

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

С. И. Протасов Е. А. Кононенко

П. А. Самусев Ю. И. Литвин

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
ГИДРОМОНИТОРНО-ЗЕМЛЕСОСНОГО КОМПЛЕКСА
РАЗРЕЗА ПУТЕМ СОГЛАСОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ЕГО ОСНОВНЫХ СИСТЕМ**

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области горного дела в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специализации «Открытые горные работы» направления подготовки «Горное дело»

Кемерово 2015

УДК 622. 271. 3

Рецензенты:

Заведующий кафедрой открытых горных работ Института горного дела, геологии и геотехнологии Сибирского федерального университета профессор, доктор технических наук А. И. Косолапов

Заведующий лабораторией угольной геотехники Института угля СО РАН доктор технических наук В. В. Аксенов

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.

ISBN 978-5-906-805-21-8

На основании результатов экспериментальных научных исследований изложен анализ состояния и направления совершенствования гидромеханизации на разрезах Кузбасса и особенности организации эффективной работы гидрокомплексов большой производительности.

Учебное пособие может быть использовано студентами направления подготовки 21.05.04 «Горное дело» специализации «Открытые горные работы» при выполнении курсового проекта по дисциплине «Гидромеханизация открытых горных работ» и специальной части дипломного проекта, студентами других специальностей – для более глубокого изучения технологических расчетов гидромеханизации, а также инженерно-техническими работниками разрезов и проектных организаций.

Табл. 59. Ил. 37. Библиогр. 69 назв.

УДК 622. 271. 3

© Протасов С. И., Кононенко Е. А.,
Самусев П. А., Литвин Ю. И., 2015

ISBN 978-5-906-805-21-8

© КузГТУ, 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие «Повышение эффективности работы гидромониторно-землесосного комплекса разреза путем согласования режимов работы его основных систем» предназначено для изучения студентами направления подготовки 21.05.04 «Горное дело» специализации «Открытые горные работы» теоретических разделов дисциплины «Гидромеханизация открытых горных работ», связанных с особенностями применения мощных гидромониторов и необходимостью увязки работы систем гидротранспортирования и водоснабжения гидрокомплексов разреза.

В пособии на основании результатов экспериментальных исследований изложены анализ состояния и направления совершенствования гидромеханизации на разрезах Кузбасса, а также методические подходы обеспечения эффективной работы гидрокомплексов большой производительности.

Приведенные в пособии материалы не только познакомят студентов специализации «Открытые горные работы» с теоретическими вопросами применения мощных гидрокомплексов на открытых горных работах, но и позволят выполнять на практических занятиях, при курсовом проектировании и разработке специальной части дипломного проекта расчеты величины дисбаланса производительности систем водоснабжения и гидротранспортирования гидрокомплекса разреза, проверку возможности ликвидации требуемой величины дисбаланса за счет впуска воздуха во всас землесоса, а также определять значения величины необходимого для этого снижения тока, потребляемого его электродвигателем. Учебное пособие может быть использовано студентами других специальностей для более глубокого изучения технологических расчетов гидромеханизации, а также инженерно-техническими работниками разрезов и проектных организаций.

Учебное пособие и приведенные в нем справочники и нормативные документы дополняют основную рекомендуемую учебную литературу по дисциплине «Гидромеханизация открытых горных работ»:

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». – Москва : МГГУ, 2009. – 546 с.

2. Ялтанец, И. М. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Гидромеханизированные и подводные горные работы. Кн. 2. Дрожная разработка россыпных месторождений [Электронный ресурс] : учебник для вузов. – Москва : МГГУ, 2009. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/79188/>.

Авторы надеются, что приведенные теоретические и справочные материалы помогут студентам и инженерным работникам разрезов повысить эффективность гидромеханизации на открытых горных работах, и будут признательны за отзывы и пожелания по улучшению учебного пособия.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в составе ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» работают шесть филиалов, включающих 12 разрезов. Вскрышные породы четвертичных отложений способом гидромеханизации в настоящее время отрабатываются на пяти из них. Планируется отработка рыхлых отложений еще на двух перспективных разрезах.

Динамика объемов гидровскрышных работ на угольных разрезах Кузбасса представлена на рис. 1. Объемы вскрышных пород, разрабатываемых средствами гидромеханизации, в определенной степени могут служить индикатором состояния экономики нашей страны. В период ее развития объемы гидровскрышных работ растут, во время спада и кризиса – уменьшаются.

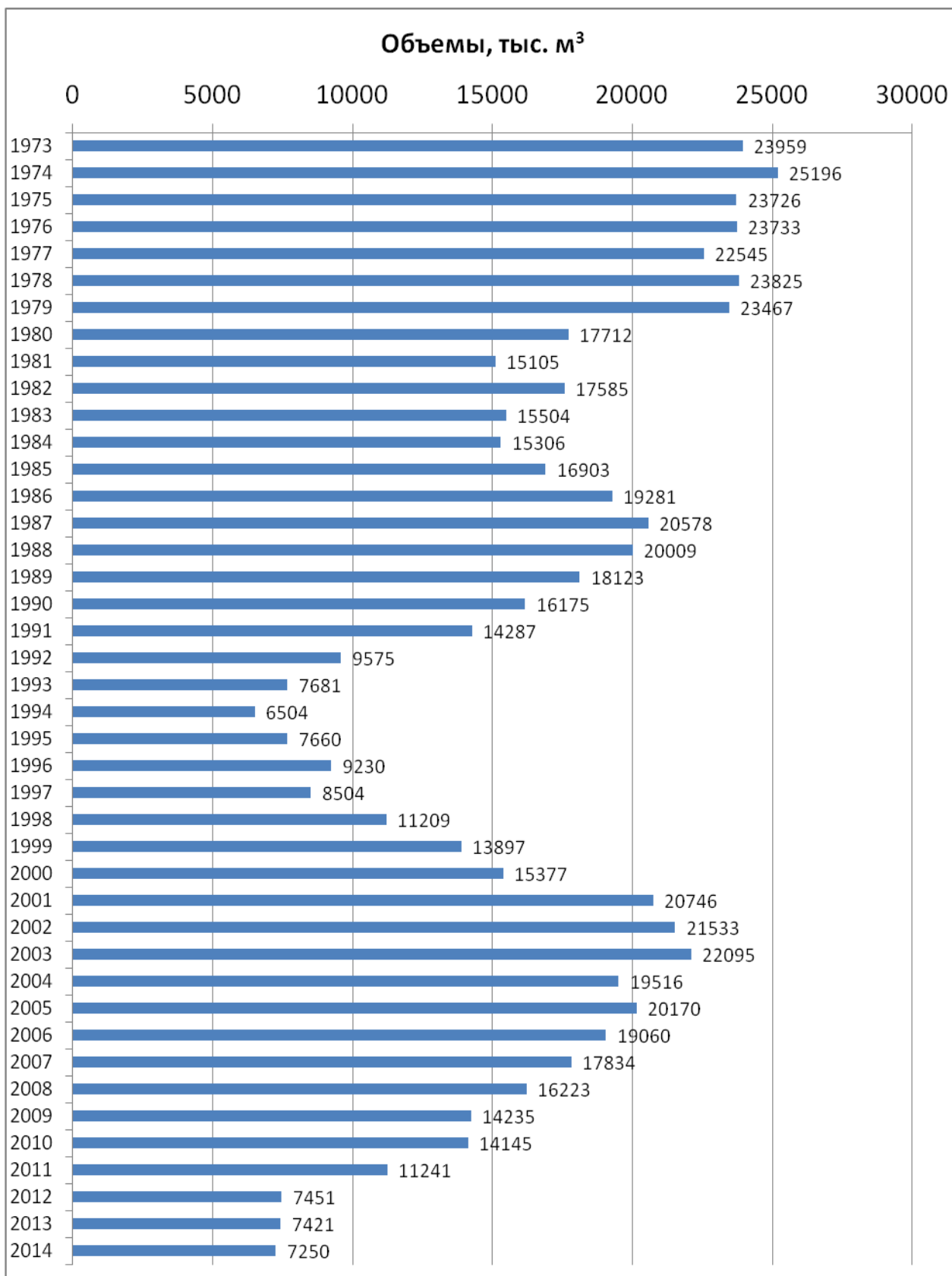
Характеристикой условий работы гидрокомплексов может служить разделение разрабатываемых пород по категориям, представленное в табл. 1, и отношение объема навалов к объему горной массы, разрабатываемых средствами гидромеханизации (табл. 2).

Таблица 1

Категория вскрышных пород четвертичных отложений по трудности разработки средствами гидромеханизации (данные за 2007 г.)

№ п/п	Разрез	Категория пород и объем (тыс. м ³) в процентном соотношении							
		III	%	IV	%	V	%	VI	%
1	Кедровский	130	3,8	380	11,2	400	11,8	2490	73,2
2	Моховский	617	12,2	2379	47,1	2047	40,7	–	–
3	Сартакинский	–	–	2940	70	1260	30	–	–
4	Краснобродский	–	–	–	–	–	–	1200	100
5	Талдинский	–	–	–	–	282	20	1129	80
6	Ерунаковский	–	–	–	–	303	30	707	70

Гидромониторно-землесосными комплексами на разрезах Кузбасса разрабатываются обводненные, налипающие на ковши экскаваторов и кузова транспортных средств горные породы, которые подвержены в забое оползневым явлениям, а при попадании в отвал не способствуют повышению его устойчивости. В период с 1973 по 1979 годы ежегодные объемы гидровскрышных работ достигли своего максимума – 23–25 млн. м³ за сезон, в настоящее время они заметно уменьшились.



Примечание. Данные за 2012–2014 гг. без учета гидровскрыши навалов

Рис. 1. Динамика объемов гидровскрышных работ в Кузбассе

Таблица 2

Отношение объема навалов к объему горной массы

Вид работы	Годы					
	2003	2004	2005	2006	2007	Итого
Вскрыша (гидромеханизация), тыс. м ³	18946	14874	14254	14013	11784	73871
Навалы (гидромеханизация), тыс. м ³	3149	4642	5916	5033	6093	24833
Горная масса (гидромеханизация), тыс. м ³	22095	19516	20170	19060	17834	98704
Отношение объема навалов к объему горной массы, %	14,2	23,7	29,3	26,4	34,2	25,2

Наиболее мощный гидрокомплекс в настоящее время работает на разрезе «Моховский». В 2010 г. доля гидромеханизации при выполнении вскрышных работ на Моховском поле составляла 17 % и 22,8 % на Сартакинском поле, а объемы гидровскрышных работ соответственно 5097 и 4540 тыс. м³ за сезон. Нынешняя тенденция сокращения объемов гидровскрышных работ требует проведения специального анализа состояния и перспектив применения гидромониторно-землесосных комплексов на разрезах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь».

Установлено, что затраты на размыв и гидротранспорт навалов превышают затраты на разработку породы в целике, причем они зависят от срока укладки смываемых навалов и наличия в них скальной породы. Анализ условий работы гидрокомплексов разрезов Кузбасса выявил закономерность увеличения прочностных свойств, разрабатываемых гидроспособом вскрышных пород как четвертичных (наносов), так и навалов бестранспортной вскрыши, в состав которых входят плотные глины и включения выветрелых полускальных пород. Гидромониторный размыв этих пород требует значительного увеличения напора воды на насадке гидромонитора, последовательного подключения мощных водяных насосов и, как следствие, выбора их местоположения и обеспечения баланса параметров системы водоснабжения и гидротранспортирования.

Баланс этих систем подразумевает равенство производительности оборудования по подаче воды в забой (с учетом количества размываемых гидромониторами вскрышных пород) возможностям системы гидротранспортирования, т. е. суммарному расходу грунто-

вых насосов забойной и последующих перекачивающих землесосных станций.

Баланс подразумевает исключение даже временной остановки основного оборудования систем водоснабжения и гидротранспортирования, так как остановка и последующий запуск очень часто выводят из строя оборудование гидромеханизации.

Главными составляющими гидрокомплексов являются системы гидротранспортирования и водоснабжения [15, 23]. Система гидротранспортирования гидромониторно-землесосных комплексов включает в себя трубопроводы для транспортирования гидросмеси вскрышных пород на гидроотвал и грунтовые насосы. Их количество определяется производительностью гидрокомплекса (по твердому), которая зависит от скорости подвигания фронта работ при добыче угля.

При этом возможно различное соединение грунтовых насосов-землесосов: параллельное (для увеличения производительности), последовательное (для увеличения расстояния транспортирования и геодезической высоты подъема гидросмеси), а также с нагнетанием на всас («труба в трубу») или с разрывом потока гидросмеси (промежуточный зумпф).

Достоинства и недостатки всех вышеперечисленных способов соединения гидротранспортного оборудования известны специалистам, однако окончательный выбор может быть дан только после экономического расчета.

Система водоснабжения гидромониторно-землесосных комплексов включает в себя трубопроводы для подачи воды, насосное оборудование и гидромониторы. Насосное оборудование, осуществляющее забор осветленной воды на гидроотвале, как правило, не обеспечивает необходимый напор воды для размыва пород гидромониторами. Требуется последовательное соединение водяных насосов, которые могут располагаться в забое, на перекачивающей землесосной станции или на гидроотвале.

В последующих разделах учебного пособия на основании анализа состояния гидромеханизации на разрезах угольной компании «Кузбассразрезуголь», а также результатов экспериментальных исследований изложены направления совершенствования гидромеханизации, а также методические подходы к обеспечению эффективной работы гидрокомплексов большой производительности.

1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ НА РАЗРЕЗАХ ОАО «УК «КУЗБАССРАЗРЕЗУГОЛЬ»

1.1. Анализ состояния гидромеханизации на разрезах Кузбасса

В настоящее время вскрышные породы четвертичных отложений способом гидромеханизации отрабатываются на пяти разрезах четырех филиалов ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»:

1. «Кедровский угольный разрез» производит размыв ранее намытых в гидроотвал № 3 вскрышных пород с переукладкой гидросмеси в горную выработку участка № 5. Производительность гидрокомплекса по твердому – 3000 тыс. м³ в год. Технологическая схема включает:

– систему напорного водоснабжения гидромониторов, состоящую из плавучей насосной станции I подъема (шесть насосов марки Д2000-100, расположенных на трех понтонах) и «подрезной» установки II подъема с насосами ЦН3000-197 – 4 шт. При этом подача воды на гидромониторы до установки II подъема осуществляется по трем водоводам диаметром 720 мм и далее до забоев по двум водоводам диаметром 720 мм. Баланс воды на технологию при замкнутом цикле водоснабжения достигается путем подпитки пруда-отстойника водой карьерного водоотлива;

– систему напорного гидротранспорта, который осуществляется по трем пульповодам диаметром 720 мм. Гидротранспорт пульпы осуществляют три землесоса WBC 18*20-54.9 производства GIW KSB (Германия), фактическая производительность каждого составляет 4550 м³/ч при напоре 74,5 м.

С целью повышения эффективности гидрокомплекса разреза ООО «Завод Гидромаш» (г. Новокузнецк) по техническому заданию ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» изготовил два опытных образца гидромонитора ГД-300, параметры которого соответствуют параметрам насоса ЦН3000-197: расход воды 3000–3600 м³/ч, допустимый напор 3,0 МПа. На основании заключения экспертизы промышленной безопасности, выполненной новационной фирмой «КУЗБАСС-НИИОГР», Ростехнадзором было выдано разрешение на проведение приемочных испытаний двух образцов гидромонитора ГД-300 в условиях филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»

«Кедровский угольный разрез». По результатам промышленных испытаний, проведенных в 2012–2013 годы и показавших высокую эффективность нового гидромонитора, Ростехнадзор выдал разрешение на применение гидромонитора ГД-300 в условиях открытых горных работ. На разрезе «Кедровский» благодаря применению ГД-300 уже сокращено количество гидромониторных забоев – вместо четырех в одновременной работе находятся три гидромонитора [43].

2. «Моховский угольный разрез». В его составе действуют два гидромониторно-землесосных комплекса. Гидрокомплекс, работающий на Моховском поле, имеет производительность по твердому 5100 тыс. м³ в год. Он включает:

– систему водоснабжения гидромониторов, которая состоит из двух насосных установок: центральной насосной станции, где последовательно соединены насосы ДЗ200-55 и ЦН3000-197 (две пары в работе и одна в резерве, соединенные через коллектор), работающие на водовод диаметром 720 мм; плавучей насосной установки с насосом ДЗ200-55, осуществляющей возврат оборотной воды из горной выработки, замываемой вскрышными породами. Данная насосная установка последовательно соединена с насосом ЦН3000-197, который расположен в забое на площадке гидротранспортной установки;

– систему гидротранспорта, которая состоит из двух забойных гидротранспортных установок № 1 и № 3, оснащенных соответственно одной парой параллельно соединенных землесосов ЗГМ-2М (плюс один землесос в резерве) и двумя парами параллельно соединенных землесосов ЗГМ-2М (плюс два землесоса в резерве), работающих на магистральные пульповоды диаметром 720 мм каждый. По одному из них гидросмесь вскрышных пород поступает в горную выработку, используемую как гидроотвал и замываемую с целью рекультивации. Два других пульповода осуществляют подачу гидросмеси от забойных установок до зумпфа перекачивающей землесосной станции. Там функционируют три пары параллельно соединенных землесосов ЗГМ-2М (плюс три землесоса в резерве), каждая из которых работает на пульповод диаметром 720 мм. Вся система гидротранспорта оборудована 18-ю землесосами, в т. ч. 12 ед. в работе и 6 ед. в резерве.

Гидрокомплекс, работающий на Сартакинском поле разреза, имеет производительность по твердому 4200 тыс. м³ в год. Он включает:

- систему водоснабжения гидромониторов, которая состоит из насосной установки I подъема, где работают три насоса Д3200-55 (два в работе и один в резерве) и установки II подъема, где смонтированы три насоса ЦН3000-197 (два в работе и один в резерве), работающих через общий коллектор на два магистральных водовода диаметром 720 мм каждый. Водоснабжение имеет замкнутый цикл, подпитка осуществляется за счет карьерных вод и паводка. Для разработки борта высотой 40–45 м задействованы четыре забойных гидромонитора ГМД-250М. Работа ведется двумя подступами. Рабочее давление в напорном водоводе 2,3 МПа. Категория пород по трудности разработки – верхний уступ III–IV, нижний – IV–V;

- систему гидротранспорта, состоящую из забойной землесосной установки, оборудованной девятью землесосами ЗГМ-2М. На каждый из трех пульповодов диаметром 720 мм работают два параллельно соединенных землесоса ЗГМ-2М (плюс один землесос в резерве).

Гидроотвалообразование производится в горной выработке разреза.

3. «Краснобродский угольный разрез» отрабатывает четвертичные отложения вскрышных пород и навалы бестранспортной технологии на Новосергеевском поле гидромеханизированным комплексом. Проект гидромеханизации предусматривает производственную мощность 4000 тыс. м³ в сезон. Состав сооружений комплекса включает:

- систему напорного водоснабжения со схемой замкнутого оборотного цикла через пруд-отстойник емкостью 1,85 млн. м³, расположенный за пределами контуров гидроотвала. Система имеет центральную насосную станцию, оборудованную двумя насосами Д6300-80 с электродвигателями с синхронной частотой вращения 500 об/мин и тремя насосами ЦН3000-197. При этом насосы Д6300-80 между собой соединяются параллельно, а с насосами ЦН3000-197 соединяются последовательно через общий коллектор диаметром 1020 мм. Вся система работает на магистральный водовод диаметром 1020 мм на два забойных гидромонитора ГМД-250М;

– систему напорного гидротранспорта, состоящую из двух гидротранспортных установок, расположенных на одной землесосной станции. Первая оборудована одним грунтовым насосом ГрТ4000/71, работающим на трубопровод диаметром 720 мм. Вторая гидротранспортная установка оборудована двумя грунтовыми насосами ГрТ4000/71, которые соединены последовательно и работают на общий трубопровод диаметром 720 мм протяженностью 6100 м. Геодезическая высота подъема для каждой гидротранспортной установки составляет 29 м.

4. «Галдинский угольный разрез» в настоящее время завершает гидровскрышные работы в контурах Центрального поля разреза. Остаточная проектная емкость гидроотвала на р. Еланный Нарык и остаточный объем вскрышных четвертичных отложений на участке «Восточный-73» составляют объем порядка 600 тыс. м³. Выполняются проектные работы и согласование документации по ликвидации гидротехнических сооружений и рекультивации гидроотвала. Эксплуатация оборудования осуществляется с целью сохранения штата трудящихся с минимальными объемами в пределах остаточной вместимости гидроотвала по старому проекту.

Технологическая схема системы водоснабжения на данном участке состоит из насосной станции «Весенняя», оборудованной тремя насосами Д6300-85, которая предназначена для сброса паводковых вод за пределы гидроотвала р. Еланный Нарык и подачи оборотной воды по водоводу диаметром 720 мм на два насоса ЦН3000-197 для повышения напора, необходимого для размыва пород гидромониторами.

Вскрышные породы по трудности разработки на данном поле смыва относятся к IV–VI категориям пород. Поэтому более 50 % объемов вскрыши подвергаются предварительному рыхлению драглайном ЭШ-20/90 с последующим размывом гидромонитором Г-521 производства ООО «Юргинский машзавод» с характеристиками, аналогичными гидромонитору ГД-300 производства ООО «Завод Гидромаш».

Система гидротранспорта состоит из одной установки с грунтовыми насосами ГрТ4000/71 (1 в работе и 1 в резерве), работающими на пульповод диаметром 720 мм.

Сводная характеристика гидротранспортных и насосно-гидромониторных установок рассмотренных угольных разрезов приведена в табл. 1.1 [21, 26].

Анализируя потенциал существующих гидротранспортных и насосно-гидромониторных установок гидромониторно-землесосных комплексов угольных разрезов (табл. 1.2), однозначно можно сказать, что возможности гидромеханизации используются далеко не полностью [41, 44].

Весьма вероятно, что это приводит к увеличению себестоимости разработки пород по данной технологии. Рассмотрим динамику изменений удельных эксплуатационных затрат на разработку вскрышных пород, которая приведена в табл. 1.3–1.9 [25, 53].

