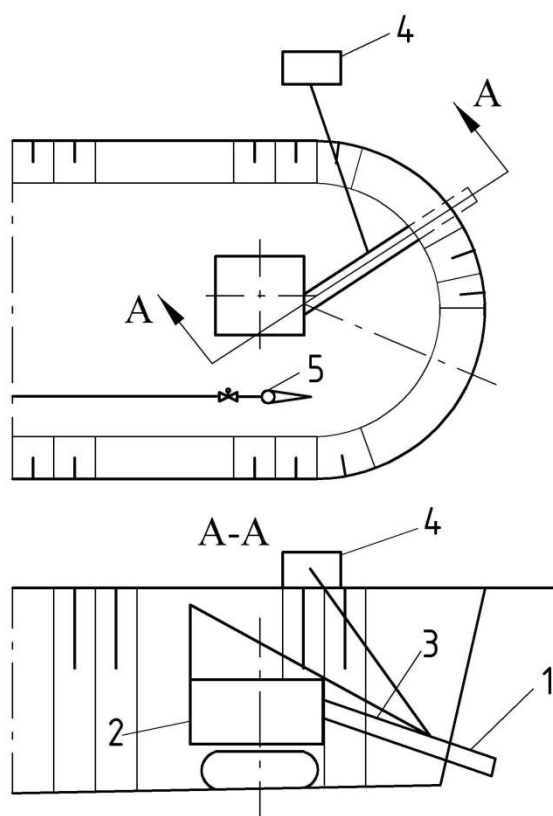


Рис. 2.7. Схема подрезки уступа баром:

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

2.5. Буровзрывное рыхление пород

При разработке тяжелых 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).

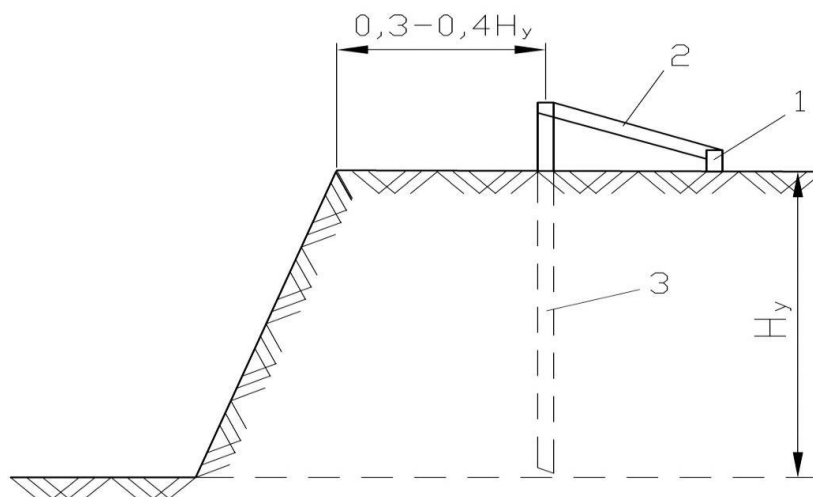


Рис.2.8. Схема предварительного ослабления породного массива водонасыщением: 1 – магистральный водовод; 2 – гибкий шланг; 3 – труба для водонасыщения

На один гидромонитор принимается по фронту 5÷6 трубок. Трубки соединены при помощи гибких шлангов с водоводом. Напорная вода подается 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 объема 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 фильтрует 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 м³/м³, а напор до 60÷80 м водяного столба.