В таблицах величина удельных эксплуатационных затрат по видам технологии разработки представлена в относительных единицах. В качестве единицы измерения была принята величина удельных эксплуатационных затрат на разработку вскрышных пород средствами гидромеханизации – среднее значение для разрезов ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» за 2007 г. (табл. 1.3). Данные, представленные в этой таблице, свидетельствуют о том, что:

- за рассматриваемый период (2007–2012 гг.) удельные эксплуатационные затраты на разработку вскрышных пород средствами гидромеханизации изменялись в относительно небольшом диапазоне – от 0,85 до 1,57;

- абсолютные значения удельных эксплуатационных затрат на разработку вскрышных пород средствами гидромеханизации в этот период превышают аналогичный показатель экскавации на борт, близки по значению к величине затрат при применении автомобильного и железнодорожного транспорта и значительно ниже в сравнении с комбинированной технологией;

- в 2007 г. удельные затраты на разработку вскрыши в ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» средствами гидромеханизации превышали аналогичный показатель всех других технологий, применяемых компанией, за исключением комбинированной. К 2009 году они стали наименьшими и практически сравнялись с затратами при экскавации на борт и стабильно ниже в сравнении с применением автомобильного и железнодорожного транспорта;

- общий объем гидровскрышных работ имеет общую тенденцию к уменьшению, как и величина коэффициента нагрузки гидро-

комплексов. Значение этого коэффициента определяется как отношение фактической величины объема гидровскрыши (вскрыша и навалы) к возможной сезонной производительности участка гидромеханизации (см. табл. 1.1).

Вполне очевидно, что чем ближе фактическая производительность гидрокомплекса к его техническим возможностям, тем меньше величина удельных эксплуатационных затрат при применении гидромеханизированной технологии.

Весьма вероятно, что значение этого коэффициента позволит понять причину довольно значительного диапазона изменения себестоимости отработки вскрышных пород гидрокомплексами на разрезах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь».

Анализ изменений удельных эксплуатационных затрат на разработку четвертичных вскрышных пород средствами гидромеханизации по всем гидромеханизированным разрезам ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» (см. табл. 1.4–1.9) показывает, что зависимость между удельными эксплуатационными затратами и коэффициентом нагрузки четко прослеживается. Сейчас вполне понятно, что при годовой производительности гидроучастка, близкой по величине к проектной, затраты на разработку гидрокомплексом значительно ниже по сравнению с любой транспортной технологией. В те годы, когда по каким-то причинам (отработка объемов будущих периодов, отсутствие возможности укладки пород в гидроотвал и т. п.) годовая производительность снижалась, удельные эксплуатационные затраты на гидровскрышу резко возрастали.

Таблица 1.1

Характеристика гидромониторно-землесосных установок на разрезах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»

№ п/п	Наименование Показателей	Фиалиал (разрез)					Всего
		Кедровский	Моховский (Моховское поле)	Моховский (Сартакинское поле)	Краснобродский	Талдинский	
1	Возможная сезонная производительность участка гидромеханизации, тыс. м ³ /год	3500	5100	4200	4000	4500	21300
2	Количество землесосных установок II подъема, шт.	0	1	0	0	1	2
3	Количество забойных землесосных установок, шт.	1	2	1	1	2	7
4	Марка применяемых землесосов	WBC18*20, ЗГМ-2М	ЗГМ-2М	ЗГМ-2М	ГрТ4000/71	ГрТ4000/71	
5	Количество землесосов в забое (в работе + резерв), шт.	3 + 1	6 + 3	6 + 3	3 + 1	3 + 2	21 + 10
6	Количество землесосов на установке II подъема (в работе + резерв), шт.	0	6 + 3	0	1	3+3	10 + 6
7	Количество и протяженность пульповодов, шт. (м)	3 (5500)	3 (5600)	3 (600)	2 (5500)	3 (6500)	14 (23700)

Продолжение табл. 1.1

№ п/п	Наименование Показателей	Филиал (разрез)					Всего
		Кедровский	Моховский (Моховское поле)	Моховский (Сартакинское поле)	Краснобродский	Талдинский	
8	Удельный расход воды на разработку грунта, м ³ /м ³	8	6	6	8,5	9	
9	Геодезическая высота подъема пульпы, м	31–40,6	75	27	43,2	25	
10	Водоснабжение: кол-во установок I подъема	1	2	1	1	1	6
11	Марка насоса и кол-во насосов на установке I подъема (в работе + резерв), шт.	Д2000-100, 6 6 + 2	Д3200-55, 3 + 1	Д3200-55, 2 + 1	Д6300-80, 1 + 1	Д6300-80, 2 + 2	14 + 7
12	Марка насоса и кол-во насосов на установке II подъема (в работе + резерв), шт.	ЦН3000-197, 3 + 1	ЦН3000-197, 3 + 1	ЦН3000-197, 2 + 1	ЦН3000-197, 1 + 2	ЦН3000-197, 3 + 3	12 + 8
13	Диаметр, количество и протяженность водоводов	720 × 10 мм, 6280 м × 2 шт.	720 × 10 мм, 5100 м × 3 шт.	720 × 10 мм, 1750 м × 1 шт.	1020 × 10 мм, 1200 м × 1 шт.	920 × 10 мм, 7000 м × 2 шт.	720 (1020) × 9 шт., (44810 м)
14	Геодезическая высота подъема воды, м	10	68,1	–14	2,7	83,5	

Таблица 1.2

Объемы вскрышных пород, разрабатываемых на разрезах
ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» средствами гидромеханизации

Компания, разрез, карьерное поле	Г о д ы					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
УК «Кузбассраз- резуголь»	$\frac{11784}{6093}$; (4,0)*	$\frac{11331}{4892}$; (3,3)	$\frac{11207}{3028}$; (3,5)	$\frac{10945}{3200}$; (3,3)	$\frac{9550}{1721}$; (3,2)	$\frac{7451}{3190}$; (2,95)
Филиал «Кедровский угольный разрез»	$\frac{100}{3020}$; (0,2)	$\frac{300}{3220}$; (0,7)	$\frac{-}{2035}$; (-)	$\frac{-}{949}$; (-)	$\frac{775}{585}$; (3,1)	$\frac{-}{1715}$; (3,9)
Филиал «Моховский угольный разрез»	-	-	$\frac{9584}{30}$; (17,5)	$\frac{9637}{46}$; (19,4)	$\frac{6858}{916}$; (15,53)	$\frac{5001}{720}$; (12,2)
Моховское поле	-	-	$\frac{5174}{-}$; (15,3)	$\frac{5097}{16}$; (17,0)	$\frac{3378}{880}$; (16,6)	$\frac{3001}{720}$; (15,3)
Сартакинское поле	-	-	$\frac{4410}{30}$; (21,2)	$\frac{4540}{30}$; (22,8)	$\frac{3450}{36}$; (19,0)	$\frac{2000}{-}$; (12,3)
Разрез «Моховский	$\frac{5043}{250}$; (18,1)	$\frac{5104}{316}$; (16)	-	-	-	-
Разрез «Сартакин- ский»	$\frac{4220}{-}$; (22,8)	$\frac{4280}{-}$; (23,2)	-	-	-	-
Филиал «Красноброд- ский угольный разрез»	$\frac{-}{1200}$; (-)	$\frac{-}{1200}$; (-)	$\frac{187}{963}$; (0,5)	$\frac{303}{950}$; (0,6)	$\frac{1161}{-}$; (1,9)	$\frac{1000}{135}$; (1,9)
Филиал «Талдинский угольный разрез»	-	-	$\frac{1436}{-}$; (1,8)	$\frac{1005}{1255}$; (4,0)	$\frac{756}{220}$; (1,9)	$\frac{1450}{620}$; (3,6)

Продолжение табл. 1.2

Компания, разрез, карьерное поле	Г о д ы					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Талдинское поле	–	–	$\frac{1436}{-}; (1,8)$	$\frac{1005}{1255}; (4,0)$	$\frac{756}{220}; (1,9)$	$\frac{1450}{620}; (3,6)$
Разрез «Талдинский»	$\frac{1411}{1623}; (3,2)$	$\frac{614}{156}; (0,8)$	–	–	–	–
Разрез «Ерунаковский»	$\frac{1010}{-}; (6,1)$	$\frac{1033}{-}; (5,9)$	–	–	–	–

* в числителе – годовой объем гидровскрышных работ, в знаменателе – уборка навалов (тыс. м³);
в скобках – удельный вес гидромеханизации (%)

Таблица 1.3

Динамика технико-экономических показателей на разрезах
ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»

Удельные эксплуатационные затраты; объем гидровскрыши; коэффициент нагрузки гидромеханизации	Годы					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Вскрыша (среднее значение), дол. ед.	0,87	1,02	1,00	1,12	1,40	1,64
Разработка с применением ж. д. транспорта, дол. ед.	0,97	1,03	1,33	1,36	1,64	2,02
Разработка с применением автотранспорта, дол. ед.	0,86	1,01	0,96	1,09	1,38	1,61
Экскавация на борт, дол. ед.	0,63	0,82	0,92	0,93	1,22	1,41
Разработка средствами гидромеханизации, дол. ед.	1,00	0,96	0,85	1,01	1,12	1,57
Комбинированная, дол. ед.	1,31	1,56	1,82	2,10	2,31	2,38
Гидровскрыша (вскрыша и навалы), тыс. м ³	17877	16223	14235	14145	11241	10641
Коэф. нагрузки, дол. ед.	0,839	0,762	0,668	0,664	0,528	0,498

Таблица 1.4

Динамика технико-экономических показателей филиала
ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Кедровский угольный разрез»

Удельные эксплуатационные затраты; объем гидровскрыши; коэффициент нагрузки гидромеханизации	Годы					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Вскрыша (среднее значение), дол. ед.	0,97	1,14	1,16	1,21	1,42	1,66
Разработка с применением ж. д. транспорта, дол. ед.	1,17	1,20	1,35	1,45	1,72	2,14
Разработка с применением автотранспорта, дол. ед.	0,88	1,07	1,06	1,11	1,34	1,53
Экскавация на борт, дол. ед.	–	–	–	–	–	–
Разработка средствами гидромеханизации, дол. ед.	27,20	9,54	1,10	2,17	2,12	–
Комбинированная, дол. ед.	–	–	–	–	–	–
Гидровскрыша (вскрыша и навалы), тыс. м ³	3120	3520	2035	949	1360	–
Коэф. нагрузки, дол. ед.	0,890	1,010	0,582	0,270	0,390	–

Таблица 1.5

Динамика технико-экономических показателей
на разрезе «Сартакинский» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»

Удельные эксплуатационные затраты; объем гидровскрыши; коэффициент нагрузки гидромеханизации	Годы	
	2007	2008
Вскрыша (среднее значение), дол. ед.	0,71	0,83
Разработка с применением ж. д. транспорта, дол. ед.	–	–
Разработка с применением автотранспорта, дол. ед.	0,83	0,98
Экскавация на борт, дол. ед.	0,71	0,84
Разработка средствами гидромеханизации, дол. ед.	0,40	0,44
Комбинированная, дол. ед.	–	–
Гидровскрыша (вскрыша и навалы), тыс. м ³	4220	4280
Коэф. нагрузки, дол. ед.	1,005	1,019

Таблица 1.6

Динамика технико-экономических показателей филиала
ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Моховский угольный разрез»
(с 2009 г. приведены общие данные по Моховскому
и Сартакинскому полям разреза)

Удельные эксплуатационные затраты; объем гидровскрыши; коэффициент нагрузки гидромеханизации	Годы					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Вскрыша (среднее значение), дол. ед.	0,48	0,53	0,75	0,92	1,15	1,35
Разработка с применением ж. д. транспорта, дол. ед.	–	–	–	–	–	–
Разработка с применением автотранспорта, дол. ед.	0,59	0,57	0,81	1,05	1,27	1,40
Экскавация на борт, дол. ед.	0,48	0,56	0,78	0,88	1,11	1,35
Разработка средствами гидромеханизации, дол. ед.	0,34	0,38	0,47	0,57	0,73	1,01
Комбинированная, дол. ед.	–	–	–	–	–	–
Гидровскрыша (вскрыша и навалы), тыс. м ³	5293	5420	9614	9683	7774	5721
Коэф. нагрузки, дол. ед.	1,038	1,063	1,034	1,041	0,830	0,613

Таблица 1.7

Динамика технико-экономических показателей филиала
ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Краснобродский угольный разрез»

Удельные эксплуатационные затраты; объем гидровскрыши; коэффициент нагрузки гидромеханизации	Годы			
	2009	2010	2011	2012
Вскрыша (среднее значение), дол. ед.	1,01	1,02	1,25	1,59
Разработка с применением ж. д. транспорта, дол. ед.	1,42	1,15	1,39	1,55
Разработка с применением автотранспорта, дол. ед.	0,98	1,00	1,24	1,59
Экскавация на борт, дол. ед.	0,89	0,69	0,26	-
Разработка средствами гидромеханизации, дол. ед.	5,60	4,63	1,18	1,57
Комбинированная, дол. ед.	-	-	-	-
Гидровскрыша (вскрыша и навалы), тыс. м ³	1150	1253	1161	1135
Коэф. нагрузки, дол. ед.	0,290	0,311	0,293	0,286

Таблица 1.8

Динамика технико-экономических показателей в филиале
ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Талдинский угольный разрез»

Удельные эксплуатационные затраты; объем гидровскрыши; коэффициент нагрузки гидромеханизации	Годы					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Вскрыша (среднее значение), дол. ед.	0,80	0,93	0,91	1,06	1,44	1,57
Разработка с применением ж. д. транспорта, дол. ед.	-	-	-	-	-	-
Разработка с применением автотранспорта, дол. ед.	0,73	0,88	0,87	1,04	1,43	1,56
Экскавация на борт, дол. ед.	1,02	1,69	1,29	1,06	1,43	1,51
Разработка средствами гидромеханизации, дол. ед.	1,96	2,35	1,18	2,08	2,80	1,79
Комбинированная, дол. ед.	0,80	0,91	1,12	1,55	2,17	1,74
Гидровскрыша (вскрыша и навалы), тыс. м ³	3034	770	1436	2260	976	2070
Коэф. нагрузки, дол. ед.	0,670	0,172	0,320	0,500	0,220	0,48

Таблица 1.9

**Динамика технико-экономических показателей на разрезе
«Ерунаковский» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»**

Удельные эксплуатационные затраты; объем гидровскрыши; коэффициент нагрузки гидромеханизации	Годы	
	2007	2008
Вскрыша (среднее значение), дол. ед.	0,73	0,86
Разработка с применением ж. д. транспорта, дол. ед.	–	–
Разработка с применением автотранспорта, дол. ед.	0,58	0,76
Эксплуатация на борт, дол. ед.	0,81	0,94
Разработка средствами гидромеханизации, дол. ед.	1,85	1,61
Комбинированная, дол. ед.	–	–
Гидровскрыша (вскрыша и навалы), тыс. м ³	1010	1033
Коэф. нагрузки, дол. ед.	0,840	0,860

1.2. Направления совершенствования гидромеханизации на разрезах

Главным моментом, определяющим эффективность работы гидрокомплекса [4, 6], является продолжительность использования рабочего времени за сезон. В этом плане основной технической задачей, решение которой обеспечит высокую эффективность работы гидротехнологии, становится исключение простоев основного рабочего оборудования, связанного с организацией производственного процесса, и обеспечение сочетания параметров многоступенчатых, взаимосвязанных систем гидромониторно-землесосных комплексов [8, 14, 51].

Анализируя вышеописанные структуры гидротранспортных установок, можно отметить, что в условиях разрезов Кузбасса применяются как одноступенчатые системы гидротранспортирования, так и многоступенчатые (двухступенчатые). Причем одноступенчатые гидротранспортные установки оборудованы одним или двумя грунтовыми насосами, работающими параллельно [19, 54].

Все двухступенчатые гидротранспортные установки работают через промежуточный зумпф. Это позволяет помимо упрощения обслуживания выбрать местоположение перекачивающей землесосной станции таким образом, что она прослужит на одном месте без передвижки максимально возможное время, работая при этом в оптимальном режиме без его регулирования. Регулирование режима

работы в этом случае потребуются только для грунтовых насосов забойной землесосной станции. Такие гидротранспортные установки в процессе эксплуатационных расчетов можно рассматривать как две одноступенчатые.

Обычно забойные и перекачивающие землесосные станции таких гидротранспортных установок оборудуются каждый одним или двумя одинаковыми грунтовыми насосами. Однако количество грунтовых насосов на землесосных станциях может быть и разным. Например, забойная землесосная установка оборудуется одним грунтовым насосом, а перекачивающая – двумя, работающими параллельно, с суммарной подачей близкой к производительности головного грунтового насоса, или наоборот. Такие схемы землесосных станций могут применяться в двух случаях:

- если напора двух одинаковых грунтовых насосов недостаточно для преодоления сопротивления внешней сети, а суммарный напор двух параллельно работающих насосов больше, чем одного;
- как промежуточный этап реконструкции гидротранспортной установки, когда на первом этапе целесообразно частично использовать существующее насосное оборудование.

Гидротранспортные системы характеризуются также наличием резервного насосного оборудования. Опыт эксплуатации гидротранспортных установок в условиях угольных разрезов Кузбасса показывает, что на каждой землесосной станции (забойной или перекачивающей) достаточно иметь один резервный грунтовой насос на один или два рабочих, работающих параллельно.

В структурах с параллельной работой используются одинаковые насосы. Для последовательной работы могут применяться как одинаковые, так и разнотипные насосы с близкими по величине подачами, но с разными напорами. В последнем случае насосы с более низкими напорами располагаются на головных станциях, а высоконапорные – на перекачивающих.

Основными в структурах гидротранспортных установок являются грунтовые насосы ГрТ4000/71 и ЗГМ-2М (ГрУ2000-63). Однако грунтовые насосы ГрТ4000/71 могут быть заменены двумя параллельно работающими насосами ГрУ2000-63 или ЗГМ-2М, а вместо грунтовых насосов ГрУ2000-63 или ЗГМ-2М, в свою очередь, могут быть использованы два параллельно соединенных грунтовых насоса ГрТ1250/71 [18, 55].

Тип и количество грунтовых насосов для забойных землесосных станций определяется необходимой производительностью гидротранспортной установки по твердому. Количество грунтовых насосов в последовательном соединении принимается в зависимости от необходимого напора. При этом необходимо определить местоположение перекачивающей землесосной станции и при необходимости выбрать способ и параметры регулирования для согласования режимов работы забойных и перекачивающих грунтовых насосов [57, 58].

Выбор насосного оборудования для системы водоснабжения зависит от структуры гидротранспортной установки [67, 68]. Структуры насосно-гидромониторных установок с различным количеством насосов на головной и перекачивающей насосных станциях, так же как и в случае гидротранспортных установок, применяются при реконструкциях гидромониторно-землесосных комплексов. При работе в забое одного грунтового насоса ГрУ2000/63 (ЗГМ-2М) основным вариантом оборудования является применение насоса Д2000-100. Такие же параметры могут быть обеспечены двумя параллельно работающими насосами Д1250-125 или ЦН1000-180.

В структурах гидромониторно-землесосных комплексов с одним забойным грунтовым насосом ГрТ4000/71 водоснабжение может осуществляться одним головным насосом Д4000-95 или ЦН3000-197 или двумя параллельно работающими насосами Д2000-100. Количество насосов при последовательном соединении определяется в зависимости от необходимого напора перед насадкой гидромонитора и характеристики трассы трубопроводов [60, 62].

Главным фактором, определяющим эффективность принятой технологической схемы гидромониторно-землесосного комплекса, являются тип и количество основного оборудования гидрокомплекса разреза [39, 47, 52]. Как показывает анализ динамики основных показателей гидромониторно-землесосных комплексов угольных разрезов Кузбасса, величина расстояния от забоя до гидроотвала имеет тенденцию постоянного увеличения [20, 61]. В конце прошлого века система гидротранспортирования угольных разрезов обычно состояла из одного грунтового насоса, который обеспечивал напор, необходимый для доставки гидросмеси по трубам на гидроотвал [35, 38]. В настоящее время для этой цели требуется как ми-

нимум еще одна перекачивающая землесосная станция, а в перспективе понадобится либо еще один последовательно соединенный грунтовый насос, либо землесосы с более высоким напором. В таком случае сразу возникает вопрос о местоположении перекачивающих станций и обеспечении баланса между последовательно работающими землесосами [9, 35].

Выпущенные ранее [49] «Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах» (часть III) включали схемы ведения горных работ с применением гидромеханизации. Для своего времени они дали решение главной задачи – выбор параметров гидрокомплекса и схему расположения основного гидротранспортного оборудования в забое. В результате значительного усложнения горнотехнических условий применения гидромониторно-землесосных комплексов на угольных разрезах осуществить выбор и обосновать параметры гидрокомплекса по типовой схеме отработки забоя практически невозможно. Только учитывая всю технологическую схему гидротранспортирования (чаще всего с перекачивающими землесосными станциями), обеспечивая общий баланс в ней, а также баланс с системой водоснабжения, возможно обеспечить высокоэффективную работу гидромониторно-землесосного комплекса [2, 3, 62].

Таким образом, технологическая схема ведения гидровскрышных работ на угольных разрезах при применении гидромониторно-землесосного комплекса состоит из трех основных элементов: системы гидротранспортирования; системы водоснабжения; технологической схемы отработки забоя.

После выбора структуры и оборудования гидромониторно-землесосного комплекса [15, 69] необходимо убедиться в соответствии режимов работы насосного оборудования гидротранспортной и насосно-гидромониторной установок. Если такого соответствия нет, то необходимо регулировать работу насосного оборудования или системы водоснабжения, или системы гидротранспортирования, или и той и другой [16, 50, 59].

Главной задачей при проектировании гидрокомплекса разреза является выбор схемы и привязка ее к горнотехническим условиям конкретного участка (не разреза в целом). Только в этом случае можно получить наилучшие технико-экономические показатели работы гидрокомплекса [1, 33, 34, 45, 66].

Такой порядок выбора структуры и оборудования основных систем гидромониторно-землесосных комплексов, к сожалению, в современных условиях управления и координации работы гидромеханизации на разрезах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» можно считать недостижимым. Отсутствие единого управления столь специфичным видом комплексной механизации открытых горных работ, очевидная нехватка высококвалифицированных специалистов в проектных организациях и на производстве привели к тому, что каждый карьер действует фактически так, как ему удастся [22, 23]. Почему применяется столько видов (типов) грунтовых насосов? Кто-то может себе позволить приобретение современных и довольно дорогих немецких, а кто-то довольствуется использованием разработанных в первой половине прошлого века (хотя и довольно удачной конструкции) землесосов ЗГМ-2М.

Давно назрел вопрос об унификации параметров основного оборудования гидромониторно-землесосных комплексов. Необходимо, на наш взгляд, определить типовые параметры гидрокомплексов, взаимоувязав по производительности на определенный диаметр трубопровода величину подачи грунтового насоса, гидромонитора и водяного насоса [12, 40, 46]. При этом можно получить торговую скидку у производителя от количества единовременно приобретаемого оборудования, иметь минимум запасных частей на общем складе, наладить сервисное заводское обслуживание и выйти на новый, более высокий уровень технического перевооружения [48]. К решению таких задач должны быть готовы сегодняшние студенты.

Специалистам известно, что ООО «Юргинский машзавод» (г. Юрга) и ОАО «Завод «Гидромаш» (г. Новокузнецк) разработали и изготовили опытные образцы современных высокопроизводительных гидромониторов, которые имеют заводскую марку соответственно Т-521 и ГД-300. Их технические характеристики практически идентичны.

Освоение серии при изготовлении порядка 10 единиц нового оборудования, например гидромониторов ГД-300, явно приведет к снижению производственных издержек и цены. При централизованном заказе водяных или грунтовых насосов произойдет не только уменьшение отпускной цены, но и возможна, при необходимости

для конкретного разреза, корректировка определенных характеристик (параметров) приобретаемого оборудования.

В процессе промышленных испытаний опытных образцов этих гидромониторов подтверждена их работоспособность и высокая эффективность – каждый из них заменяет два гидромонитора ГМД-250М. В результате достигается, прежде всего, экономия заработной платы – вместо двух гидромониторщиков в смену требуется один. В то же время возникла особая ситуация, причиной которой в первую очередь является сокращение объемов гидровскрышных работ. Если раньше забойная землесосная установка чаще всего являлась групповой, при этом работали несколько грунтовых насосов, то теперь у забойного зумпфа гидросмесь вскрышных пород забирает только один грунтовый насос Гр4000/71 (или два параллельно соединенных землесоса ЗГМ-2М). Производительность по гидросмеси такой забойной землесосной установки составляет порядка 4000 м³/ч. Для обеспечения необходимой водопроизводительности в этом случае достаточно одного гидромонитора ГД-300 или Т-521.

Как известно, цикл работы гидромонитора включает несколько операций [36, 37]. Первая – подрезка разрабатываемого уступа, во время которой в зоне подошвы 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 струей гидромонитора по пульповодной канаве (поддержание необходимого ее уклона).

Если в процессе размыва обрушившейся породы гидромониторной струей соотношение твердого к жидкому в гидросмеси при давлении воды на насадке гидромонитора 1,8–2,0 МПа составляет 1:8 или 1:9 (в зависимости от группы разрабатываемых пород), то при подрезке расход воды резко возрастает до 12–15 м³/м³. Величина притока гидросмеси в зумпф уменьшается, а снижение концентрации твердого в гидросмеси приводит к увеличению производительности грунтового насоса, что дополнительно усугубляет ситуацию, в результате уровень гидросмеси в зумпфе начинает резко по-

нижаться, и машинист землесосной установки включает зумпфовой гидромонитор (рис. 1.1), чем снижает напор воды на размыв у гидромонитора в забое, уменьшается интенсивность размыва пород, и ситуация еще более ухудшается и приводит к разбалансировке параметров систем водоснабжения и гидротранспортирования.

Следовательно, анализ данной ситуации и разработка мероприятий по поддержанию баланса параметров систем водоснабжения и гидротранспорта, исключающих остановку и повторный запуск забойной землесосной установки, является одной из задач данного учебного пособия.

Вышеизложенное позволяет считать, что гидромониторно-землесосные комплексы являются сложной структурой комплексной механизации для ведения открытых горных работ, которая включает в себя достаточно большое количество грунтовых и водяных насосов, соединенных между собой как последовательно, так и параллельно. Давление жидкости в трубопроводах достигает 2,3 МПа. В этой связи обеспечение высокой эффективности ведения гидровскрышных работ при применении гидромониторно-землесосных комплексов является важной научно-технической задачей.

Владение этими методическими подходами позволит решить задачу более эффективной организации гидромеханизированной разработки мощных четвертичных отложений на новых перспективных участках месторождений, на которые будут переходить в ближайшие годы разрезы компании «Кузбассразрезуголь».

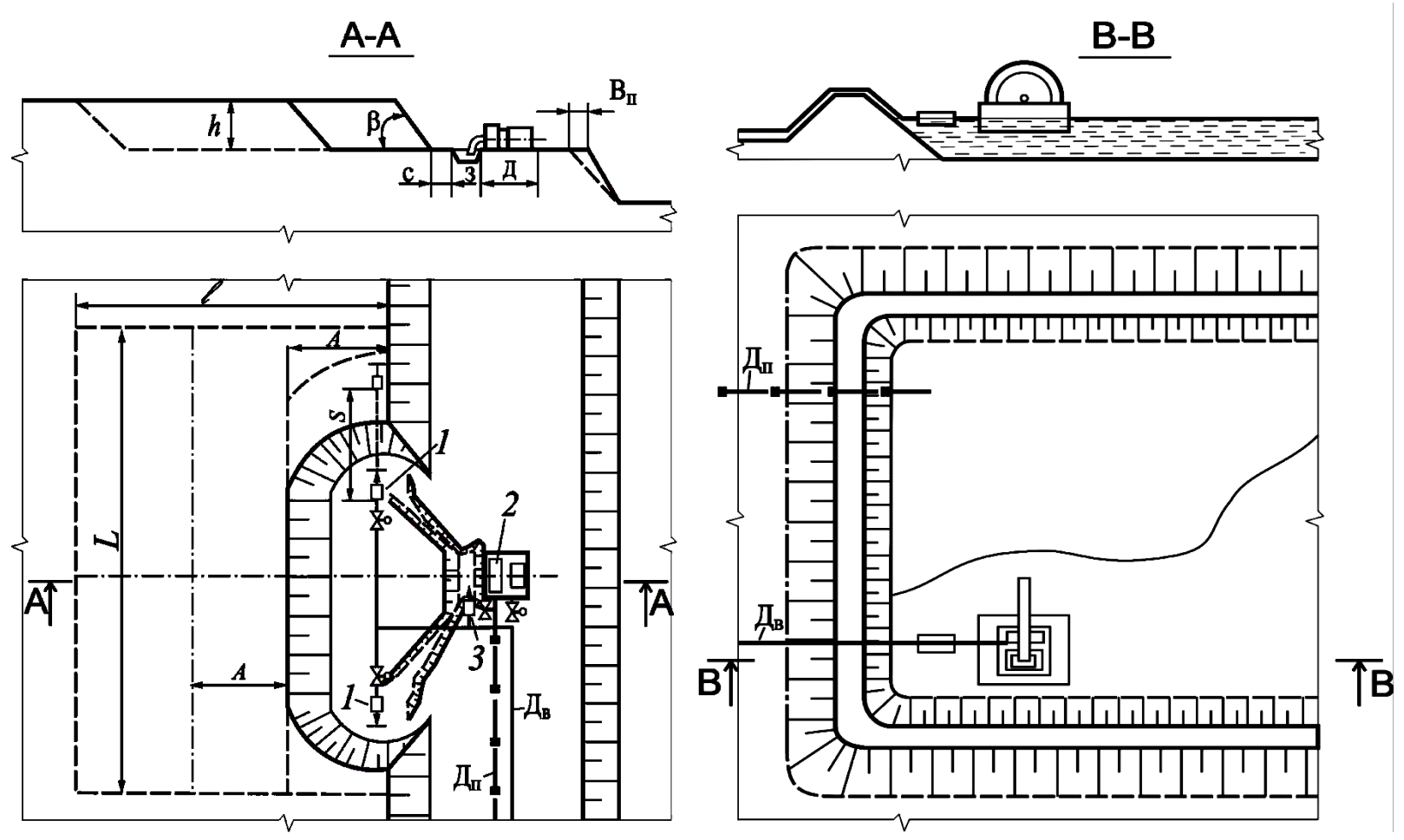


Рис. 1.1. Технология гидроскрышных работ с применением гидромониторно-землесосных комплексов:
 1 – забойный гидромонитор; 2 – грунтовой насос; 3 – зумпфовой гидромонитор; $D_{в}$ – водовод, $D_{п}$ – пульпопровод

2. ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОМОНИТОРНО-ЗЕМЛЕСОСНОГО КОМПЛЕКСА ПУТЕМ СОГЛАСОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЕГО ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

2.1. Структуры гидротранспортных установок в составе гидромониторно-землесосных комплексов разрезов Кузбасса

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 твердому. При этом возможно различное соединение грунтовых насосов (землесосов): параллельное (для увеличения производительности) и последовательное (для увеличения расстояния транспортирования и геодезической высоты подъема гидросмеси).

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

Размещение последовательно соединенных 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 насосов имеет очень ограниченную область применения.

Работа рассредоточенных по трассе трубопроводов грунтовых насосов без разрыва сплошности потока гидросмеси характеризуется жесткой взаимозависимостью последовательно соединенных 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. Главными факторами, определяющими эффективность принятой технологической схемы гидромониторно-

землесосного комплекса, являются тип и количество основного оборудования гидрокомплекса разреза.

Как показывает анализ динамики основных показателей гидромониторно-землесосных комплексов угольных разрезов Кузбасса, величина расстояния от забоя до гидроотвала имеет тенденцию постоянного увеличения. В конце прошлого века система гидротранспортирования угольных разрезов обычно состояла из одного грунтового насоса, который обеспечивал напор, необходимый для доставки гидросмеси по трубам на гидроотвал. В настоящее время для этой цели требуется как минимум еще одна перекачивающая землесосная станция, а в перспективе понадобится либо еще один последовательно соединенный грунтовой насос, либо землесосы с более высоким напором. В таком случае сразу возникает вопрос о местоположении перекачивающих станций и обеспечении баланса между последовательно работающими землесосами.

Анализируя приведенные в главе 1 структуры гидротранспортных установок, можно отметить, что в условиях разрезов Кузбасса применяются как одноступенчатые системы гидротранспортирования, так и многоступенчатые (двухступенчатые). Причем одноступенчатые гидротранспортные установки оборудованы одним или двумя грунтовыми насосами, работающими параллельно. С целью облегчения анализа работы и выбора рациональной технологической схемы ведения гидровскрышных работ на угольных разрезах произведем группировку структур систем гидротранспортирования гидромониторно-землесосных комплексов.

Основой такой систематизации является поток гидросмеси, перемещающий вскрышные породы из забоя в гидроотвал. Для горнотехнических условий конкретного разреза сначала выбирается типовая структура системы гидротранспортирования, для которой подбираются приемлемые варианты системы водоснабжения. Приняты следующие ограничения:

- на один трубопровод работает один или два грунтовых насоса (землесоса), соединенных параллельно;
- при значительных расстояниях транспортирования гидросмеси и (или) большой геодезической высоте ее подъема последовательное соединение грунтовых насосов осуществляется с разрывом сплошности потока гидросмеси, т. е. перекачивающая землесосная станция оборудуется собственным зумпфом (в отдельных случаях

конкретным проектом допускается применение способа соединения забойных и перекачивающих землесосных станций без разрыва потока гидросмеси);

- 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 ее разработки;

- система резервирования: на один и на два работающих для обеспечения требуемой производительности гидромонитора водяных и грунтовых насосов в резерве должен находиться еще один;

- для увеличения производительности гидрокомплекса разреза количество потоков (пульповодов) кратно увеличивается.

Типовые структуры системы гидротранспортирования гидромониторно-землесосных комплексов представлены на рис. 2.1 [44]. В основе их систематизации – местоположение грунтовых насосов (землесосов). В соответствии с принятыми ограничениями представлены варианты, когда на один трубопровод работают один или два грунтовых насоса.

Первые две структуры не предусматривают применения перекачивающих землесосных станций. Для них главной задачей расчетов при проектировании являются определение фактического режима работы гидротранспортного оборудования, производительность по твердому, выбор рациональной типовой структуры системы водоснабжения и обеспечение баланса между этими системами. Для типовых структур под номерами III–VI дополнительно, перед выбором типовой структуры системы водоснабжения, следует обеспечить равенство подач (баланс) забойного и перекачивающего грунтовых насосов. На один грунтовый насос в забое могут работать два параллельно соединенных, расположенных на перекачивающей землесосной станции грунтовых насоса, и наоборот. Такое соединение землесосов определяется расстоянием транспортирования и геодезической высотой подъема гидросмеси, которые зависят от местоположения насосных станций и типа грунтового насоса.

Например, если забойный землесос Гр2000/63 не обеспечивает при последовательном соединении с таким же перекачным землесосом требуемой производительности из-за нехватки напора, то

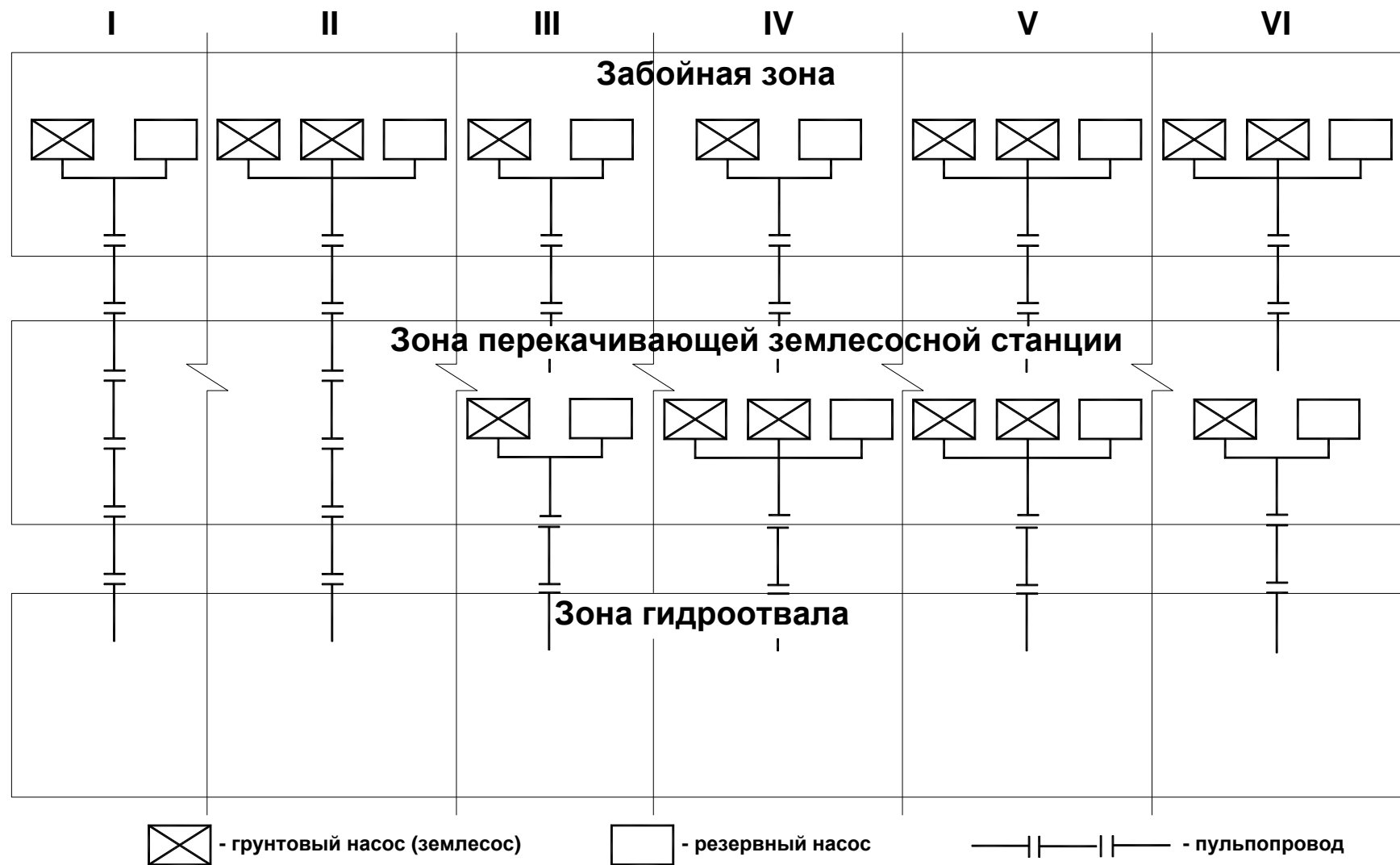


Рис. 2.1. Структура систем гидротранспортирования гидромониторно-землесосных комплексов разрезов Кузбасса

вместо одного из них могут применяться два соединенных параллельно грунтовых насоса Гр1250/71.

Аналогичный случай – вместо двух параллельно соединенных Гр2000/63 в некоторых случаях целесообразно применять один Гр4000/71. Известно, что использование перекачивающих землесосных станций значительно увеличивает затраты на разработку вскрыши гидравлическим способом. В таком случае возможно последовательное соединение землесосов, расположенных в одном месте без разрыва потока (например, в забое), однако условия безопасности не позволяют использовать такую схему в настоящее время для отечественного оборудования.

2.2. Ликвидация дисбаланса подач гидросмеси системами водоснабжения и гидротранспортирования как метод повышения эффективности работы гидромониторно-землесосных комплексов

Выполненная выше систематизация гидротранспортных установок показывает, что современные системы гидротранспорта, входящие в состав гидромониторно-землесосных комплексов, имеют сложную структуру, включающую большое количество грунтовых насосов с приводами большой единичной мощности, которые работают параллельно-последовательно и имеют сложные сети трубопроводов. Для таких гидротранспортных установок эффективность работы в первую очередь будет определяться согласованностью режимов работы всех грунтовых насосов, входящих в состав рассматриваемой гидротранспортной системы. При этом их действительные режимы работы должны быть близкими к номинальным.

Основным параметром, характеризующим режим работы грунтового насоса, является его подача, обычно измеряемая в м³/ч. Напор и КПД можно назвать вторичными параметрами. Они определяют количество энергии, необходимое для обеспечения нужной подачи, и качество ее преобразования. Поэтому согласованность режимов работы определяется именно равенством подач всех грунтовых насосов гидротранспортной установки, которые работают последовательно. Для многоступенчатых гидротранспортных установок, работающих с использованием промежуточных зумпфов, несогласованность режимов работы грунтовых насосов отдельных ступеней может иметь нежелательные последствия.

Если подача головной землесосной станции больше, чем перекачивающей, то последняя может быть затоплена. Для предотвращения затопления необходимы остановки головных грунтовых насосов, а при относительно небольшой емкости зумпфов они будут достаточно частыми. Запуск грунтового насоса сам по себе является сложным процессом. Во время запуска возможен перегрузочный режим работы с возникновением кавитации, что приводит к быстрому износу проточных каналов насоса. Кроме того, частый запуск электродвигателей большой мощности в режиме перегрузки может вызвать не только быстрый их износ, но и аварийный выход из строя. Таким образом, в рассмотренном случае несбалансированность подач головных и перекачивающих грунтовых насосов приводит к сокращению срока службы как насосного оборудования, так и электрического.

В дополнение к этому, рассогласованность может быть такой, что режимы работы всех или части грунтовых насосов будут находиться вне зоны промышленного использования, что не только усугубит перечисленные следствия, но и приведет к снижению КПД и увеличению энергозатрат на гидротранспорт.

Если подача головных грунтовых насосов меньше, чем перекачивающих, то уровень гидросмеси в зумпфах перекачивающих гидротранспортных установок будет постоянно понижаться, что в конечном итоге приведет к срыву вакуума и аварийной остановке землесосных агрегатов, вследствие чего может возникнуть гидравлический удар. В этом случае необходимы частые остановки и запуски грунтовых насосов перекачивающих гидротранспортных установок со всеми вышеуказанными последствиями. На практике, чтобы избежать частых остановов и запусков грунтовых насосов, у зумпфа перекачивающей землесосной станции устанавливают гидромонитор (зумпфовой гидромонитор) и временами включают его, увеличивая тем самым объем гидросмеси в зумпфе за счет подачи дополнительной воды. Такие же гидромониторы устанавливают и у забойных зумпфов, если подача гидротранспортной установки больше производительности гидромониторов по гидросмеси.

Использование зумпфowych гидромониторов в принципе позволяет избежать частых остановов и запусков землесосных агрегатов, но при этом уменьшается концентрация твердого в перекачиваемой гидросмеси. Это значительно снижает энергетические показатели

гидротранспорта (уменьшается КПД гидротранспортной установки и увеличивается удельный расход электроэнергии). Кроме того, включение зумпфовых гидромониторов, которые работают параллельно с основными гидромониторами в общей внешней сети насосных установок водоснабжения, приводит к изменению режимов работы рабочих гидромониторов, снижая напор на насадке и их водопроизводительность. При этом уменьшается производительность гидромониторов по твердому и снижается концентрация твердого в образуемой гидросмеси, а следовательно, ухудшаются технико-экономические показатели работы гидромониторно-землесосного комплекса в целом.

Рассогласованность режимов работы оборудования гидромониторно-землесосных комплексов может быть также между насосно-гидромониторной и гидротранспортной установками, если производительность гидромониторов по гидросмеси становится меньше подачи грунтовых насосов.

Временный дисбаланс подач возникает в момент подрезки уступа гидромониторами, так как производительность гидромонитора по твердому в это время значительно сокращается по сравнению с периодом размыва обрушенной породы и количество гидросмеси, поступающее в зумпф, уменьшается. Это приводит к понижению уровня гидросмеси в зумпфе в период врубобразования. При этом продолжительность периода подрезки забоя в общем цикле разработки породы занимает достаточно много времени. По данным [24] затраты времени на подрезку забоя и на размыв обрушенной породы характеризуются данными, приведенными в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Распределение времени на подрезку забоя
и на размыв обрушенной породы

Диаметр насадки, мм	Напор воды на насадке, м	Затраты рабочего времени на разработку породы, %	
		подрезка забоя	размыв обрушенной породы
90	95	57	43
90	48	62	38
90	40	71	29
70	90	47	53
70	60	60	40
70	40	76	24

Как видно из таблицы, во всех исследованных случаях время врубообразования в общем цикле подрезки и размыва обрушенных пород превышает 50 %.

И хотя в настоящее время напоры на насадках гидромониторов увеличились практически вдвое, можно предположить, что соотношение между временем подрезки и размыва обрушенной породы остается примерно таким же, каким указано в табл. 2.1. Следовательно, понижение уровня гидросмеси в зумпфе может быть значительным, что может привести к срыву вакуума грунтового насоса и к его аварийной остановке.