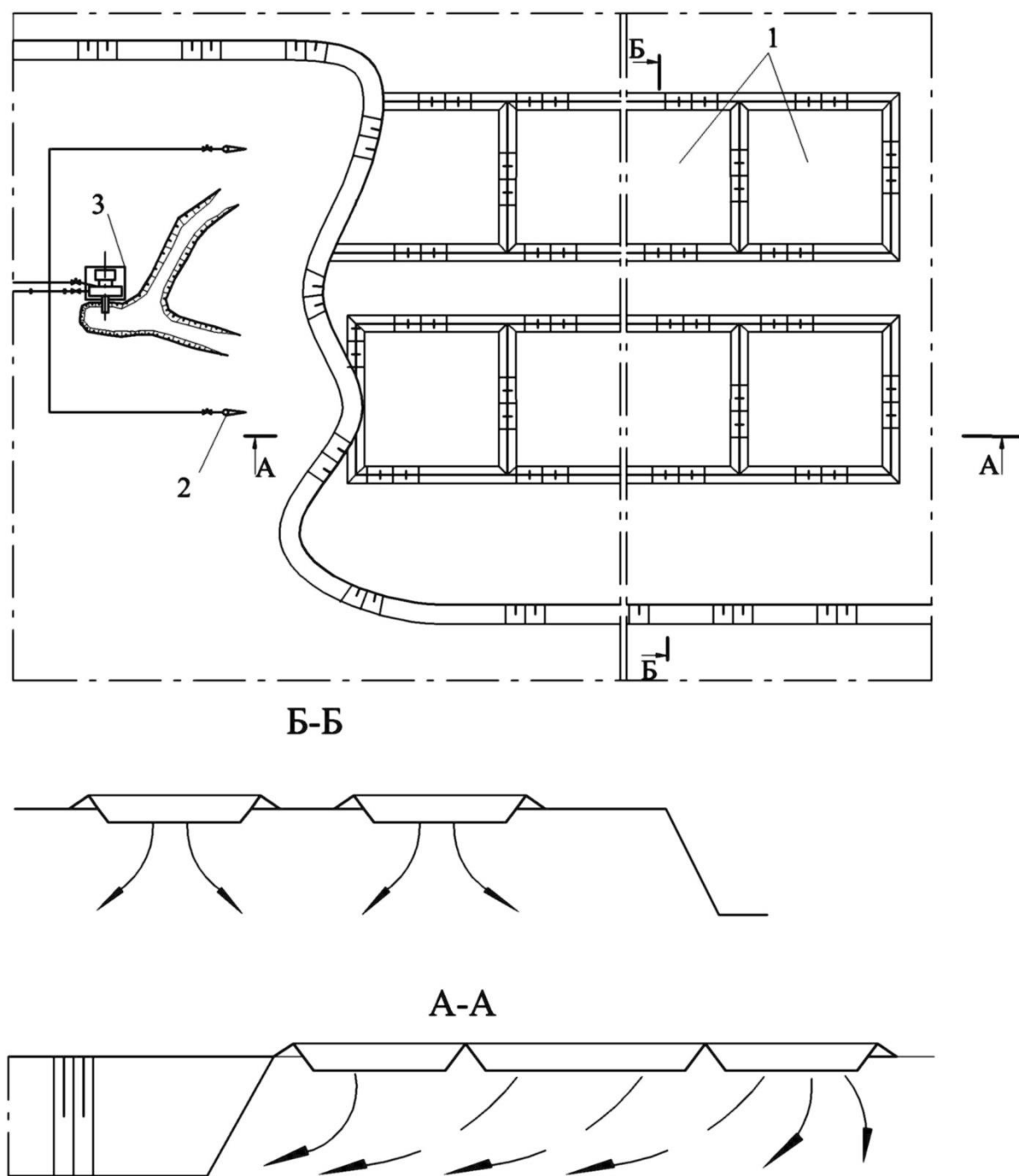


Рис. 2.9. Схема разрушения породного массива безнапорной водой: 1 – траншеи; 2 – гидромонитор; 3 – землесос с зумпфом.

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. Приемно-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, колесном ходу или на санях.

Механическая подготовка пород в смесительных устройствах состоит в следующем. Экскаватор разгружает породу в приемный 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 приемную воронку гидроэлеватора. Испытания показали, что возможно получение твердого 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, рис. 2.10.