Исследуем факторы, от которых зависит удельный расход воды на процесс подрезки забоя. Для этого воспользуемся зависимостью общего удельного расхода воды от высоты уступа при постоянном расстоянии до забоя, которая выражается уравнением [49]

$$q = \frac{q_1 h_{\text{вр}} + q_2 (h - h_{\text{вр}})}{h}, \quad (2.1)$$

где q – общий удельный расход воды, $\text{м}^3/\text{м}^3$. Определяется в соответствии с нормативами в зависимости от категории (группы) пород по трудности их разработки гидромониторами, например, по табл. 1 «Типовых технологических схем ведения горных работ...» [49] с применением гидромеханизации; q_1 – удельный расход воды в процессе подрезки забоя, $\text{м}^3/\text{м}^3$; q_2 – удельный расход воды в процессе смыва обрушенной в результате подрезки породы, $\text{м}^3/\text{м}^3$. Принимается по той же таблице, что и q , но для предварительно разрыхленной породы, т. е. для группы пород на две единицы ниже. Так, например, если разрабатывается V группа пород, то q принимается для V категории, а q_2 – для III; $h_{\text{вр}}$ – высота врубовой щели, м; h – полная высота уступа, м.

Решая уравнение (2.1) относительно q_1 , получим

$$q_1 = \frac{qh - q_2(h - h_{\text{вр}})}{h_{\text{вр}}}. \quad (2.2)$$

Нормативные значения удельного расхода воды q , принятые по выше рекомендованной таблице, получены для высоты уступа $h = 20$ м. Для высот уступа больше или меньше 20 м часовая производительность гидромониторной установки изменяется. Корректировку производительности при этом производят по формуле

$$Q_{T_i} = \frac{Q_T}{\sqrt{\frac{2h}{h+h_i}}}, \quad (2.3)$$

где Q_{T_i} – производительность гидроустановки по твердому при высоте уступа, отличающейся по величине от 20 м; Q_T – производительность гидроустановки по твердому при высоте уступа $h = 20$ м; h_i – высота разрабатываемого уступа, принятая для конкретных условий разработки (отличная от 20 м).

Соответственно производительности по твердому изменяется и общий удельный расход воды на разработку породы, который можно определить в зависимости от водопроизводительности гидромонитора Q_B (м³/ч) следующим образом:

$$q = \frac{Q_B}{Q_{T_i}} = \frac{Q_B \sqrt{\frac{2h}{h+h_i}}}{Q_T}. \quad (2.4)$$

Так как $Q_{T_i} = \frac{Q_B}{q_i}$, то

$$q_i = q_H \sqrt{\frac{2h}{h+h_i}}, \quad (2.5)$$

где q_H – нормативный удельный расход воды при высоте разрабатываемого уступа равной 20 м.

С учетом (2.5) зависимость (2.2) преобразуется к виду

$$q_1 = \frac{q_i h_i \sqrt{\frac{2h}{h+h_i}} - q_2 (h_i - h_{вр})}{h_{вр}}. \quad (2.6)$$

Величина параметра q_1 позволяет определить производительность гидромонитора по твердому в процессе подрезки уступа $Q_{T.вр}$

$$Q_{T.вр} = \frac{Q_B}{q_1} \quad (2.7)$$

и по гидросмеси $Q_{Г.вр}$

$$Q_{Г.вр} = Q_{T.вр} (1 - m + q_1) = \frac{Q_B (1 - m + q_1)}{q_1}, \quad (2.8)$$

где m – пористость разрабатываемой породы, дол. ед.

Полученные выражения (2.2) и (2.6) позволяют выявить влияние высоты вруба на удельный расход воды при подрезке уступа q_1 . Для этого построим графики зависимости $q_1 = f(h_{вр})$ при разработке пород V и VI категорий трудности, которыми представлены основные объемы наносов угольных разрезов Кузбасса, разрабатываемых способом гидромеханизации. При этом примем в расчетах высоту уступов равную 20 м и наиболее часто встречающийся напор перед насадкой 160 м.

Результаты расчетов представлены на рис. 2.2 в виде графиков зависимости удельного расхода воды q_1 на подрезку от высоты вруба $h_{вр}$ и от категории трудности разработки породы гидромониторами.

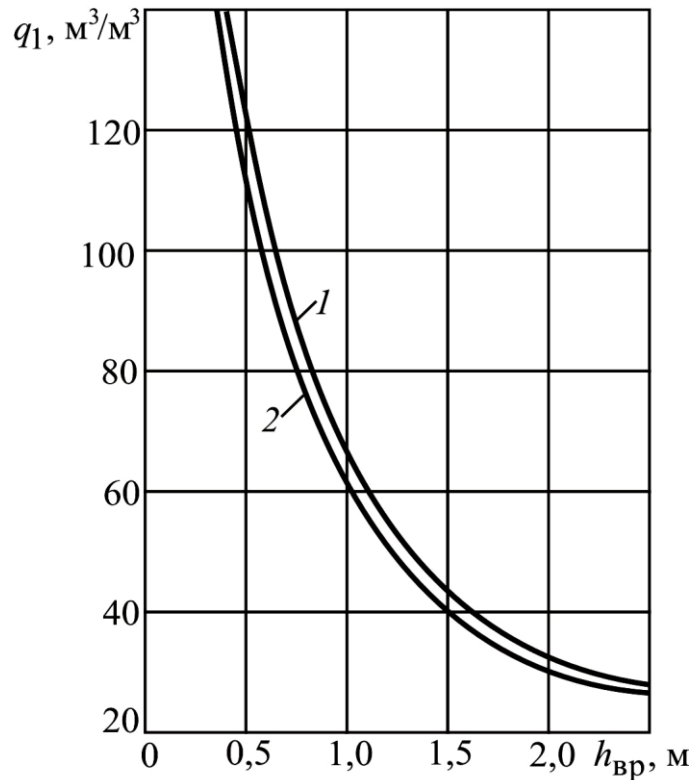


Рис. 2.2. Графики зависимости удельного расхода воды q_1 на врубообразование от высоты вруба $h_{вр}$ и от категории трудности разработки пород гидромониторами: 1, 2 – соответственно V и VI категории

Анализ этих зависимостей показывает, что в целом удельный расход воды на подрезку постоянно уменьшается с увеличением высоты вруба. При этом характер кривых таков, что в начальный

период увеличения высоты вруба интенсивность снижения удельного расхода воды достаточно высока, а затем кривые выполаживаются и снижение удельного расхода воды практически прекращается [28].

В количественном отношении зона резкого выполаживания кривых соответствует величинам высоты вруба от 1,0 до 1,5 м. Дальнейшее увеличение высоты вруба приводит к незначительному уменьшению удельного расхода воды, но при этом увеличивается объем вруба, а следовательно, и время подрезки, что, как было указано выше, отрицательно сказывается на работе гидротранспортной установки. Поэтому для дальнейших расчетов принимаем высоту вруба равную 1,2 м.

Зная высоту вруба, можно определить удельный расход воды при подрезке (2.6), производительность гидромонитора по твердому (2.7) и по гидросмеси (2.8) при подрезке и при смыве обрушенной породы (формулы (2.7) и (2.8), подставляя q_2 вместо q_1), если известен расход воды гидромонитора. Результаты расчета зависимости удельного расхода воды q_1 (в $\text{м}^3/\text{м}^3$) при подрезке гидромониторного забоя от напора H_H (м) перед насадкой гидромонитора при разработке суглинков, глин полужирных и глин тяжелых высокопластичных показаны в табл. 2.2 и на рис. 2.3. Расчеты выполнены для высоты уступа 20 м и высоты врубовой щели 1,2 м.

Таблица 2.2

Зависимость удельного расхода воды при подрезке гидромониторного забоя от напора перед насадкой гидромонитора

Вид породы	Удельный расход воды q_1 ($\text{м}^3/\text{м}^3$) на подрезку при напорах перед насадкой H_H (м)				
	120	140	160	180	200
Суглинки	47,7	45,7	42,0	38,5	37,9
Глины полужирные	57,0	53,0	48,0	47,0	44,0
Глины тяжелые высокопластичные	—	—	85,5	78,7	75,0

Анализируя данные табл. 2.2 и графики на рис. 2.3, можно сделать предварительный вывод о том, что для суглинков и глин полужирных целесообразно применять напоры перед насадкой гид-

ромонитора в пределах 160–180 м, а для глин тяжелых высокопластичных – 180–200 м [30].

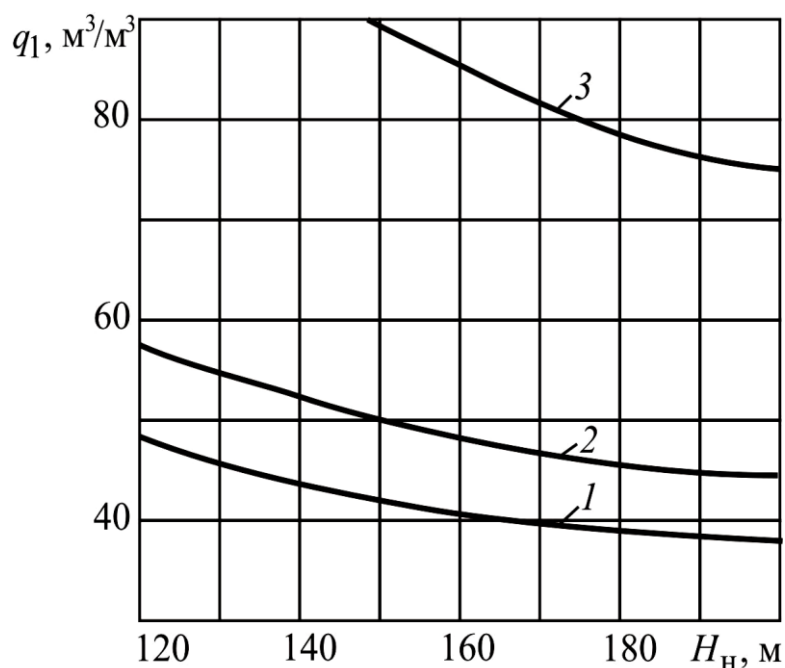


Рис. 2.3. Графики зависимости удельного расхода воды q_1 ($\text{м}^3/\text{м}^3$) на врубообразование от напора перед насадкой H_n (м) при разработке: 1 – суглинков; 2 – глин полужирных; 3 – глин тяжелых высокопластичных

В табл. 2.3 приведены результаты расчета притоков гидросмеси в зумпф гидротранспортной установки при смыве обрушенной породы $Q_{г.см}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$) и при подрезке гидромониторного забоя $Q_{г.вр}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$), а также разность этих притоков ΔQ_g ($\text{м}^3/\text{ч}$), которая определяет дисбаланс производительности гидромонитора по гидросмеси и подачи грунтового насоса.

Расчеты выполнены при следующих исходных данных: высота уступа – 20 м, высота врубовой щели – 1,2 м, водопроизводительность гидромонитора 3600 $\text{м}^3/\text{ч}$ (гидромонитор ГД-300 или Т-521).

Так как конечной целью данного анализа является определение времени подрезки уступа и смыва обрушенной породы, то для этого, помимо вышеприведенных параметров, необходимо знать объемы вруба и обрушенной породы [42].

Таблица 2.3

Результаты расчета зависимостей притоков гидросмеси в зумпф гидротранспортной установки при смыве обрушенной породы и при подрезке забоя, а также дисбаланса производительности гидромонитора по гидросмеси и подачи грунтового насоса от напора перед насадкой

Тип разрабатываемой породы	Производительность гидромонитора по гидросмеси (м ³ /ч) при напоре перед насадкой (м)				
	120	140	160	180	200
При подрезке гидромониторного забоя					
Суглинки	3645	3647	3651	3656	3657
Глины полужирные	3638	3641	3645	3647	3649
Глины тяжелые пластичные	–	–	3621	3623	3624
При смыве обрушенной породы					
Суглинки	4090	4140	4185	4220	4255
Глины полужирные	4000	4030	4060	4090	4115
Глины тяжелые пластичные	–	–	3845	3855	3875
Дисбаланс производительности гидромонитора и грунтового насоса					
Суглинки	445	495	535	560	595
Глины полужирные	360	390	415	445	465
Глины тяжелые пластичные	–	–	225	235	250

Если форму вруба при подрезке уступа принять в виде прямоугольного параллелепипеда, то его объем $V_{вр}$ (м³) будет определяться формулой

$$V_{вр} = l_{вр} h_{вр} L_{вр}, \quad (2.9)$$

а объем обрушенной породы $V_{обр}$ составит

$$V_{обр} = l_{вр} (h_i - h_{вр}) L_{вр}, \quad (2.10)$$

где $l_{вр}$ – глубина вруба, м; $L_{вр}$ – длина фронта подрезки, м.

Согласно исследованиям В. С. Шилыковского [64], проведенным на разрезах Кузбасса:

$$l_{вр} = 0,2 l \operatorname{tg} \varphi_T h_i + \frac{c_0 + \frac{a_c}{2}}{\rho_T}, \quad (2.11)$$

где φ_T – угол внутреннего трения, град; c_0 – коэффициент сцепления породы в верхней части уступа, МПа; a_c – градиент изменения коэффициента сцепления по высоте уступа, МПа; ρ_T – плотность породы, кг/см³.

Зная объемы вруба и обрушенной породы, можно определить время подрезки $t_{вр}$, время смыва обрушенной породы $t_{см}$, скорость понижения уровня гидросмеси в зумпфе при подрезке $v_{пон}$ и величину понижения уровня гидросмеси в зумпфе за период подрезки $H_{пон}$ по следующим формулам:

$$t_{вр} = \frac{V_{вр}}{Q_{Т.вр}}; \quad t_{см} = \frac{V_{обр}}{Q_{Т.см}}; \quad v_{пон} = \frac{\Delta Q_{Г}}{S_3}; \quad H_{пон} = v_{пон} t_{вр},$$

где $\Delta Q_{Г} = Q_{Г.см} - Q_{Г.вр}$ – разность притока гидросмеси в зумпф гидротранспортной установки при смыве обрушенной породы и при подрезке уступа, м³/ч; S_3 – площадь горизонтального сечения зумпфа, м².

Результаты расчета параметров работы гидромонитора при подрезке уступа и при смыве обрушенной породы приведены в табл. 2.4. При этом водопроизводительность гидромонитора принята равной 3600 м³/ч (ГД-300 или Т-521), высота уступа – 20 м, площадь горизонтального сечения зумпфа – 4×6 м.

Таблица 2.4

Параметры работы гидромонитора при подрезке уступа
и при смыве обрушенной породы

Показатели	Категория пород по трудности разработки гидромониторами			
	V		VI	
	напор перед насадкой, м		напор перед насадкой, м	
	160	180	160	180
Общий удельный расход воды q , м ³ /м ³	7,3	7,0	8,5	8,0
Удельный расход воды на размыв обрушенной породы q_2 , м ³ /м ³	4,7	4,4	6,0	5,6
Удельный расход воды на подрезку уступа q_1 , м ³ /м ³	48	46	51	49

Продолжение табл. 2.4

Показатели	Категория пород по трудности разработки гидромониторами			
	V		VI	
	напор перед насадкой, м		напор перед насадкой, м	
	160	180	160	180
Производительность гидромонитора по твердому при подрезке $Q_{Т.вр}$, м ³ /ч	75	78	70	73
Производительность гидромонитора по твердому при смыве обрушенной породы $Q_{Т.см}$, м ³ /ч	766	818	600	643
Производительность гидромонитора по гидросмеси при подрезке уступа $Q_{Г.вр}$, м ³ /ч	3645	3647	3612	3620
Плотность гидросмеси при подрезке уступа $\rho_{Г}$, кг/м ³	1020	1021	1019	1020
Производительность гидромонитора по гидросмеси при смыве обрушенной породы $Q_{Г.см}$, м ³ /ч	4060	4090	3960	3987
Разность притока гидросмеси в зумпф при смыве и подрезке $\Delta Q_{Г}$, м ³ /ч	415	443	348	367
Объем породы при подрезке $V_{вр}$, м ³	18	18	20	20
Время подрезки $t_{вр}$, мин	14,4	13,8	17,1	16,4
Объем обрушенной породы $V_{обр}$, м ³	282	282	320	320
Время смыва обрушенной породы $t_{см}$, мин	22	21	32	30
Затраты времени на подрезку, %	39,6	39,6	34,8	35,4
Затраты времени на смыв обрушенной породы, %	60,4	60,4	65,2	64,6
Скорость понижения уровня гидросмеси в зумпфе при подрезке $v_{пюн}$, м/мин	0,29	0,31	0,24	0,25
Величина понижения уровня гидросмеси в зумпфе за время подрезки $H_{пюн}$, м	4,15	4,28	4,10	4,10

Анализируя данные табл. 2.4, в первую очередь следует отметить, что используемые в настоящее время напоры перед насадкой в два-три раза больше, чем указанные в табл. 2.1.

Это приводит к значительному сокращению времени на подрезку уступа в общем цикле гидромониторной разработки. Однако,

учитывая, что глубина зумпфа составляет обычно 4–6 м, даже при такой продолжительности подрезки возможен срыв вакуума и аварийная остановка насоса. Поэтому останавливать насосный агрегат надо заранее при некоей допустимой величине понижения уровня гидросмеси в зумпфе, которую можно определить из условия обеспечения работы грунтового насоса без кавитации. То есть насосный агрегат надо отключать в тот момент, когда уровень гидросмеси приблизится к допустимой геометрической высоте всасывания грунтового насоса.

Плотность гидросмеси при подрезке согласно данным анализируемой таблицы составляет в среднем 1020 кг/м^3 , а разрабатываемые породы представляют собой смесь глин и суглинков. Для таких условий основные параметры гидротранспорта определяются как для воды, движущейся со скоростью гидросмеси. Поэтому в данном случае допустимая геометрическая высота всасывания грунтового насоса $H_{\text{вс.д}}$ будет определяться [9, 58] по формуле

$$H_{\text{вс.д}} = \frac{P_a - P_H}{\rho_{\Gamma} g} - \Delta h_{\text{дд}} - \left(\lambda_{\text{вс}} \frac{l_{\text{вс}}}{D_{\text{вс}}} + \sum \xi_{\text{вс}} \right) \frac{v_{\text{вс.д}}^2}{2g}, \quad (2.12)$$

где P_a – атмосферное давление на свободной поверхности зумпфа, Па; P_H – давление насыщенного пара при заданной температуре, Па; ρ_{Γ} – плотность гидросмеси, кг/м^3 ; g – ускорение силы тяжести, м/с^2 ; $\Delta h_{\text{дд}}$ – допускаемый кавитационный запас в действительном режиме работы насоса, м. Принимаем для дальнейших исследований грунтовой насос ГрТ4000/71. При его работе в номинальном режиме $\Delta h_{\text{дд}} = 5,0 \text{ м}$; $\lambda_{\text{вс}}$ – коэффициент линейных гидравлических сопротивлений всасывающего трубопровода при движении воды в режиме гидросмеси; $l_{\text{вс}}$ и $D_{\text{вс}}$ – соответственно длина и внутренний диаметр всасывающего трубопровода, м; $\sum \xi_{\text{вс}}$ – сумма коэффициентов местных гидравлических сопротивлений всасывающего трубопровода; $v_{\text{вс.д}}$ – средняя скорость движения гидросмеси во всасывающем трубопроводе в действительном режиме работы грунтового насоса (в рассматриваемом случае – в номинальном режиме), м/с.

Подставляя в выражение (2.12) численные значения входящих в него параметров, получаем $H_{\text{вс.д}} = 4,5 \text{ м}$.

С учетом габаритов грунтового насоса ГрТ4000/71 минимально возможная по конструктивным параметрам геометрическая высота всасывания составляет 2,5–3,0 м. С учетом этого допустимое понижение уровня гидросмеси в зумпфе составит 1,5–2,0 м. При подрезке такое понижение уровня в рассматриваемых условиях произойдет в среднем через 5,0–7,0 мин для пород V категории трудности разработки и через 6,0–8,0 мин для пород VI категории после начала подрезки. То есть через 5,0–8,0 мин после начала подрезки насосный агрегат необходимо будет останавливать.

После остановки насосного агрегата уровень гидросмеси в зумпфе начнет повышаться со скоростью $v_{\text{пов}} = Q_{Г1} / S_3$. При этом продолжительность подъема гидросмеси до исходного уровня составит всего от 0,6 до 1,1 мин. После чего необходимо заново запускать насосный агрегат.

Такой график работы насосного агрегата с электроприводом мощностью 1600 кВт организовать невозможно. Поэтому согласование режимов работы гидротранспортной установки и гидромонитора в период подрезки уступа за счет остановки насосного агрегата – это технически неразрешимая проблема. А поэтому необходимо использовать какой-то другой способ регулирования режима работы грунтового насоса, иначе насосно-гидромониторный комплекс просто не будет функционировать.

2.3. Определение величины дисбаланса производительности основных систем гидромониторно-землесосных комплексов при работе мощных гидромониторов

Выбор оборудования системы гидротранспортирования гидромониторно-землесосного комплекса разреза осуществляется по величине максимального притока гидросмеси в забойный зумпф от гидромониторов, осуществляющих разработку пород в забое. Величина максимального притока гидросмеси ($\text{м}^3/\text{ч}$) соответствует, как это было сказано выше, работе гидромонитора при размыве породы, обрушившейся после подрезки уступа:

$$Q_{Г.р} = Q_{Т.р} (1 + m + q_2). \quad (2.13)$$

Минимальное значение величины притока гидросмеси ($\text{м}^3/\text{ч}$) в забойный зумпф происходит при подрезке уступа струей гидромонитора:

$$Q_{\text{Г.вр}} = Q_{\text{Г.вр}}(1 - m + q_1). \quad (2.14)$$

Величина дисбаланса производительности систем водоснабжения и гидротранспортирования гидрокомплекса ($\text{м}^3/\text{ч}$), как было сказано выше, может быть определена из выражения:

$$\Delta Q_{\text{Г}} = Q_{\text{Г.р}} - Q_{\text{Г.вр}} = \frac{Q_{\text{В}}}{q_2}(1 - m + q_2) - \frac{Q_{\text{В}}}{q_1}(1 - m + q_1), \quad (2.15)$$

где $Q_{\text{В}}$ – производительность гидромонитора по воде, $\text{м}^3/\text{ч}$.