Таблица 2.2

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

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

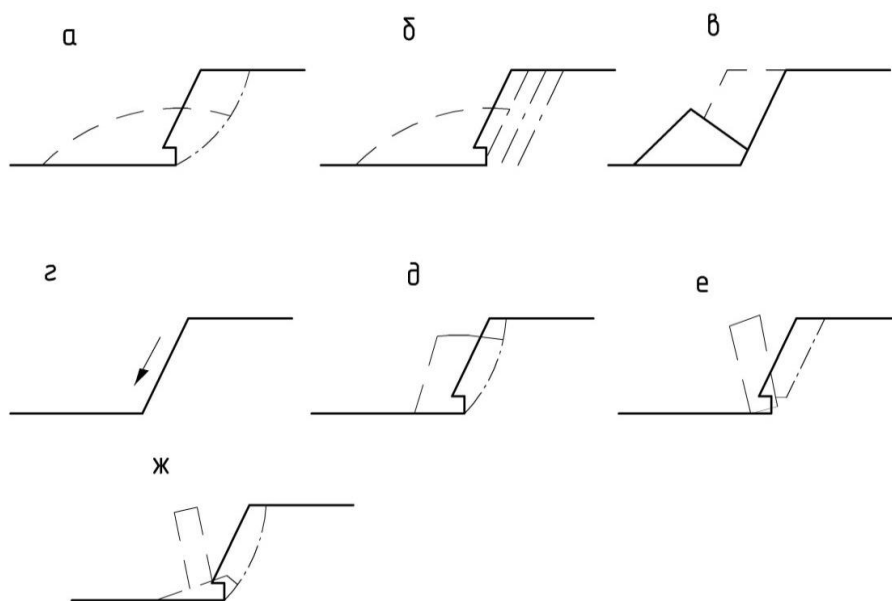


Рис. 2.10. Виды обрушений откосов уступа

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. Приемно-смесительные установки для гидротранспортирования пород от экскаваторов.
7. Классификация видов обрушений откосов уступов при гидромониторной разработке.

Лабораторная работа № 3.

Тема: Гидравлический расчет гидромониторов и параметров гидромониторной струи

Цель лабораторной работы: расчет диаметров насадок гидромонитора, определение потерь напора в стволе гидромонитора и его насадке, расчет структурных и динамических параметров струи и определении силы удара ее о забой.

3.1. Общие сведения

Отличительной особенностью разрушения горного массива струей воды является непостоянство динамических и структурных характеристик струи по мере увеличения расстояния между насадкой и разрушаемым массивом. С увеличением этого расстояния струя постепенно теряет свою кинетическую энергию и ее динамическое давление уменьшается.

Для всех значений диаметра насадки и напора воды осевое динамическое давление P_m с увеличением расстояния от насадки уменьшается. Для участка струи, соответствующего отношению $l/l_n = 1/10$, на основании экспериментальных данных получена зависимость

$$P_m/P_o = (l_n/l)^k, \quad (1.1)$$

где: l - расстояние от насадки до забоя, м; l_n - длина начального участка струи, м; P_o - давление перед насадкой, МПа.

Показатель степени k характеризует интенсивность процесса распада струи и уменьшения ее осевого динамического давления. Чем больше значение k , тем хуже компактность струи. Для низконапорных струй при насадке диаметром 50 – 190 мм показатель степени $k = 0,5$.

Длина начального участка струи зависит от множества факторов, из которых наиболее важными являются: исходные параметры струи; формирования ее в стволе и коленях гидромони-

тора; форма и качество обработки внутренней поверхности насадки.

Для низконапорных гидромониторных струй, применяемых на ОГР, зависимость l_n от вышеназванных факторов имеет линейный характер и описывается уравнением

$$l_n/d_0 = A - B \times R_e, \quad (1.2)$$

где: $R_e = (V_0 \times d_0)/\nu$ - число Рейнольдса для начального сечения струи; V_0 - скорость истечения струи из насадки, м/с; d_0 - диаметр насадки, м; A, B - эмпирические коэффициенты (табл. 3.1); ν - кинематический коэффициент вязкости ($\nu = 1,01 \cdot 10^{-6}$ при температуре воды $t = 20^\circ\text{C}$), $\text{м}^2/\text{с}$.

Среднее динамическое давление струи (P_l) определяется по формуле

$$P_l = P_\omega/\omega, \text{ МПа}, \quad (1.3)$$

где: ω - площадь поперечного сечения струи на расстоянии l , см^2 ; $P_\omega = \int p d\omega$ - суммарное динамическое давление струи (p - динамическое давление) с площадью сечения равной ω , МПа.