После преобразования получим

$$\Delta Q_{\text{Г}} = Q_{\text{В}} \frac{q_1 - q_2}{q_1 q_2} (1 - m). \quad (2.16)$$

Анализ параметров, входящих в зависимость (2.16) позволяет определить основные факторы, влияющие на величину дисбаланса. Основной параметр – производительность гидромонитора по воде – зависит от возможностей системы водоснабжения, а именно от давления на насадке гидромонитора $H_{\text{н}}$, ее диаметра и группы (категории) разрабатываемых пород. Величина удельного расхода воды q_1 и q_2 также определяется в зависимости от группы разрабатываемых пород и величины высоты вруба $h_{\text{вр}}$.

Таким образом, с целью оценки влияния на величину дисбаланса в первую очередь следует проанализировать изменение его величины от таких параметров, как давление воды на насадке гидромонитора при различных значениях диаметра насадки, группы разрабатываемых пород и величины высоты вруба.

Графики зависимости дисбаланса $\Delta Q_{\text{Г}}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$) притока гидросмеси из гидромониторного забоя от напора перед насадкой $H_{\text{н}}$ и вида размываемых пород приведены на рис. 2.4.

Они показывают, что с увеличением напора перед насадкой дисбаланс постоянно возрастает для всех рассматриваемых категорий пород. Поэтому напор следует выбирать по величине нормативного удельного расхода воды на разработку в зоне минимальных его значений.

Далее произведем расчет водопроизводительности гидромонитора в зависимости от напора воды перед насадкой для различных значений величины ее диаметра (табл. 2.5).

Таблица 2.5
Водопроизводительность гидромонитора

№ п/п	Напор перед насадкой, м	Водопроизводительность гидромонитора, м ³ /ч				
		Ø 100 мм	Ø 125 мм	Ø 150 мм	Ø 175 мм	Ø 200 мм
1	100	1195	1854	2685	3600	4720
2	110	1258	1940	2810	3745	4940
3	120	1370	2027	2930	3910	5160
4	140	1420	2188	3168	4223	5573
5	160	1518	2341	3387	4515	5958
6	180	1610	2483	3592	4789	6319
7	200	1698	2617	3786	5048	6661

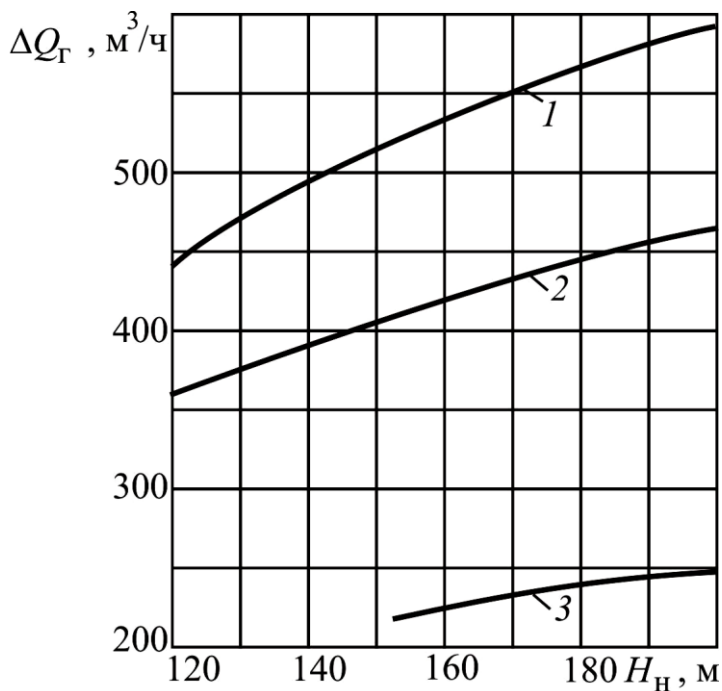


Рис. 2.4. Графики зависимости дисбаланса ΔQ_G (м³/ч) притока гидросмеси в зумпф при смыве и подрезке от напора перед насадкой гидромонитора H_H (м) и вида размываемых пород: 1 – суглинки; 2 – глины полужирные; 3 – глины тяжелые высокопластичные

Величина дисбаланса подач гидросмеси в забойный зумпф системой водоснабжения и действительной производительностью системы гидротранспортирования, о которой говорилось ранее, необходима для выбора способа его компенсации в период подрезки уступа гидромониторной струей. Дисбаланс определяется для конкретных условий работы гидромониторно-землесосного комплекса. Итак, первое, что необходимо знать, – это группа (категория) разра-

батываемых пород, в соответствии с которой по «Типовым технологическим схемам» [49] принимаем величину q – общий удельный расход воды, $\text{м}^3/\text{м}^3$. Далее, в соответствии с исследованиями, изложенными в разделе 2.2, определяем величину высоты врубовой щели – $h_{\text{вр}}$, м. Как видно из графической зависимости (см. рис. 2.2), чем меньше величина вруба, тем меньше дисбаланс, однако специалистам хорошо известно, что с уменьшением величины объема пород, размываемых в период подрезки, эффективность гидромониторного размыва повышается. При проектировании и расчете значения дисбаланса рекомендуем значение $h_{\text{вр}} = 1,2$ м.

Для расчета примера принимаем высоту разрабатываемого уступа $h = 20$ м, а категорию пород – V ($q = 7 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при величине давления воды перед насадкой гидромонитора $H_{\text{н}} = 180$ м). В таком случае по формуле (2.2) определяем величину удельного расхода воды при подрезке уступа струей гидромонитора, при этом в соответствии с принципом, изложенным в данном разделе, величина q_2 – удельный расход воды при размыве породы, обрушенной в результате подрезки уступа струей гидромонитора, принимается по той же таблице, как и q [49], но на две единицы ниже категории, соответствующей неразрыхленной породе согласно рекомендациям «Типовых технологических схем ...».

Нами принята (условно) V группа (категория) пород, q_2 принимается для III группы, т. е. $q_2 = 4,4 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Тогда

$$q_1 = \frac{qh - q_2(h - h_{\text{вр}})}{h_{\text{вр}}} = \frac{7 \cdot 20 - 4,4(20 - 1,8)}{1,8} = 33,3 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Задаемся диаметром насадки гидромонитора или принимаем соответствующее значение, установленное фактически по проекту. Там же определяем значение пористости пород $m = 0,4$. Допустим, что диаметр насадки $\varnothing = 125$ мм. По табл. 2.5 для этого диаметра насадки и величины давления воды $H_{\text{н}} = 180$ м определяем величину водопроизводительности гидромонитора $Q_{\text{в}} = 2483 \text{ м}^3/\text{ч}$. Это дает возможность рассчитать производительность гидромонитора по гидросмеси в период подрезки уступа (см. зависимость 2.8):

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Г.вр}} &= Q_{\text{Г.вр}} (1 - m + q_1) = \frac{Q_{\text{В}} (1 - m + q_1)}{q_1} = \\
 &= \frac{2483(1 - 0,4 + 33,3)}{33,3} = 2527,7 \text{ м}^3 / \text{ч.}
 \end{aligned}$$

Аналогичным методом определяем производительность гидромонитора по гидросмеси в период размыва обрушившейся породы после подрезки струей гидромонитора:

$$Q_{\text{Г.см}} = \frac{Q_{\text{В}} (1 - m + q_2)}{q_2} = \frac{2483(1 - 0,4 + 4,4)}{4,4} = 2821,6 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

Величина дисбаланса подач – притока гидросмеси в забойный зумпф при смыве и подрезке уступа

$$\Delta Q_{\text{Г}} = Q_{\text{Г.см}} - Q_{\text{Г.вр}} = 2821,6 - 2527,7 = 293,9 \approx 294 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

Кроме абсолютного значения величины дисбаланса подач весьма важным параметром является значение глубины регулирования подачи грунтового насоса с целью снижения его производительности в период подрезки уступа струей гидромонитора [27]. Его определяем по формуле

$$\Delta Q = \frac{\Delta Q_{\text{Г}}}{Q_{\text{Г.см}}} \cdot 100 = \frac{294}{2821,6} \cdot 100 = 10,4 \%. \quad (2.17)$$

Следовательно, способ регулирования величины подачи грунтового насоса должен обеспечить снижение его производительности на 10,4 %. Для других горнотехнических условий разработан алгоритм расчета значения величины глубины регулирования подачи грунтового насоса с целью снижения его производительности в период подрезки уступа струей гидромонитора, который представлен на рис. 2.5. Разработанный алгоритм позволяет исследовать изменение величины дисбаланса притока гидросмеси в зумпф при:

- известной группе разрабатываемых пород и диаметре насадки для различных значений величины вруба (рис. 2.6);
- определенной величине давления на насадке гидромонитора и группе разрабатываемых пород для различных значений диаметра насадки (рис. 2.7);
- известной величине давления на насадке гидромонитора и величине вруба для различных групп разрабатываемых пород (рис. 2.8);

– различных значениях напора перед насадкой гидромонитора при разработке различных видов пород (см. рис. 2.4).

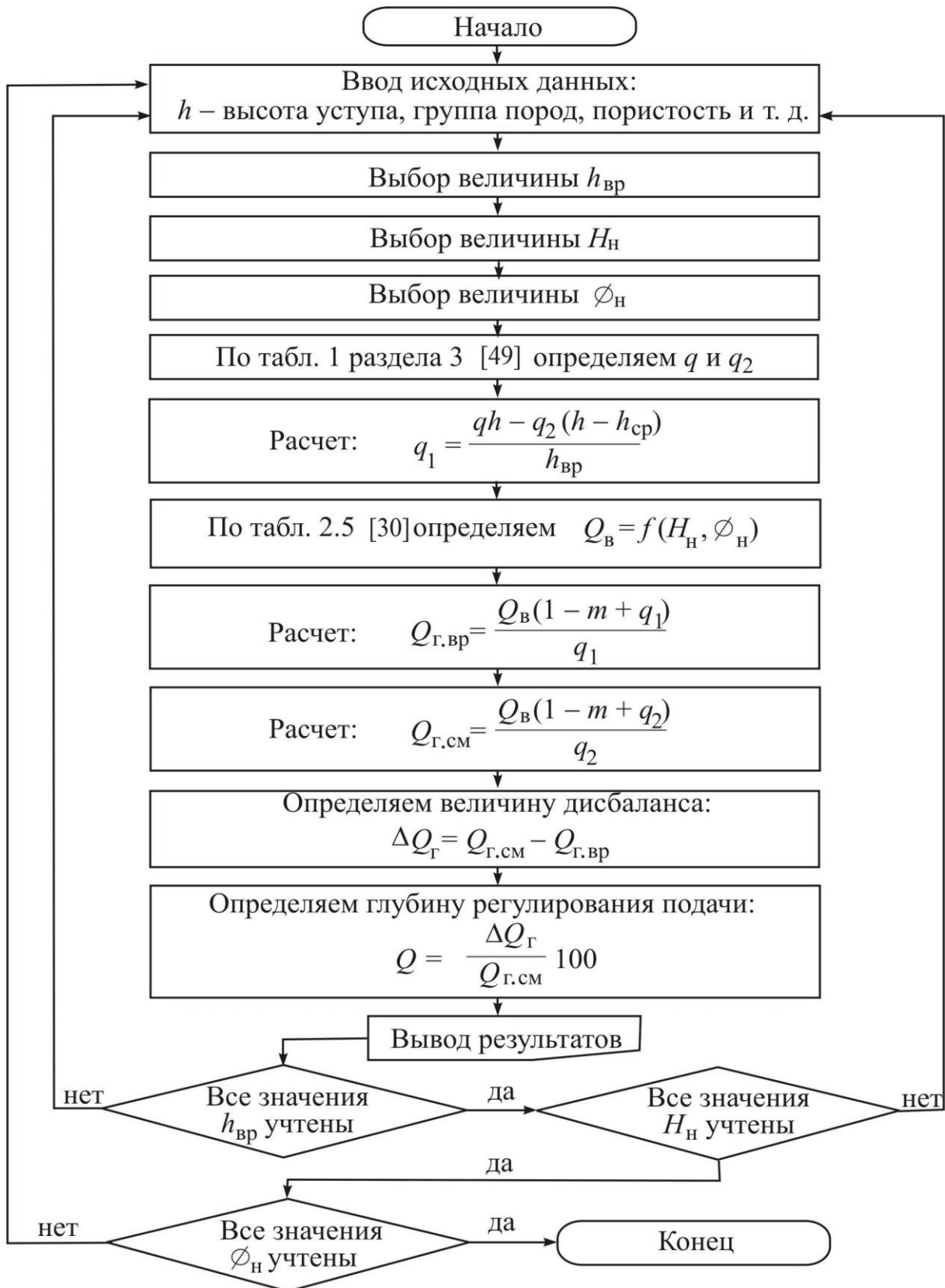


Рис. 2.5. Алгоритм расчета величины дисбаланса и глубины регулирования подачи грунтового насоса

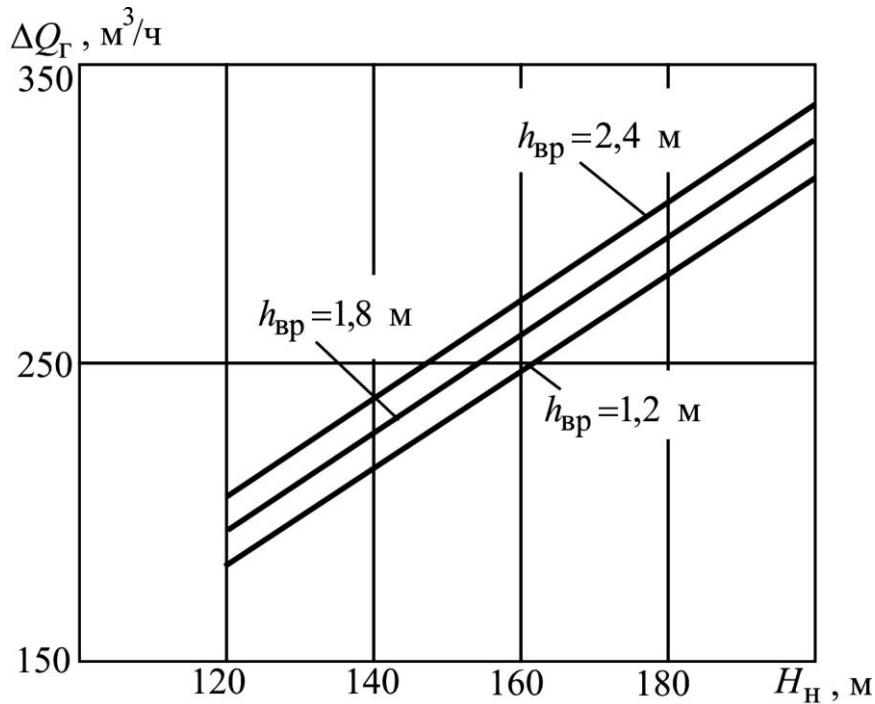


Рис. 2.6. Графики зависимости дисбаланса подачи при обработке V группы пород ($\varnothing_H = 125$ мм) для значений высоты вруба, равных 1,2; 1,8 и 2,4 м

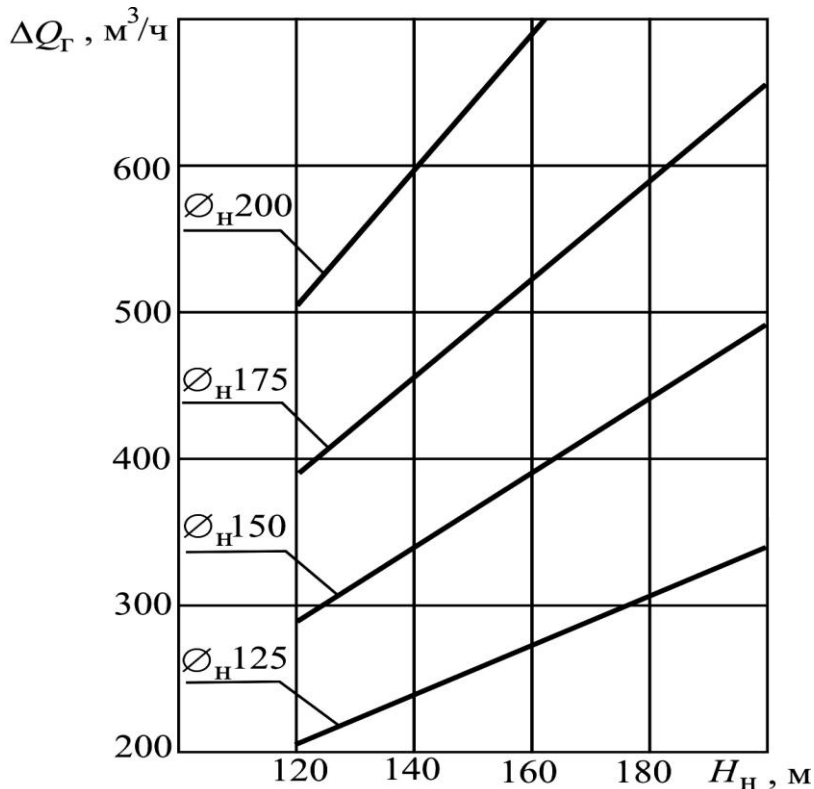


Рис. 2.7. Зависимость изменения величины дисбаланса подачи от диаметра насадки гидромонитора (для V группы пород при $h_{вр} = 1,2$ м)

Эти зависимости позволяют производить расчеты параметров гидромониторно-землесосных комплексов при проектировании гидромеханизации разрезов и выбирать способ регулирования по-

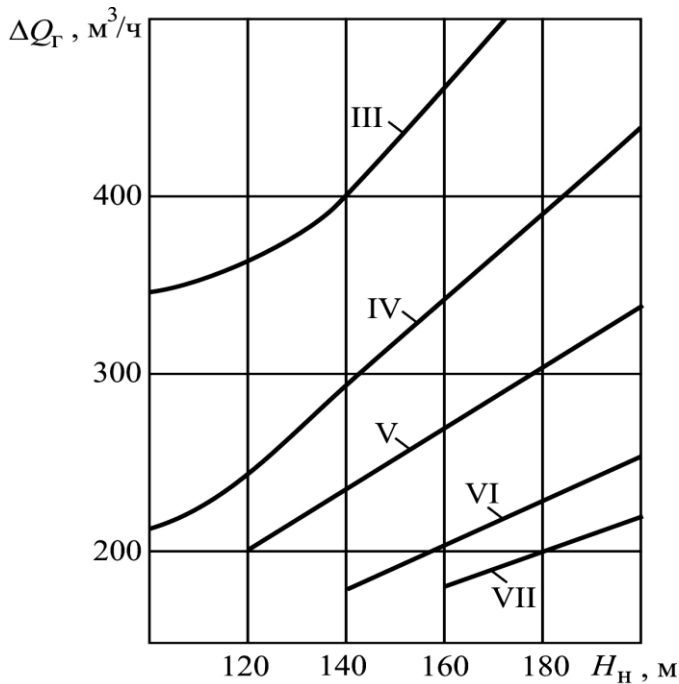


Рис. 2.8. Изменение величины дисбаланса при $\varnothing_H = 125$ мм и $h_{вр} = 1,2$ м (для III–VII групп пород)

дачи грунтового насоса (по величине глубины регулирования) для любых групп (типов) разрабатываемых пород при определенных значениях диаметра насадки гидромонитора и величине глубины вруба (рис. 2.9).

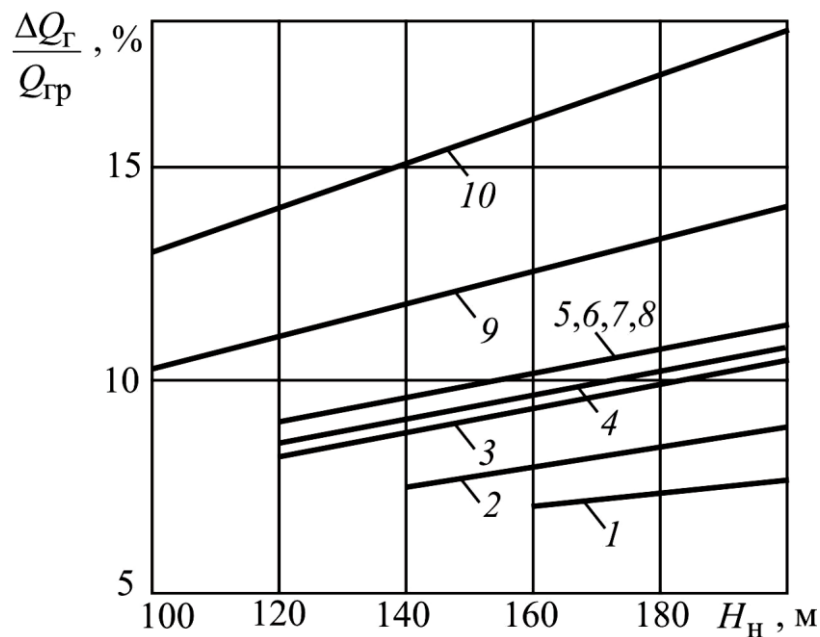


Рис. 2.9. Графики изменения величины глубины регулирования подачи грунтовых насосов с целью компенсации дисбаланса систем водоснабжения и гидротранспортирования ($h_{вр} = 1,2$ м): 1 – $\varnothing_H = 125$ мм; гр. пород VII; 2 – $\varnothing_H = 125$ мм; гр. пород VI; 3 – $\varnothing_H = 125$ мм; гр. пород V; 4 – $\varnothing_H = 125$ мм; гр. пород IV; 5, 6, 7, 8 – $\varnothing_H = 125, 150, 175, 200$ мм; гр. пород V; 9 – $\varnothing_H = 125$ мм; гр. пород IV; 10 – $\varnothing_H = 125$ мм; гр. пород III

3. АНАЛИЗ СПОСОБОВ И ДИАПАЗОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ СНИЖЕНИЯ ПОДАЧИ ЗЕМЛЕСОСА ПРИ ВПУСКЕ ВОЗДУХА ВО ВСАСЫВАЮЩИЙ ТРУБОПРОВОД

3.1. Способы регулирования режимов работы грунтовых насосов и область их применения

Все известные способы регулирования режимов работы грунтовых насосов можно разделить на ступенчатые и непрерывные [9, 50].

К первым относятся: остановка насосного агрегата; изменение диаметра рабочего колеса путем его обточка или наварки лопастей на выходе из межлопастных каналов; изменение частоты вращения рабочего колеса переключением многоскоростного двигателя насоса с одной частоты на другую или заменой одного электродвигателя другим с меньшей частотой вращения; дросселирование на нагнетательной стороне трубопровода за счет вставки в него участка труб меньшего диаметра.

Как было показано выше, регулирование остановкой насосного агрегата в период подрезки уступа невозможно осуществить в силу недостаточных размеров приемного зумпфа. Если размеры зумпфа увеличить, то он будет заливаться по краям, а рабочая его емкость будет оставаться прежней и время его заполнения и опорожнения не изменится. Следовательно, при любых размерах зумпфа регулирование остановкой насосного агрегата будет неосуществимым.

Остальные ступенчатые способы регулирования могут применяться только при стационарном или полустационарном положении гидротранспортных установок, когда срок службы землесосной станции на одном месте достаточно велик, по крайней мере, не менее одного сезона. При этом область применения каждого из этих способов определяется необходимой глубиной регулирования и сроком службы на одном месте без передвижки. Поэтому все они не могут быть использованы для регулирования режима работы при подрезке уступа, так как изменение величины притока гидросмеси в зумпф гидротранспортной установки происходит несколько раз в час. В связи с этим в анализируемом в работе случае необходимо

использовать непрерывное регулирование режима работы грунтового насоса.

Непрерывное регулирование может быть осуществлено следующими известными способами: дросселированием на нагнетательном трубопроводе с помощью задвижки; изменением частоты вращения рабочего колеса с помощью частотно-регулируемого электропривода; впуском атмосферного воздуха во всасывающий тракт насоса [9, 11, 17].

Дросселирование является наиболее простым по техническому исполнению способом регулирования, но оно неэкономично, так как сопровождается дополнительным расходом энергии на преодоление сопротивлений в задвижке. Кроме того, работая в составе гидротранспортной установки, задвижка подвергается сильному гидроабразивному износу и быстро выходит из строя. Поэтому для регулирования режимов работы грунтовых насосов задвижки в настоящее время практически не применяются.

Изменение частоты вращения рабочего колеса грунтового насоса является наиболее экономичным способом регулирования, но требует специального частотно-регулируемого электропривода, который характеризуется высокой стоимостью, сложностью изготовления и обслуживания, а также имеет в своем составе дополнительные агрегаты, что может снизить надежность работы насосного агрегата. По этим причинам рассматриваемый способ регулирования до настоящего времени широкого распространения не получил.

Впуск атмосферного воздуха по данным ряда исследователей [20, 28] приводит в первую очередь к понижению напорной характеристики насоса. При этом снижение напора в основном происходит за счет неполного преобразования динамического напора в статический в отводе и в нагнетательном патрубке. Подача же насоса снижается как вследствие уменьшения объема всасываемой жидкости на величину всасываемого воздуха и уменьшения развиваемого насосом напора, так и за счет отклонения потока на выходе из каналов рабочего колеса. При непрерывном впуске воздуха процесс регулирования режима работы насоса будет также непрерывным.

Устройство для впуска атмосферного воздуха в каналы рабочего колеса отличается простотой изготовления и представляет собой специальную трубку 1, вваренную во всасывающий трубопровод 2 и снабженную регулировочным вентилем 3 (рис. 3.1, а), или

перфорацией (рис. 3.1, б), или просто расположенную ниже уровня гидросмеси в зумпфе (рис. 3.1, в).

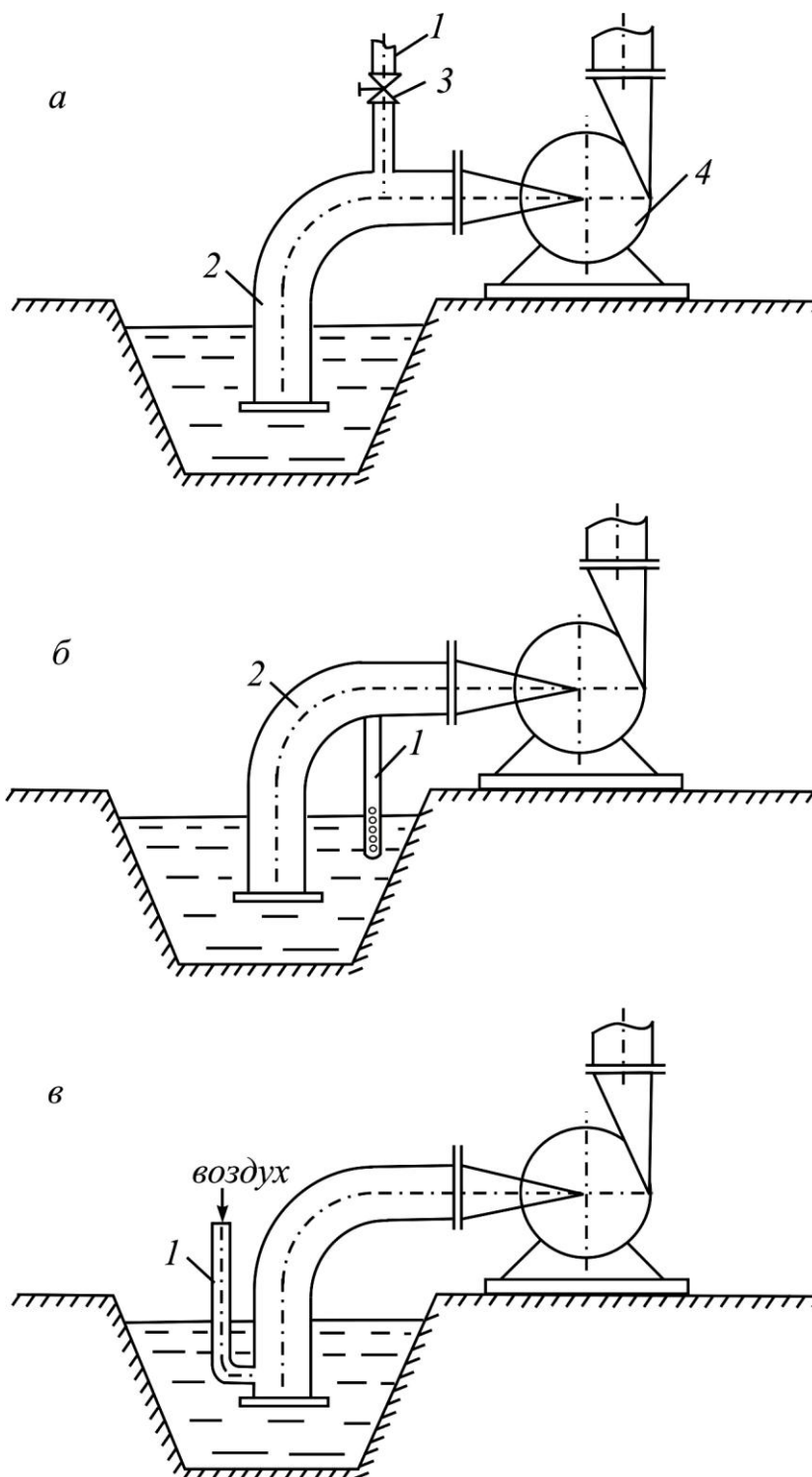


Рис. 3.1. Принципиальные схемы подвода воздуха во всас насоса в период подрезки гидромониторного забоя: 1 – трубка для подвода воздуха; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – кран; 4 – грунтовый насос

Помимо простоты многие исследователи [50] отмечают широкий диапазон регулирования подачи при этом способе регулирования, возможность предупреждения гидравлических ударов и возникновения кавитации, быстроедействие, высокую надежность и экономичность, а также простоту автоматизации процесса регулирования. Все это делает данный способ регулирования перспективным для согласования режимов работы оборудования гидротранспортных и насосно-гидромониторных установок.

При этом необходимую глубину регулирования подачи грунтового насоса ΔQ (%) в общем виде можно определить по формуле

$$\Delta Q = \left(\frac{Q_{\Gamma}}{Q_{\Gamma.см}} - 1 \right) 100. \quad (3.1)$$

Если принять, что подача грунтового насоса равна притоку гидросмеси в зумпф при смыве обрушенной породы и воспользоваться данными табл. 2.2, то необходимая глубина регулирования будет характеризоваться величинами, приведенными в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Необходимая глубина регулирования подачи грунтового насоса при подрезке забоя гидромонитором

Категория пород по трудности разработки гидромониторами	Глубина регулирования (%) при напоре перед насадкой, м	
	160	180
V	11,4	12,1
VI	9,6	10,1

В настоящее время нет достаточного количества данных и относительно точных методик расчета для определения необходимого объема воздуха, обеспечивающего необходимую глубину регулирования подачи грунтовых насосов при транспорте гидросмесей. Тем более нет таких данных и методик для горнотехнических условий применения гидромеханизации на угольных разрезах Кузбасса. Поэтому возникает задача экспериментального исследования процесса регулирования режимов работы грунтовых насосов впуском воздуха во всасывающий тракт насоса для конкретных условий гидротранспорта на угольных разрезах Кузбасса.

Дисбаланс между подачей гидротранспортной установки и объемом гидросмеси, поступающей в зумпф из забоя гидромонито-

ра в процессе врубобообразования, может быть также ликвидирован с помощью подачи дополнительной воды зумпфовыми гидромониторами.

В общем случае, если производительность гидротранспортной установки по гидросмеси составляет Q_T ($\text{м}^3/\text{ч}$), а приток гидросмеси в зумпф – $Q_{Г1} < Q_T$, то в него надо добавлять воду в количестве $\Delta Q_B = (Q_T - Q_{Г1})$, $\text{м}^3/\text{ч}$. При этом, как указывалось выше, снижается концентрация твердого в транспортируемой грунтовыми насосами гидросмеси и увеличивается удельный расход воды на гидротранспорт. Кроме того, надо учитывать, что в этом случае в номенклатуру оборудования гидромониторно-землесосного комплекса добавляется дополнительный гидромонитор (зумпфовой), который надо приобретать, монтировать и обслуживать.

Количество твердого, поступающего в зумпф рассматриваемой гидротранспортной установки от предыдущей (например, головной) землесосной станции или от насосно-гидромониторной установки, можно определить по формуле

$$Q_T = \frac{Q_{B1}}{1 - m + q_1}, \quad (3.2)$$

где Q_{B1} – количество воды в гидросмеси, $\text{м}^3/\text{ч}$; q_1 – удельный расход воды на гидромониторную разработку, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

При этом количество воды в общем расходе гидросмеси Q_{B1} ($\text{м}^3/\text{ч}$) составит

$$Q_{B1} = Q_T q_1. \quad (3.3)$$

Если в зумпф рассматриваемой гидротранспортной установки добавлять воду в количестве ΔQ_B ($\text{м}^3/\text{ч}$), то общее количество воды в транспортируемой гидросмеси будет равно

$$Q_{B2} = Q_{B1} + \Delta Q_B, \quad (3.4)$$

а общий удельный расход воды q_2 в этом случае определится следующим образом:

$$q_2 = \frac{Q_{B2}}{Q_B} = \frac{Q_{B1} + Q_B}{Q_B} = \frac{Q_T q_1 + \Delta Q_B}{Q_B}. \quad (3.5)$$

Принимая $Q_{B1} = 3600 \text{ м}^3/\text{ч}$ (гидромонитор ГД-300) при напоре перед насадкой $H_H = 160 \text{ м}$, вычислим значения q_2 в зависимости от ΔQ_B для V и VI категорий пород по трудности разработки гидромониторами. Результаты расчета приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Зависимость удельного расхода воды от водопроизводительности зумпфового гидромонитора и от категории пород по трудности разработки

Количество воды ΔQ_B ($\text{м}^3/\text{ч}$), добавляемое зумпфовым гидромонитором	Удельный расход воды q_2 ($\text{м}^3/\text{м}^3$) для категорий пород по трудности разработки	
	V	VI
0	7,3	8,5
200	7,75	8,98
400	8,16	9,46
600	8,57	9,90
800	9,0	10,40
1000	9,39	10,87

При добавлении воды в зумпф гидротранспортной установки в процессе подрезки гидромониторного забоя изменение удельного расхода воды по мере увеличения добавляемой воды будет характеризоваться данными, приведенными в табл. 3.3. При этом исходные данные для расчета были приняты такими же, как и для табл. 3.2.

Таблица 3.3

Зависимость удельного расхода воды от водопроизводительности зумпфового гидромонитора в процессе подрезки забоя и от категории породы по трудности разработки

Количество воды ΔQ_B ($\text{м}^3/\text{ч}$), добавляемое зумпфовым гидромонитором	Удельный расход воды на гидротранспорт ($\text{м}^3/\text{м}^3$) при подрезке для категорий пород по трудности разработки	
	V	VI
0	48,0	51,0
100	49,3	52,4
200	50,7	53,8
300	52,0	55,2

Продолжение табл. 3.3

Количество воды ΔQ_B ($m^3/ч$), добавляемое зумпфовым гидромонитором	Удельный расход воды на гидротранспорт (m^3/m^3) при подрезке для категорий пород по трудности разработки	
	V	VI
400	53,3	56,7
500	54,7	58,1
600	56,0	59,5

Таким образом, при использовании зумпфовых гидромониторов увеличивается как общий удельный расход воды (см. табл. 3.2), так и удельный расход воды при подрезке (см. табл. 3.3) со всеми указанными выше последствиями.

Кроме того, как указывалось выше, включение зумпфовых гидромониторов, которые работают параллельно с основными гидромониторами в общей внешней сети насосных установок водоснабжения, приводит к изменению режимов работы рабочих гидромониторов. При этом снижается напор на насадке и их водопроизводительность.

Уменьшается производительность гидромониторов по твердому и снижается концентрация твердого в образуемой гидросмеси, следовательно, ухудшаются технико-экономические показатели работы гидромониторно-землесосного комплекса в целом.

Однако конкретные численные значения снижения напора рабочих гидромониторов при работе зумпфовых и увеличения удельного расхода воды на гидромониторный размыв в это время можно определить только для конкретной насосно-гидромониторной установки какого-либо разреза.

3.2. Экспериментальные исследования диапазона снижения подачи грунтового насоса в условиях разрезов Кузбасса

В результате анализа способов регулирования подачи грунтового насоса, проведенного в работе, был выбран способ впуска атмосферного воздуха во всас, который по данным ряда исследователей приводит в первую очередь к понижению напорной характеристики насоса. Снижение давления при этом происходит в основном за счет неполного преобразования динамического напора в статический, который осуществляется в отводе и в нагнетательном патрубке.

ке. Подача же насоса снижается как вследствие уменьшения объема всасываемой жидкости на величину всасываемого воздуха и уменьшения развиваемого насосом напора, так и за счет отклонения потока на выходе из каналов рабочего колеса. При непрерывном впуске воздуха процесс регулирования режима работы насоса будет также непрерывным.

Целью эксперимента является установление диапазона снижения величины подачи грунтового насоса за счет впуска воздуха в его всасывающий трубопровод, обеспечивающего максимальное значение падения его производительности, которое необходимо в период подрезки уступа струей гидромонитора, но исключающего срыв вакуума и кавитационный режим работы.

Объектом исследования являются величина напора и подачи (производительность) грунтового насоса, показания амперметра (величина тока в обмотке электродвигателя) и режим работы землесоса (наличие кавитации). Общая схема эксперимента представлена на рис. 3.2. Забойная гидротранспортная установка, оснащенная грунтовым насосом 1, забирает гидросмесь четвертичных вскрышных пород, поступающую в зумпф 2, и транспортирует ее по трубопроводу (пульповоду) 3 на гидроотвал. Для проведения эксперимента во всасывающий трубопровод землесоса 4 был установлен пробковый кран 5 диаметром 0,5 дюйма.

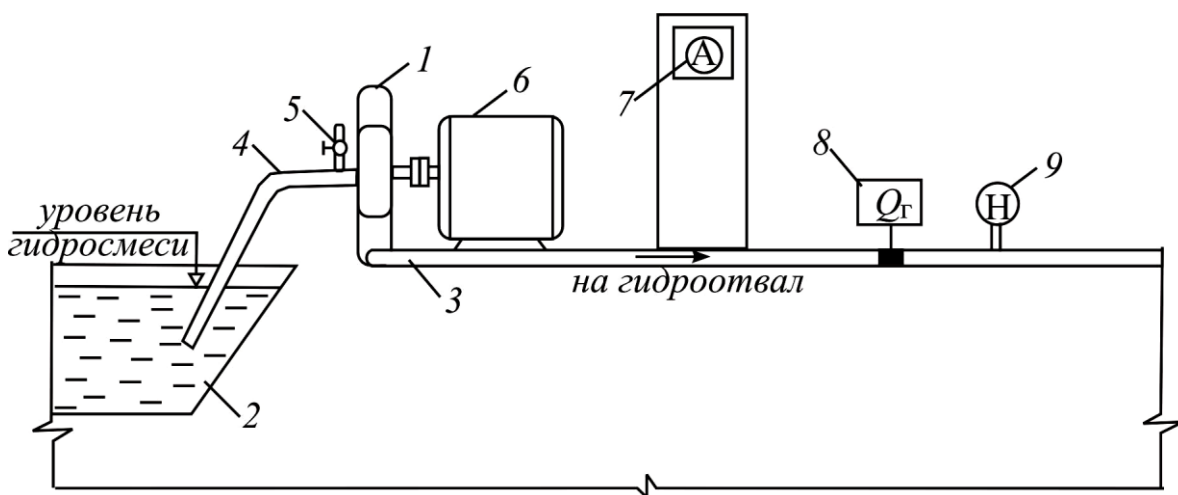


Рис. 3.2. Схема эксперимента по исследованию диапазона снижения величины подачи грунтового насоса при впуске воздуха во всас:
 1 – грунтовой насос; 2 – зумпф; 3 – трубопровод (пульповод);
 4 – всасывающий трубопровод землесоса; 5 – пробковый кран;
 6 – привод грунтового насоса; 7 – амперметр; 8 – тензодатчик;
 9 – манометр

В системе электропитания привода 6 грунтового насоса обычно функционирует амперметр 7, показания которого и снимались в ходе эксперимента. Кроме того, был установлен электронный прибор для замера давления АИР-10S-ДИ-1170-М20 с тензодатчиком 8 и манометр 9.

Исследования заключались в постепенном (этапном) открывании крана 5 в период работы гидротранспортной установки и единовременном замере величины расхода Q_T , H и A . Каждый этапный замер осуществлялся при установившемся режиме работы, примерно через 10 минут после того, как были изменены изначальные условия. Во время испытаний на каждом этапе производились указанные замеры (по пять замеров показаний приборов через 10 минут работы установки). После завершения этапа испытаний производилось увеличение подачи воздуха путем открывания крана. При этом строго контролировался режим работы насоса, чтобы не допустить режима кавитации, который выражается в значительном колебании агрегата. В такие моменты кран 5 моментально закрывался и через 2–3 минуты, при необходимости проведения дополнительных замеров, исследования возобновлялись на следующем этапе с минимального впуска воздуха.

Главной задачей эксперимента являлось установление диапазона снижения величины подачи грунтового насоса и его напора. Кроме того, необходимо было установить зависимость изменения относительного снижения подачи (производительности) землесоса от величины потребляемой электроэнергии (показания амперметра) [29]. В будущем эта зависимость позволит по показаниям амперметра устанавливать и регулировать необходимое значение снижения производительности грунтового насоса, без установки расходомера.

Достоверность результатов экспериментальных исследований достигнута с помощью статистических методов при получении и обработке замеров, полученных в натуральных условиях [7, 10, 63].

Необходимое количество замеров для получения достоверного результата в каждой серии определено по данным предварительной серии опытов [63]. В результате замеров величины подачи, напора и записи показаний амперметра в первых пяти опытах для каждого режима работы грунтового насоса, который определялся условиями эксплуатации и величиной попадающего во всас воздуха (положе-

нием крана), вычислялось среднеарифметическое значение искомых величин по известной формуле

$$a = \frac{R_{1_i} + R_{2_i} + R_{3_i}}{3}. \quad (3.6)$$

Далее определялось среднеквадратичное отклонение, которое характеризует неоднородность определяемого показателя и величину ошибки [7]

$$\sigma = \sqrt{\frac{(a - R_{1_i})^2 + (a - R_{2_i})^2 + (a - R_{3_i})^2}{n - 1}}. \quad (3.7)$$

Для сравнения результатов определения неоднородности исходного показателя при различных опытах вычислялся вариационный коэффициент

$$C = \frac{100 \cdot \sigma}{a}. \quad (3.8)$$

Количество опытов в зависимости от величины вариационного коэффициента, заданной точности опробования и допустимой погрешности определялось по формуле

$$N_{\min} = \frac{K^2 \cdot C^2}{[(1 - p) \cdot 100]^2}, \quad (3.9)$$

где p – требуемая вероятность 0,8; 0,9; 0,95; K – коэффициент гарантии заданной точности, принимался равным значениям p : 1,3; 1,65; 2,0.

Количество опытов рассчитывалось для получения достоверного результата для каждого этапа испытаний. Если минимальное количество опытов для определенного этапа оказывалось больше пяти (количества замеров в предварительной серии), а повторить условия (точное положение крана и количество воздуха, попадающего во всас) практически невозможно, то эта серия замеров считалась непригодной. Испытания при положении крана, примерно соответствующему этому этапу, повторяются вновь, но количество опытов увеличивалось на 30–50 %. В дальнейшем все результаты испытаний и расчеты производились по средним значениям параметров.

Результаты экспериментальных данных при определении функциональной зависимости между двумя величинами x и y для

опытных данных x_1, x_2, \dots, x_n , соответствующих y_1, y_2, \dots, y_n , обрабатывались по методу наименьших квадратов [7, 10]. Тип функции $y = f(x)$ устанавливался на основании теоретических предпосылок, путем подбора соответствующих кривых методом выравнивания.

Точность теоретической зависимости оценивалась величиной ошибки, которая определяется по формуле

$$\Delta y = y_i - f(x_i), \quad (3.10)$$

где Δy – ошибка опыта; y_i – среднее значение в опыте; $f(x_i)$ – теоретическое значение.

Среднеквадратическое отклонение определялось по формуле

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sum [y_i - f(x_i)]^2}{n-1}}. \quad (3.11)$$

Для установленной зависимости определялся коэффициент вариации:

$$K_{\text{вар}} = \frac{\sigma' \cdot 100\%}{y} = \frac{100}{m} \cdot \sum \sqrt{\frac{\sum [y_i - f(x_i)]^2}{n-1}}, \quad (3.12)$$

где m – число групп, на которые разбивается исследуемый диапазон функций; n – количество замеров в группе.

3.2.1. Результаты эксперимента в филиале ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Талдинский угольный разрез»

При выполнении экспериментальных исследований в промышленных условиях использованы следующие приборы.