Так как с увеличением расстояния l струя расширяется и теряет часть своей энергии, то

$$P_\omega = P_0 \times \omega_0 \times \varphi_1, \quad (1.4)$$

$$P_l = P_0 \times \varphi_2, \quad (1.5)$$

где: ω_0 - площадь выходного отверстия насадки, см^2 ; φ_1 - коэффициент, учитывающий уменьшение суммарного динамического давления струи на расстояние l от насадки; φ_2 - коэффициент, учитывающий уменьшение среднего динамического давления струи на расстоянии l .

Между коэффициентом φ_1 и расстоянием l на участке 6-25 м при насадке диаметром 57-75 мм и напоре струи 50-85 м существует следующая зависимость:

$$\varphi_1 = (100 - 0,12 \times l^2 + 0,66 \times l)/100, \quad (1.6)$$

Таблица 1.1

Гидромонитор	Конструктивные особенности насадки	Значение коэффициента	
		А	В
ГМ-2	Коническая насадка с цилиндрическим участком длиной $0,5 d_0$ и чистотой обработки по 3-му классу	62	17×10^{-6}
	То же, длиной $4 d_0$ и чистотой обработки по 4-му классу	80	17×10^{-6}
ГМН-250С	То же, длиной $0,5 d_0$ и чистотой обработки по 4-му классу	76	12×10^{-6}
КУГУ-350	То же, длиной $2,6 d_0$ и чистотой обработки по 5-му классу	139	17×10^{-6}
ГМДУЭГ-250	То же, чистотой обработки по 8-му классу	147	25×10^{-6}
ГМ-350	То же	162	17×10^{-6}

Для определения коэффициента φ_2 при использовании насадок диаметром более 50 мм и $l/d_0 > 20$ используется эмпирическая формула, предложенная Г.Н. Роером:

$$\varphi_2 = (\alpha / (\frac{l}{d_0} + 30))^2, \quad (1.7)$$

где: α - эмпирический коэффициент, определяемый по графику (рис.3.1).

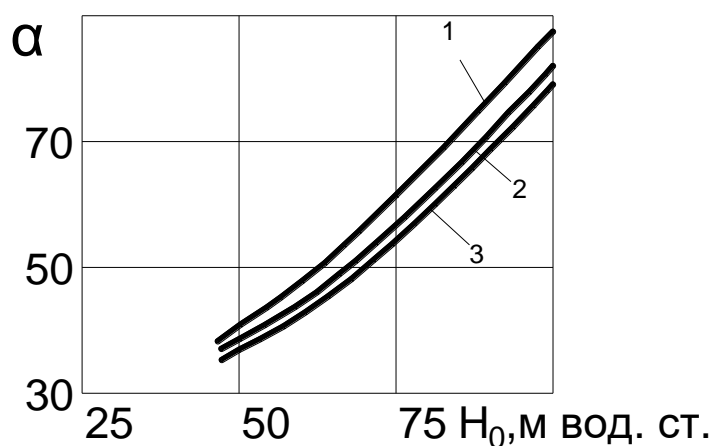


Рис. 3.1. График к определению коэффициента α :
 1 - для участка струи до 10 м от насадки; 2 - для участка струи 10-20 м;
 3 - по длине всей струи.

Для насадок диаметром 100-190 мм среднее динамическое давление струи

$$P_l = P_m \times B_0 \times \frac{l - 0,00044 \times l/d_0}{l + 0,0004 \times l/d_0}, \quad (1.8)$$

где: B_0 - коэффициент, равный 0,7 и 0,6 соответственно в пределах начального участка струи и за его пределами.

Для насадок диаметром 50-75 мм и давлении 0,6-0,9 МПа диаметр струи (мм) на расстоянии l определяется по формуле

$$D = K_a \times d_0 \times l^{0,65}, \quad (1.9)$$

где: K_a - коэффициент, учитывающий аэрацию струи и зависящий от диаметра насадки и начального напора.