1. Датчики давления АИР-10S-ДИ-1170-М20 с пределами измерений от 0 до 2,5 МПа, с допустимой погрешностью измерений 0,8 %.

2. Штангенциркуль ШЦ-П-250-0,1 по ГОСТ 166–80.

3. Расходомер ультразвуковой с накладными излучателями «Акрон-01», с допустимой погрешностью измерений $\pm 1,5$ %.

4. Манометр ДМ93-100-1-М20Х1.5-0...25 кгс/см²–1,0 с допустимой погрешностью измерений 1,0 %.

Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 3.4. В ней приведены усредненные значения замеряемых па-

раметров после статистической обработки, принципы которой приведены ранее, с принятой величиной вероятности $p = 0,9$, которая была обеспечена соответствующим количеством опытов (замеров).

Таблица 3.4

Результаты экспериментальных исследований,
проведенных на разрезе «Галдинский»

№ п/п	Замеряемый параметр	Положение крана						Примечание
		номинальный режим*	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5**	
1	Ток, А	225	211	196	178	160	–	При положении крана № 4 – сработала задвижка
	Давление, м вод. ст.	71	68	64	59	54	–	
2	Ток, А	225	215	207	189	156	162	При положении крана № 5 – сработала задвижка
	Давление, м вод. ст.	71	69	67	62	53	–	
3	Ток, А	223	218	196	185	153	–	При положении крана № 4 – сработала задвижка
	Давление, м вод. ст.	71	70	64	61	52	–	
4	Ток, А	223	207	196	182	145	–	При положении крана № 4 – сработала задвижка
	Давление, м вод. ст.	71	67	64	60	50	–	
5	Ток, А	223	215	200	185	150	–	При положении крана № 4 – сработала задвижка
	Давление, м вод. ст.	71	69	65	61	51	–	

* Номинальный режим – кран закрыт

** Кран открыт полностью

Замерить величину подачи гидросмеси грунтовым насосом Гр4000/71 не удалось по причине сильной вибрации, шума и насыщенной пульпы (расходомер по принципу работы является ультра-

звуковым с накладными датчиками и предназначен для «условно чистой жидкости»). В этой связи величина расхода гидросмеси, а также производительность грунтового насоса определялись расчетным методом в номинальном режиме, при установленных величинах давления. Для этого по существующим методикам [60, 62] определялся фактический (действительный) режим работы грунтового насоса Гр4000/71 в условиях разреза «Талдинский».

3.2.2. Определение диапазона снижения подачи грунтового насоса за счет впуска воздуха в его всасывающий трубопровод

Для решения данной задачи необходимо было определить изменение величины подачи гидросмеси грунтовым насосом при впуске воздуха в его всасывающий трубопровод. Вместе с тем существующие методики [60, 62] позволили рассчитать величину подачи при известных значениях потребляемой мощности и развиваемого напора.

Механическая полезная мощность P на валу электродвигателя связана с потребляемой мощностью следующей зависимостью [37, 56]:

$$\frac{P}{\eta_d \cdot \cos \varphi} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}}, \quad (3.13)$$

где η_d – коэффициент полезного действия электродвигателя; φ – угол между активной и полной мощностью; $U_{\text{л}}$, $I_{\text{л}}$ – линейные напряжение и ток.

В этом случае можно выразить величину мощности на валу:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \eta_d \cdot \cos \varphi. \quad (3.14)$$

С другой стороны, мощность (Вт), потребляемая землесосом, рассчитывается по формуле

$$N = \frac{Q_{\text{Г}} \cdot H_{\text{Г}} \cdot \rho_{\text{Г}}}{102 \cdot \eta_3 \cdot 3,6}, \quad (3.15)$$

где η_3 – коэффициент полезного действия землесоса; $Q_{\text{Г}}$, $H_{\text{Г}}$ – подача и напор землесоса; $\rho_{\text{Г}}$ – плотность гидросмеси, кг/м^3 .

Приравняв выражение мощности на валу электродвигателя (3.14) к мощности, потребляемой землесосом (3.15), получаем

$$\frac{Q_{\Gamma} \cdot H_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma}}{102 \cdot \eta_3 \cdot 3,6} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \cos \varphi. \quad (3.16)$$

Из выражения (3.16) выразим расчетную формулу для определения величины подачи:

$$Q_{\Gamma} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_3 \cdot 102 \cdot 3,6}{H_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma}}. \quad (3.17)$$

В результате расчета нам известны значения ρ_{Γ} , Q_{Γ} и H_{Γ} номинального режима, а в результате экспериментальных исследований установлены значения $I_{\text{л}}$ (при работе электродвигателя на $U_{\text{л}} = 6000$ В), следовательно, величина подачи землесоса ($\text{м}^3/\text{ч}$) в номинальном режиме может быть выражена зависимостью

$$Q_{\text{ГН}} = \frac{636 \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{лн}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \eta_3}{H_{\text{ГН}} \cdot \rho_{\Gamma}}, \quad (3.18)$$

а расход гидросмеси ($\text{м}^3/\text{ч}$) при любом i -м режиме можно рассчитать по формуле

$$Q_{\Gamma_i} = \frac{636 \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}_i} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \eta_3}{H_{\Gamma_i} \cdot \rho_{\Gamma}}. \quad (3.19)$$

Относительная величина подач, при условии принятия допущения, что $\eta_{\text{д}}$, η_3 и ρ_{Γ} не зависят от впуска воздуха, может быть представлена в виде

$$\frac{Q_{\text{ГН}}}{Q_{\Gamma_i}} = \frac{I_{\text{лн}} \cdot H_{\Gamma_i}}{H_{\text{ГН}} \cdot I_{\text{л}_i}}, \quad (3.20)$$

что позволяет определить расчетную зависимость для определения производительности грунтового насоса ($\text{м}^3/\text{ч}$) по экспериментальным данным:

$$Q_{\Gamma_i} = \frac{Q_{\text{ГН}} \cdot H_{\text{ГН}} \cdot I_{\text{л}_i}}{I_{\text{лн}} \cdot H_{\Gamma_i}}. \quad (3.21)$$

Если выразить величину глубины регулирования, используя полученную зависимость (3.21), получим расчетную формулу

$$\frac{Q_{\text{ГН}} - Q_{\Gamma_i}}{Q_{\text{ГН}}} = \frac{\Delta Q_{\Gamma}}{Q_{\text{ГН}}} = 1 - \frac{H_{\text{ГН}}}{H_{\Gamma_i}} \cdot \frac{I_{\text{л}_i}}{I_{\text{лн}}}, \quad (3.22)$$

которая позволяет определить фактические значения глубины регу-

лирования подачи землесоса в процессе эксперимента, которые приведены в табл. 3.5.

В условиях разреза «Галдинский», когда грунтовый насос расположен на геодезической отметке, величина которой значительно ниже абсолютной отметки места выпуска гидросмеси, предельная величина глубины регулирования может быть определена по формуле

$$\frac{\Delta Q_{\Gamma}}{Q_{\Gamma H}} = 1 - \frac{H_{\Gamma H} \cdot I_{\Gamma_i}}{(H_{\Gamma H} - H_{\Gamma} \rho_{\Gamma}) \cdot I_{\Gamma H}}, \quad (3.23)$$

где предельное значение величины $H_{\Gamma_i} = H_{\Gamma H} - H_{\Gamma} \rho_{\Gamma}$, м вод. ст.; H_{Γ} – геодезическая высота подъема гидросмеси, м; ρ_{Γ} – плотность гидросмеси, кг/м³.

При этом следует помнить, что существует ограничение по скорости транспортирования гидросмеси, т. е. не допускается такая величина расхода, при которой исключается возможное заиливание трубопровода. Этот вопрос подробно рассмотрен в разделе 3.4.

Для практического применения результатов исследования описанного выше метода регулирования величины подачи грунтового насоса целесообразно выразить величину глубины регулирования в зависимости от параметра $\Delta I = I_{\Gamma H} - I_{\Gamma_i}$, который определяется штатным прибором – амперметром, который при отсутствии приборов измерения параметров, контролирующих работу гидротранспортного оборудования, фактически является единственным в арсенале машиниста землесосной установки.

С этой целью преобразуем зависимость (3.23) таким образом, чтобы она позволяла определять глубину регулирования в зависимости от снижения величины тока, вызванного впуском атмосферного воздуха во всасывающий трубопровод грунтового насоса.

Для упрощения записи левую часть зависимости (3.23), которая по определению является глубиной регулирования (дол. ед.) подачи землесоса, обозначим буквой Γ :

$$\Gamma = \frac{\Delta Q_{\Gamma}}{Q_{\Gamma H}} = \frac{Q_{\Gamma H} - Q_{\Gamma_i}}{Q_{\Gamma H}} = 1 - \frac{Q_{\Gamma_i}}{Q_{\Gamma H}}. \quad (3.24)$$

Выразим значение глубины регулирования в соответствии с формулами (3.18) и (3.19), при этом введем коэффициент 100 для того, чтобы размерность искомого параметра выражалась в процентах:

Таблица 3.5

Изменение глубины регулирования подачи грунтового насоса от сокращения величины потребляемого тока

№ п/п	Замеряемый параметр	Положение крана								
		номинальный режим	$\Delta I_{л_i}$	№ 1	$\Delta I_{л_i}$	№ 2	$\Delta I_{л_i}$	№ 3	$\Delta I_{л_i}$	№ 4
1	Ток, А	225	14	211	29	196	47	178	65	160
	Напор, м вод. ст.	71		68		64		59		54
	$100(Q_{ГН} - Q_{Г_i} / Q_{ГН}), \%$			1,98		3,07		4,58		6,37
2	Ток, А	225	10	215	18	207	36	189	69	156
	Напор, м вод. ст.	71		69		67		62		53
	$100(Q_{ГН} - Q_{Г_i} / Q_{ГН}), \%$			1,71		2,26		3,63		6,81
3	Ток, А	223	5	218	27	196	38	185	70	153
	Напор, м вод. ст.	71		70		64		61		52
	$100(Q_{ГН} - Q_{Г_i} / Q_{ГН}), \%$			0,89		2,46		3,36		6,57
4	Ток, А	223	16	207	27	196	41	182	78	145
	Напор, м вод. ст.	71		67		64		60		50
	$100(Q_{ГН} - Q_{Г_i} / Q_{ГН}), \%$			1,64		2,46		3,62		7,55
5	Ток, А	223	8	215	23	200	38	185	73	150
	Напор, м вод. ст.	71		69		65		61		51
	$100(Q_{ГН} - Q_{Г_i} / Q_{ГН}), \%$			1,09		2,15		3,36		6,93

$$\Gamma = 100 \left(1 - \frac{636 \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}i} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{з}} \cdot H_{\text{ГН}} \cdot \rho_{\Gamma}}{H_{\Gamma_i} \cdot \rho_{\Gamma} \cdot 636 \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{ЛН}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{з}}} \right). \quad (3.25)$$

После преобразования получим

$$\Gamma = 100 \left(1 - \frac{I_{\text{л}i} \cdot H_{\text{ГН}}}{H_{\Gamma_i} \cdot I_{\text{ЛН}}} \right). \quad (3.26)$$

Расчет величины глубины регулирования в зависимости от параметра ΔI в практических целях по формуле (3.26) невозможен, т. к. она включает параметры H_{Γ_i} и $I_{\text{л}i}$, величины которого нам не известны и могут быть установлены только путем экспериментальных замеров. Решение этой задачи было найдено, когда в зависимости (3.26) параметр H_{Γ_i} был выражен через $I_{\text{л}i}$, в результате чего они оба сократились в процессе преобразований. На основании экспериментальных данных (см. табл. 3.4) была построена графическая зависимость $H_{\Gamma_i} = f(I_{\text{л}i})$ (рис. 3.3), которая после обработки по методу наименьших квадратов [10] получила аналитическое выражение (м вод. ст.):

$$H_{\Gamma_i} = \kappa I_{\text{л}i} + \nu = 0,275 I_{\text{л}i} + 10,0, \quad (3.27)$$

где $I_{\text{л}i}$ – величина тока, А; κ , ν – коэффициенты, соответственно равные 0,275 и 10,0.

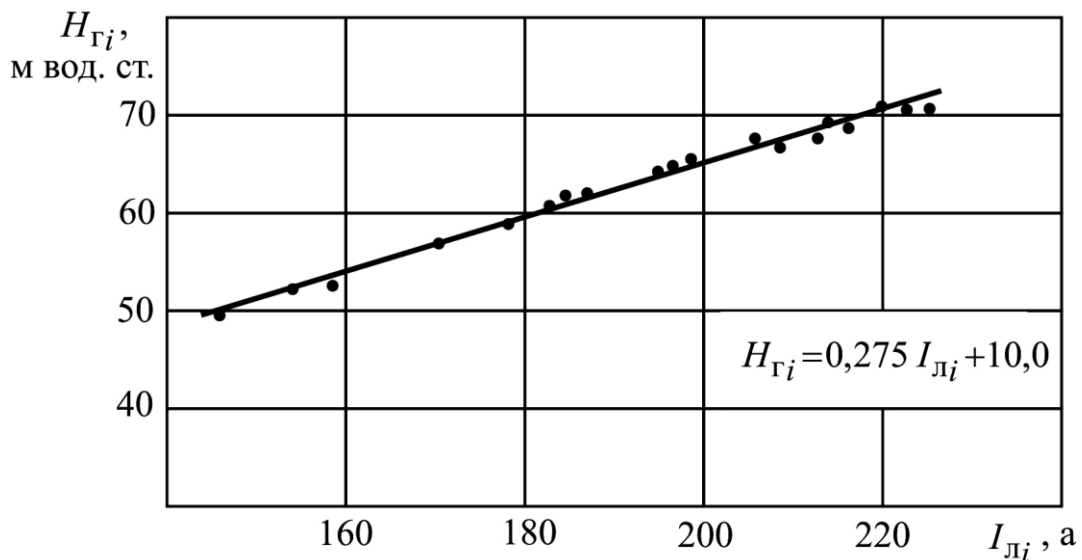


Рис. 3.3. Графическая зависимость $H_{\Gamma_i} = f(I_{\text{л}i})$

В табл. 3.6 представлена оценка достоверности статистической обработки экспериментальных данных при определении зависимости (3.27).

Таблица 3.6

Статистическая обработка экспериментальных данных
при определении зависимости (3.27)

№ п/п	Теоретическое значение $H_{\Gamma_i} = 0,275 I_{\text{л}i} + 10,0,$ м вод. ст.	Экспериментальные данные		
		H_{Γ_i} , м вод. ст.	$I_{\text{л}i}$, А	$\Delta y = y_i - f(x_i)$
1	71,9	71	225	0,9
2	68,0	68	211	0,0
3	63,9	64	196	-0,1
4	59,0	59	178	0,0
5	54,0	54	160	0,0
6	71,9	71	225	0,9
7	69,1	69	215	0,1
8	66,9	67	207	-0,1
9	62,0	62	189	0,0
10	52,9	53	156	-0,1
11	71,3	71	223	-0,3
12	70,0	70	218	0,0
13	63,9	64	196	-0,1
14	60,9	61	185	-0,1
15	52,1	52	153	0,1
16	71,3	71	223	-0,3
17	66,9	67	207	-0,1
18	63,9	64	196	-0,1
19	60,1	60	182	0,1
20	49,9	50	145	-0,1
21	71,3	71	223	-0,3
22	69,1	69	215	0,1
23	65,0	65	200	0,0
24	60,9	61	185	-0,1
25	51,3	51	150	0,3
	$\sum y = 1587,5$			$\sigma' = 0,297$
	$y = 63,5$			$K_{\text{вар}} = 0,46 \%$

Теперь, когда установлена зависимость (3.27), которая оценивается довольно хорошими значениями среднеквадратического отклонения ($\sigma' = 0,297$), коэффициента вариации ($K_{\text{вар}} = 0,46 \%$) и ко-

ээффициента корреляции ($r = 0,99$), подставив в формулу (3.26) полученную зависимость величины H_{Γ_i} через $I_{\text{лн}}$, после преобразования искомую зависимость изменения глубины регулирования подачи землесоса в процентах от снижения величины тока ΔI можно представить в виде

$$\Gamma = 100 \left[1 - \frac{H_{\text{ГН}}}{I_{\text{лн}} \left(\frac{b}{I_{\text{лн}} - \Delta I} + k \right)} \right]. \quad (3.28)$$

Произведя расчет по формуле (3.28), получим зависимость изменения глубины регулирования подачи грунтового насоса при сокращении величины потребляемого тока в результате подачи атмосферного воздуха во всасывающий патрубок в табличном (табл. 3.5) и графическом виде (рис. 3.4).

Для инженерных расчетов зависимость (3.28) можно с определенной (допустимой) степенью погрешности аппроксимировать более простой, линейной:

$$\Gamma = 0,1 \cdot \Delta I, \quad (3.29)$$

где ΔI – величина снижения тока при впуске атмосферного воздуха во всасывающий патрубок землесоса, выраженная в амперах.

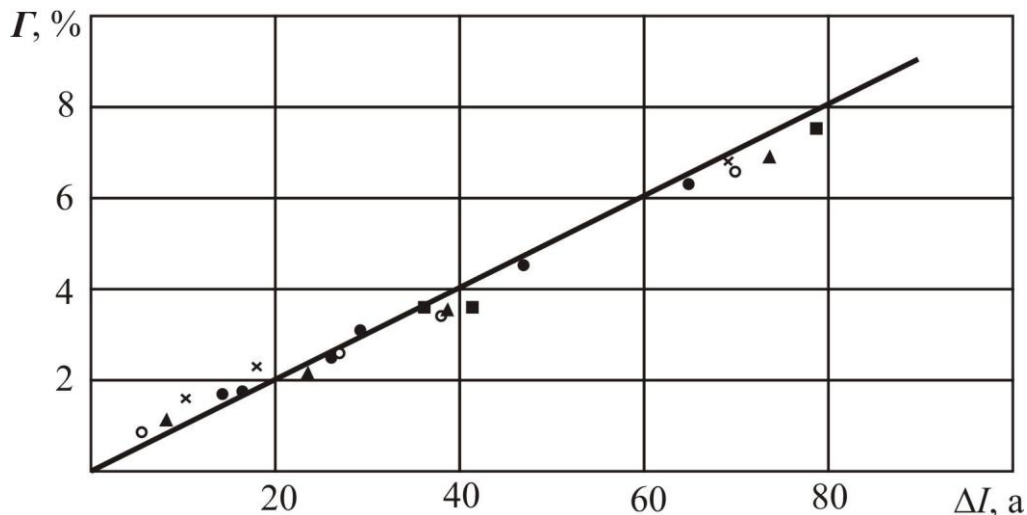


Рис. 3.4. График зависимости изменения глубины регулирования подачи грунтового насоса при сокращении величины потребляемого тока

Оценка статистической погрешности при расчете по формуле (3.29) по сравнению с определением глубины регулирования подачи

грунтового насоса по зависимости (3.28) (по приведенной выше методике) приведена в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Статистическая обработка экспериментальных данных
при определении зависимости (3.27)

№ п/п	Теоретическое значение $\Gamma = 0,1 \Delta$, %	Экспериментальные данные		
		Γ , %	Δ , А	$\Delta y = y_i - f(x_i)$
1	1,40	1,98	14	0,58
2	2,90	3,07	29	0,17
3	4,70	4,58	47	0,12
4	6,50	6,37	65	0,13
5	1,00	1,71	10	0,71
6	1,80	2,26	18	0,46
7	3,60	3,63	36	0,03
8	6,90	6,81	69	0,09
9	0,50	0,89	5	0,39
10	2,70	2,46	27	0,24
11	3,80	3,36	38	0,44
12	7,00	6,57	70	0,43
13	1,60	1,64	16	0,04
14	2,70	2,46	27	0,24
15	4,10	3,62	41	0,48
16	7,80	7,55	78	0,25
17	0,80	1,09	8	0,29
18	2,30	2,15	23	0,15
19	3,80	3,36	38	0,44
20	7,30	6,93	73	0,37
	$\sum y = 73,20$			$\sigma' = 0,417$
	$y = 3,66$			$K_{\text{вар}} = 11,4 \%$

Произведенные расчеты позволяют утверждать, что достоверность величины глубины регулирования подачи грунтового насоса, рассчитанная по формуле (3.29), характеризуется величиной среднеквадратического отклонения ($\sigma' = 0,297$), коэффициентом вариации ($K_{\text{вар}} = 0,46 \%$) и коэффициентом корреляции ($r = 0,9$), что вполне приемлемо для расчетов машинистом землесосной станции в промышленных условиях.

3.3. Исследование диапазона возможного снижения подачи грунтового насоса при впуске воздуха во всасывающий трубопровод

В условиях работы, когда грунтовый насос расположен на геодезической отметке, величина которой значительно ниже абсолютной отметки места выпуска гидросмеси, предельная величина глубины регулирования (дол. ед.) может быть определена по формуле (3.23).

Значение величины $H_{Г_i}$ может быть рассчитано по формуле

$$H_{Г_i} = H_{ГН} - H_{Г\rho_{Г}},$$

где $H_{Г}$ – геодезическая высота подъема гидросмеси, м; $\rho_{Г}$ – плотность гидросмеси, кг/м³.

Величина плотности гидросмеси определяется типом (группой) разрабатываемых пород и зависит от удельного расхода и давления воды на насадке гидромонитора. В соответствии с нормативными документами [49] удельный расход воды представлен в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Удельный расход воды

Группа пород	Породы	Удельные расходы 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, неслежавшиеся	3,6	3,5	3,2	3,0	2,8	2,6	2,5
II	Пески мелкозернистые, пески пылеватые, супеси легкие, лесс рыхлый, торф разложившийся	4,7	4,6	4,4	4,0	3,7	3,5	3,3
III	Пески средне- и разнозернистые, супеси средние, суглинки легкие, лесс плотный	5,8	5,6	5,4	5,0	4,7	4,4	4,2
IV	Пески крупнозернистые, смеси тяжелые, суглинки средние и тяжелые, глины текучие тощие	7,6	7,3	7,0	6,5	6,0	5,6	5,4

Продолжение табл. 3.8

Группа пород	Породы	Удельные расходы воды ($\text{м}^3/\text{м}^3$) при давлении на насадке гидромонитора, МПа						
		1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
V	Глины полужирные, песчано-гравийная смесь	–	–	8,5	7,9	7,3	7,0	6,6
VI	Глины пластинчатые, глины полужирные с гравием, песчано-гравийная смесь	–	–	–	9,9	8,5	8,0	7,5
VII	Глины тяжелые высокопластичные, (трудноразмываемые)	–	–	–	–	12	11,3	10,7

Просчитав по известной формуле значения плотности гидросмеси

$$\rho_{\Gamma} = \frac{\rho_0 q + \rho_{\Gamma}(1 - m)}{q + (1 - m)}$$

для пород V–VII групп, которые в основном в настоящее время разрабатываются средствами гидромеханизации на разрезах Кузбасса (при этом плотность суглинков и глин принята $2740 \div 2770 \text{ кг/м}^3$, а пористость $0,35 \div 0,41$), получим значения плотности перекачиваемой пульпы в зависимости от удельного расхода и давления воды на насадке гидромонитора (табл. 3.9).