Для других диаметров насадки на расстоянии l диаметр струи определяется по эмпирической формуле

$$D = 1,01 \times d_0 \times \mu^{0,5} \times (l/d_0)^{0,115} \times (P_0/P_l)^{0,25}, \quad (1.10)$$

где: μ - коэффициент, учитывающий расход насадки.

Для определения силы удара струи (R) о плоскую преграду, расположенную перпендикулярно к оси струи, можно пользоваться эмпирической формулой ИГД им А.А. Скочиского

$$R = R_{max} \times (1,06 - 4 \times 10^{-4} \times l/d_0), \quad (1.11)$$

где: $R_{max} = 2 \times P_0 \times \omega_0$ - максимальная сила удара струи.

В зависимости от формы преграды, расстояния l от насадки до преграды и параметров струи сила её удара изменяется. Для случая, когда струя встречает на своём пути неподвижную твёрдую (условно плоскую) стену, наклоненную под некоторым углом α к направлению движения струи, имеет

$$R = 2 \times P_l \times \omega \times \sin \alpha, \quad (1.12)$$

где: ω - площадь сечения струи на расстоянии l от насадки, м².

или

$$R = 2 \times P_0 \times \varphi_2 \times l \times \omega \times \sin \alpha. \quad (1.13)$$

Для выпуклой и вогнутой преграды ($\alpha < 180^\circ$)

$$R = 2 \times P_l \times \omega \times (1 - \cos \alpha). \quad (1.14)$$

Для вогнутой преграды при $\alpha = 180^\circ$

$$R = 47 \times P_l \times \omega. \quad (1.15)$$

3.2. Пример расчета

Произвести гидравлический расчет гидромонитора ГМН-250С, определить параметры гидромониторной струи на расстоянии l от насадки и силу удара струи о забой с углом откоса α при следующих исходных данных:

1. Гидромонитор ГМН-250С.
2. Напор воды перед насадкой (H_0) – 100 м. вод. ст.
3. Расход воды (ориентировочный) (Q) – 1165 м³/ч.
4. Расстояние от насадки до забоя (l) – 20 м.
5. Угол откоса уступа (α) – 70°.

Порядок расчета:

1. Скорость вылета струи из насадки определяется по формуле

$$V_0 = \varphi \times \sqrt{2 \times q \times H_0}, \text{ м/с,}$$

где: φ - коэффициент скорости ($\varphi = 0,92 - 0,96$); q - ускорение свободного падения, м/с².

$$V_0 = 0,95 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 100} = 42,08 \text{ м/с.}$$

2. Определяем диаметр насадки

$$d = 0,55 \times \sqrt{Q / \sqrt{H_0}} = \text{мм.}$$

$$d = 0,55 \times \sqrt{\frac{1165}{\sqrt{100}}} \times 3600 = 0,0989 \text{ м} = 98,9 \text{ мм.}$$

По справочнику [1] принимаем близкий стандартный диаметр насадки $d_0 = 100$ мм.

3. Уточняем фактический расход воды

$$Q = \mu \times \omega \times \sqrt{2 \times q \times H_0}, \text{ м}^3/\text{с}$$

где: $\mu = 0,92 - 0,96$ – коэффициент расхода; ω - площадь поперечного сечения насадки, м².

$$\omega = \frac{\pi \times d_0^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,1^2}{4} = 0,0078 \text{ см}^2.$$

$$Q = 0,95 \times 0,0078 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 100} = 0,33 \text{ м}^3/\text{с} \approx 1182 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

4. Рассчитываем потери напора в коленях и стволе гидромонитора

$$h_k = k \times Q^2 = \text{м. вод. ст.},$$

где: k - коэффициент потерь напора, зависящий от конструкции гидромонитора (табл.3.2).

Таблица 3.2

Коэффициент потерь напора

Тип гидромонитора	ГМ-2	ГМН-250	ГМН-250С	ГМДУЭГ-250	ГМЛ-250Л	ГМСД-300
Значение k	166	82	14,2	19,6	36,6	15,5

$$h_k = 14,2 \times (1182/3600)^2 = 1,53 \text{ м. вод. ст.},$$

5. Определяем потери напора в насадке

$$h_n = 0,06 \times \frac{V^2}{2 \times q} = \text{м. вод. ст.}$$

$$h_n = 0,06 \times \frac{42,08^2}{2 \times 9,81} = 5,41 \text{ м. вод. ст.}$$

6. Общие потери напора в гидромониторе определяем по формуле

$$h_{\Gamma} = h_k + h_n = \text{м. вод. ст.}$$

$$h_{\Gamma} = 1,53 + 5,41 = 6,94 \text{ м. вод. ст.}$$

7. Рассчитываем длину начального участка струи

$$l_n = d_0 \times (A - B \times R_e), \text{ м.}$$

По таблице 3.1 для гидромонитора ГМН-250С находим значения эмпирических коэффициентов $A = 76, B = 12 \times 10^{-6}$.

Число Рейнольдса рассчитываем по формуле

$$R_e = (V_0 \times d_0)/\nu,$$

где: ν - кинематический коэффициент вязкости ($0,0101 \text{ см}^2/\text{с}$ при температуре воды $t = 20^\circ\text{C}$).

$$R_e = (42,08 \times 0,1)/1,01 \times 10^{-6} = 4,166 \times 10^6.$$

$$l_n = 0,1 \times (76 - 12 \times 10^{-6} \times 4,166 \times 10^6) = 2,6 \text{ м.}$$

8. Рассчитываем осевое динамическое давление

$$P_m = P_0 \times (l_n/l)^k, \text{ МПа,}$$

где: P_0 - давление перед насадкой (100 м. вод. ст.=1 МПа).

$$P_m = 1,0 \times (2,6/20)^{0,5} = 0,36 \text{ МПа,}$$

9. Среднее динамическое давление струи на расстоянии l от насадки

$$P_l = P_m \times B_0 \times \frac{1 - 0,00044 \times l/d_0}{1 + 0,0004 \times l/d_0}, \text{ МПа.}$$

$$P_l = 0,36 \times 0,6 \times \frac{1 - 0,00044 \times 20/0,1}{1 + 0,0004 \times 20/0,1} = 0,1824 \text{ МПа.}$$

10. Диаметр струи у забоя

$$D = 1,01 \times d_0 \times \mu^{0,5} \times \left(\frac{l}{d_0}\right)^{0,115} \times \left(\frac{P_0}{P_l}\right)^{0,25}, \text{ м.}$$

$$D = 1,01 \times 0,1 \times 0,95^{0,5} \times \left(\frac{20}{0,1}\right)^{0,115} \times \left(\frac{1}{0,1824}\right)^{0,25} = 0,277 \text{ м.}$$

11. Площадь поперечного сечения струи в месте удара о забой

$$\omega = \frac{\pi \times D^2}{4}, \text{ м}^2.$$
$$\omega = \frac{3,14 \times 0,277^2}{4} \approx 0,0603 \text{ м}^2.$$

12. Сила удара струи о наклонную преграду

$$R = 2 \times P_l \times \omega \times \sin \alpha, \text{ Мн.}$$

$$R = 2 \times 0,1824 \times 0,0603 \times 0,94 = 0,0207 \text{ Мн} = 20,7 \text{ Кн.}$$

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается гидравлический расчет гидромонитора?
2. Какие преграды может встретить струя при гидромониторном размыве на ОГР?
3. При увеличении скорости вылета струи из насадки как изменятся потери напора в насадке гидромонитора?
4. Почему производится уточнение расходы воды?
5. Что такое компактность струи и от чего она зависит?

Список рекомендуемой литературы

1. Гидромеханизированные и подводные горные работы: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Открытые горные работы" направления подготовки "Горное дело". – Москва: МГГУ, 2009. – 546 с. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=229215&sr=1>. – Текст: непосредственный + электронный.

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

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

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

5. Протасов, С.И. Повышение эффективности работы гидромониторно-землесосного комплекса разреза путем 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. Протасов, С. И. 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. Горбачева. – Кемерово, 2022. – 140 с.