Установленная зависимость (3.27) – $H_{\Gamma_i} = 0,275 I_{\Gamma_i} + 10,0$ позволяет выразить расчетную формулу для определения величины

$$I_{\Gamma_i} = \frac{H_{\Gamma_i} - 10,0}{0,275}.$$

Подставив значения H_{Γ_i} и I_{Γ_i} в формулу (3.23), получим зависимость изменения глубины регулирования подачи грунтового насоса Гр4000/71 ($H_{\Gamma_{\text{н}}} = 71 \text{ м вод. ст.}$; $I_{\Gamma_{\text{н}}} = 225 \text{ А}$) при впуске воздуха во всасывающий трубопровод при различных значениях геодезической высоты подъема гидросмеси, давлении воды на насадке гидромонитора для V–VII групп разрабатываемых пород (табл. 3.10).

Таблица 3.9

Плотность гидросмеси при номинальном удельном расходе воды и давлении на насадке гидромонитора

Группа пород	Породы	Плотность гидросмеси (кг/м ³) при номинальном удельном расходе воды и давлении на насадке гидромонитора					
		давление, МПа	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
V	Глины полужирные, песчано-гравийная смесь	ρ_{Γ}	1119	1127	1137	1142	1150
VI	Глины пластинчатые, глины полужирные с гравием, песчано-гравийная смесь	ρ_{Γ}	–	1103	1119	1126	1134
VII	Глины тяжелые высокопластичные, трудноразмываемые	ρ_{Γ}	–	–	1086	1091	1096

Таблица 3.10

Величина глубины регулирования подачи грунтового насоса Гр4000/71 при различных значениях H_{Γ} и давлении воды на насадке гидромонитора для V–VII групп разрабатываемых пород

Группа пород	Породы	Глубина регулирования подачи					
		давление, МПа	ρ_{Γ} , т/м ³	H_{Γ} , м	$H_{\Gamma i}$	$I_{\Gamma i}$	Γ , %
V	Глины полужирные, песчано-гравийная смесь	1,2	1,119	5	65,41	201,47	2,67
		1,2	1,119	10	59,81	181,13	4,30
		1,2	1,119	20	48,62	140,44	8,73
		1,2	1,119	30	37,43	99,75	15,79
		1,2	1,119	40	26,24	59,05	28,89
V	Глины полужирные, песчано-гравийная смесь	2,0	1,150	5	65,25	200,91	2,70
		2,0	1,150	10	59,50	180,00	4,40
		2,0	1,150	20	48,00	138,18	9,03
		2,0	1,150	30	36,5	96,36	16,58
		2,0	1,150	40	25,00	54,55	31,05
VI	Глины пластинчатые, глины полужирные с гравием, песчано-гравийная смесь	1,4	1,103	5	65,49	201,78	2,77
		1,4	1,103	10	59,97	181,71	4,39
		1,4	1,103	20	48,94	141,60	8,57
		1,4	1,103	30	37,91	101,49	15,52
		1,4	1,103	40	26,88	61,38	27,84

Продолжение табл. 3.10

Группа пород	Породы	Глубина регулирования подачи					
		давление, МПа	$\rho_{Г}$, т/м ³	$H_{Г}$, м	$H_{Гi}$	$I_{Лi}$	Γ , %
VI	Глины пластинчатые, глины полужирные с гравием, песчано-гравийная смесь	2,0	1,134	5	65,33	201,20	2,81
		2,0	1,134	10	59,66	180,58	4,35
		2,0	1,134	20	48,32	139,35	8,86
		2,0	1,134	30	36,98	95,75	18,30
		2,0	1,134	40	25,64	56,87	29,91
VII	Глины тяжелые высокопластичные, трудноразмываемые	1,6	1,086	5	65,57	202,07	2,62
		1,6	1,086	10	60,14	182,33	4,20
		1,6	1,086	20	49,28	142,84	8,41
		1,6	1,086	30	38,42	103,35	15,00
		1,6	1,086	40	27,56	63,85	26,79
VIII	Глины тяжелые высокопластичные, трудноразмываемые	2,0	1,096	5	65,52	201,89	2,63
		2,0	1,096	10	60,04	181,96	4,23
		2,0	1,096	20	49,08	142,11	8,50
		2,0	1,096	30	38,12	102,25	15,24
		2,0	1,096	40	27,16	62,40	27,40

Диапазон изменения величины глубины регулирования подачи грунтового насоса Гр4000/71 при различных значениях $H_{Г}$ (геодезической высоты подъема гидросмеси) и давлении воды на насадке гидромонитора для V–VII групп разрабатываемых пород представлен на рис. 3.5.

Как видно из рис. 3.5, диапазон изменения глубины регулирования подачи грунтового насоса в основном зависит от геодезической высоты подъема гидросмеси и составляет, в среднем, 8,7 % при $H_{Г} = 20$ м, возрастает до 16,1 % при $H_{Г} = 30$ м для V–VII групп разрабатываемых пород.

Увеличение давления воды на насадке гидромонитора практически не влияет на диапазон изменения подачи грунтового насоса. Например, для V группы разрабатываемых пород увеличение напора воды с 1,2 до 2,0 МПа увеличивает глубину регулирования на 0,03–1,16 % (соответственно при $H_{Г} = 5$ и 40 м).

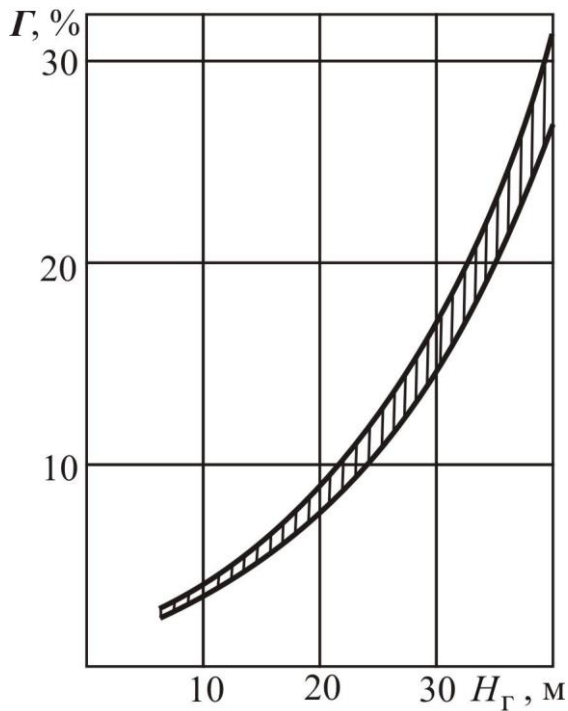


Рис. 3.5. Диапазон изменения величины глубины регулирования подачи грунтового насоса Гр4000/71 от геодезической высоты подъема гидросмеси

3.4. Исследование диапазона возможного снижения подачи грунтового насоса в зоне его промышленного использования

Процесс снижения величины подачи грунтового насоса с целью ликвидации дисбаланса производительности систем водоснабжения и гидротранспортирования гидрокомплекса разреза подразумевает уменьшение скорости движения гидросмеси в трубопроводе и определенное снижение ее плотности.

Необходимо установить, не вызывает ли уменьшение скорости движения гидросмеси (даже с учетом снижения ее плотности) заиливание пульповода, т. е. требуется внести ограничение величины сокращения подачи с целью исключения падения скорости ниже критической.

Для этого произведем расчеты параметров гидротранспорта для применяемых в настоящее время на разрезах Кузбасса основных типов грунтовых насосов – ЗГМ-2М и Гр4000/71.

Физико-механические свойства пород, разрабатываемых гидромониторно-землесосными комплексами на угольных разрезах Кузбасса, представлены в табл. 3.11–3.15.

Таблица 3.11

Гранулометрический состав и физико-механические свойства
суглинков и глин Сартакинского поля филиала
ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Моховский угольный разрез»

№ п/п	Свойства	Наименование пород	
		суглинки верхнечет- вертичные	суглинки и глины средне- четвертичные
1	Естественная влажность, %	19,0–29,0	20–32
2	Объемная масса, г/см ³	1,87–1,97	1,83–2,0
	Объемная масса в водонасыщенном состоянии	1,93–1,98	1,87–2,01
3	Плотность, г/см ³	2,69–2,7	2,69–2,7
4	Пористость, %	41–45	40–49
5	Коэффициент пористости	0,7–0,83	0,67–0,95
6	Степень водонасыщения	0,73–0,97	0,77–0,92
7	Максимальная молекулярная влагоемкость, %	20,1–30,9	18–35,1
8	Предел текучести, %	29–33	29–40
9	Предел раскатывания, %	20–22	18–25
10	Число пластичности, %	9–20,0	10–25
11	Показатель консистенции	–0,11–0,67	–0,01–0,56
12	Степень набухания, %	–	–
13	Предел набухания, %	–	–
14	Гранулометрический состав частиц, %	песчаные	–
		пылеватые	82,1–83,2
		глинистые	16,8–17,9
15	Угол внутреннего трения, град	18–19	18–25
	Угол внутреннего трения в водонасыщенном состоянии, град	18–25	21–25
16	Сцепление, МПа	0,015–0,021	0,023–0,041
	Сцепление в водонасыщенном состоянии, МПа	0,003–0,012	0,017–0,027

Таблица 3.12

Гранулометрический состав и физико-механические свойства
суглинков и глин Моховского поля филиала
ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Моховский угольный разрез»

№ п/п	Свойства	Наименование пород	
		суглинки верхне-четвертичные	суглинки и глины среднечетвертичные
1	Естественная влажность, %	14,93–27,99/22,01	14,65–26,00/19,49
2	Объемная масса, г/см ³	1,80–2,08/1,96	1,99–2,17/2,02
3	Плотность, г/см ³	2,69–2,74/2,71	2,68–2,74/2,70
4	Пористость, %	35,66–46,90/40,00	30,22–40,88/36,54
5	Коэффициент пористости	0,554–0,883/0,706	0,433–0,691/0,564
6	Степень водонасыщения	0,58–0,99/0,72	0,72–0,99/0,90
7	Максимальная молекулярная влагоемкость, %	18–28/22	19–26/23
8	Предел текучести, %	30–48/41	36–48/43
9	Предел раскатывания, %	20–29/25	23–27/25
10	Число пластичности, %	10–19/16	13–22/18
11	Показатель консистенции	(–0,47)–0,43/ (–0,10)	(–0,61)–0,10/ (–0,21)
12	Степень набухания, %	0,75–8,90/3,60	2,80/2,80
13	Предел набухания, %	24,98–35,52/29,35	31,41/31,41
14	Гранулометрический состав частиц, %	песчаные	3,19–26,77/8,87
		пылеватые	45,26–68,77/62,75
		глинистые	22,64–35,01/28,38
15	Угол сдвига, град	18,25/21	23–26/24
16	Сцепление, МПа	0,030–0,158/0,083	0,030–0,040/0,035

Таблица 3.13

Гранулометрический состав и физико-механические свойства
суглинков и глин Новосергеевского поля филиала
ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Краснобродский угольный разрез»

№ п/п	Свойства	Наименование пород
		суглинки и глины позднего плиоцена
1	Естественная влажность, %	19,89; 16,62
2	Объемная масса, г/см ³	1,99; 2,01
3	Плотность, г/см ³	2,64; 2,65
4	Пористость, %	36,49; 26,39
5	Коэффициент пористости	0,575; 0,246
6	Степень водонасыщения	0,898; 0,890

Продолжение табл. 3.13

№ п/п	Свойства	Наименование пород	
		суглинки и глины позднего плиоцена	
7	Максимальная молекулярная влагоемкость, %	23; 27	
8	Предел текучести, %	–	
9	Предел раскатывания, %	–	
10	Число пластичности, %	14; 22	
11	Показатель консистенции	0,05–1,7	
12	Степень набухания, %	0,2–18	
13	Предел набухания, %	–	
14	Гранулометрический состав частиц, %	песчаные	16–5
		пылеватые	67–63
		глинистые	17–32
15	Угол сдвига, град	19–18	
16	Сцепление, МПа	0,037; 0,036	

Таблица 3.14

Гранулометрический состав и физико-механические свойства
суглинков и глин филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»
«Кедровский угольный разрез»

№ п/п	Свойства	Наименование пород	
		глины	суглинки
1	Естественная влажность, %	18–55	24–26
2	Объемная масса, г/см ³		
3	Плотность, г/см ³	1,79–2,02	2–2,14
4	Пористость, %	41–54	32–40
5	Коэффициент пористости	0,68–1,17	0,48–0,66
6	Коэффициент водонасыщения	0,88–1	0,92–0,99
7	Максимальная молекулярная влагоемкость, %	–	–
8	Граница текучести, %	0,296–0,52	0,35–0,38
9	Предел раскатывания, %	0,19–0,28	0,21–0,23
10	Число пластичности, %	0,07–0,2	0,13–0,16
11	Показатель консистенции	–	–
12	Степень набухания, %	–	–
13	Предел набухания, %	–	–
14	Гранулометрический состав частиц, %	песчаные	1–42
		пылеватые	46–86
		глинистые	11–30
15	Угол внутреннего трения, град	4–34	5–20
16	Сцепление, МПа	–	–

Таблица 3.15

Гранулометрический состав и физико-механические свойства суглинков и глин филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Талдинский угольный разрез»

№ п/п	Свойства		Наименование пород	
			глины	суглинки
1	Естественная влажность, %		22,6	26,4
2	Объемная масса, г/см ³		2,01	1,97
3	Плотность, г/см ³		1,88	2,04
4	Пористость, %		38,9	42,5
5	Коэффициент пористости		0,647	0,744
6	Степень водонасыщения		0,94	0,95
7	Максимальная молекулярная влагоемкость, %		–	–
8	Предел текучести, %		35	31
9	Предел раскатывания, %		26	23
10	Число пластичности, %		19,5	16,1
11	Показатель консистенции		–	–
12	Степень набухания, %		–	–
13	Предел набухания, %		–	–
14	Гранулометрический состав частиц, %	песчаные	7,2	15,3
		пылеватые	71,6	47,2
		глинистые	21,2	37,5
15	Угол сдвига, град		–	–
16	Угол внутреннего трения, град		22	22
17	Сцепление, МПа		–	–

Анализ изменения гранулометрического состава четвертичных вскрышных пород, разрабатываемых средствами гидромеханизации, позволяет определить параметры усредненного значения содержания определенных фракций для расчета параметров гидро-транспорта (табл. 3.16) [13, 49, 65].

Таблица 3.16

Усредненный гранулометрический состав наносов, разрабатываемых гидромониторно-землесосными комплексами

Тип породы	Размер фракций, мм					
	< 0,005	0,005–0,05	0,05–0,25	0,25–0,5	0,5–2,0	2,0–5,0
	содержание, %					
1	30–35	40–50	10–15	3–10	2–5	–
2	32–22	18–14	15–32	15–12	15–10	5–10

При этом плотность суглинков и глин составляет 2740–2770 кг/м³, а пористость – 0,35–0,41. Для песчаных и гравелистых грунтов плотность колеблется от 2650 до 2680 кг/м³, а пористость составляет 0,37–0,46.

Наиболее универсальной, охватывающей практически все виды гидросмесей от суспензий до грубо- и полидисперсных, является методика расчета основных параметров гидротранспорта, разработанная Г. П. Дмитриевым [11, 16, 62], в соответствии с которой

$$V_{кр} = C^3 \sqrt{a_{1c} S_2 u_{*1c} g D} + C' \sqrt{a_{1c} S_3 g D}, \quad (3.30)$$

где $V_{кр}$ – критическая скорость движения гидросмеси в трубопроводе, м/с; $C = 7–12 \equiv S_2$ – эмпирический коэффициент; $C' = 3–5 \equiv D$; a_{1c} – относительная плотность мелкодисперсных твердых частиц (крупностью 0,15–2,5 мм) в несущей среде, образованной тончайшими и тонкодисперсными (крупностью до 0,15 мм) твердыми частицами:

$$a_{1c} = \frac{\rho_T - \rho_{1c}}{\rho_{1c}}, \quad (3.31)$$

где ρ_T – плотность транспортируемого твердого материала, кг/м³; ρ_{1c} – плотность несущей среды, кг/м³:

$$\rho_{1c} = S_{1c} (\rho_T - \rho_0) + \rho_0, \quad (3.32)$$

где ρ_0 – плотность воды, кг/м³; S_{1c} – объемная концентрация в гидросмеси тончайших (0–0,074 мм) и тонких (0,074–0,15 мм) твердых частиц:

$$S_{1c} = q_{1c} \cdot S, \quad (3.33)$$

где q_{1c} – содержание тончайших и тонких частиц в общем объеме транспортируемого твердого материала, дол. ед.; S – объемная концентрация твердого в гидросмеси:

$$S = \frac{\rho_T - \rho_0}{\rho_T - \rho_0}, \quad (3.34)$$

где ρ_T – плотность транспортируемой гидросмеси, кг/м³;

S_2 – объемная концентрация в гидросмеси мелкодисперсных твердых частиц:

$$S_2 = q_2 \cdot S, \quad (3.35)$$

где q_2 – содержание мелкодисперсных частиц в общем объеме транспортируемого твердого материала, дол. ед.;

u_{*1c} – гидравлическая крупность мелкодисперсных твердых частиц в стесненных условиях несущей среды:

$$u_{*1c} = \frac{\beta a_{1c} d_{cp}}{\sqrt[3]{\mu_{1c}}} \cdot 10^{-3}, \quad (3.36)$$

где $\beta = 5,2 + 3,2d_{cp}$ при $d_{cp} = 0,15-0,5$ мм; $\beta = 6,5$ при $d_{cp} = 0,5-1,5$ мм; $\beta = 8,0 - d_{cp}$ при $d_{cp} = 1,5-3,0$ мм; d_{cp} – средне-взвешенный диаметр мелкодисперсных твердых частиц, мм; μ_{1c} – динамический коэффициент вязкости несущей среды, Н·с/м²; g – ускорение свободного падения, м/с²; D – диаметр трубопровода, м; S_3 – объемная концентрация в гидросмеси крупнодисперсных (свыше 2,5 мм) твердых частиц:

$$S_3 = q_3 \cdot S, \quad (3.37)$$

где q_3 – содержание крупнодисперсных частиц в общем объеме транспортируемого твердого материала, дол. ед.

Результаты расчета величины критической скорости движения гидросмеси и ее плотность для трубопроводов 720 и 530 мм, принятых при использовании землесосов ЗГМ-2М и грунтовых насосов Гр4000/71, приведены в табл. 3.17.

Таблица 3.17

Критическая скорости движения гидросмеси для трубопроводов диаметром 720 и 530 мм при различных значениях плотности гидросмеси (расчет по методике Г. П. Дмитриева)

$\rho_{Г}, \text{кг/м}^3$	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1400
S	0,0292	0,0585	0,0877	0,117	0,146	0,175	0,234
$q, \text{м}^3/\text{м}^3$	19,9	9,7	6,2	4,5	3,5	2,8	2,0
S_{1c}	0,0219	0,0439	0,0658	0,0877	0,109	0,131	0,175
S_2	0,0073	0,0146	0,0219	0,0293	0,0370	0,0440	0,0590

Продолжение табл. 3.17

ρ_{1c} , кг/м ³	1037	1075	1112	1150	1186	1224	1299
a_{1c}	1,61	1,52	1,44	1,36	1,28	1,21	1,09
u_{*1c} , м/с	0,0478	0,0429	0,0381	0,0338	0,0312	0,0284	0,0243
$D = 720$ мм							
$V_{кр}$, м/с	1,57	1,87	2,02	2,10	2,17	2,18	2,20
$D = 530$ мм							
$V_{кр}$, м/с	1,41	1,68	1,82	1,89	1,95	1,96	1,98

Полученные данные позволяют построить графическую зависимость изменения величины критической скорости движения гидросмеси в трубопроводах диаметром 720 и 530 мм при различных значениях плотности пульпы (рис. 3.6).

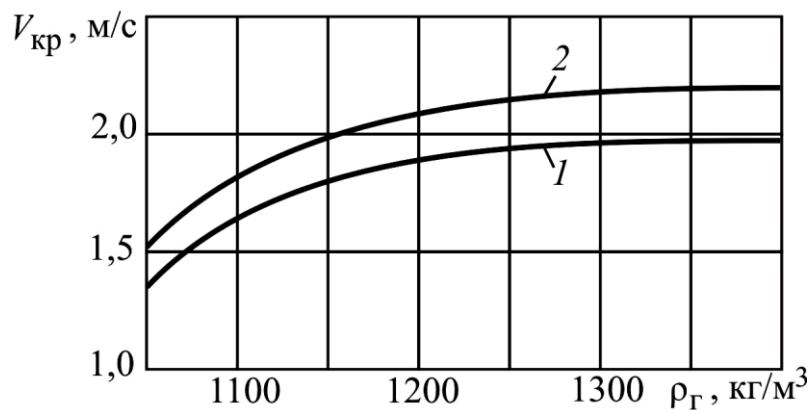


Рис. 3.6. Зависимости критической скорости движения гидросмеси в трубопроводах диаметром 720 (2) и 530 (1) мм при различных значениях плотности гидросмеси

Установленные графические зависимости изменения критической скорости движения гидросмеси позволяют определить величину расходов гидросмеси Q_p (м³/ч) для трубопроводов диаметром 720 и 530 мм при различной плотности пульпы (рис. 3.7), которые рассчитываются по формуле

$$Q_p = (1,05 \dots 1,20) V_{кр} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot 3600 = (2970 \dots 3900) V_{кр} D^2. \quad (3.38)$$

На этом же графике горизонтальными пунктирными линиями приведены зоны промышленного использования грунтовых насосов ГрТ4000/71, ЗГМ-2М и двух ЗГМ-2М, работающих параллельно.

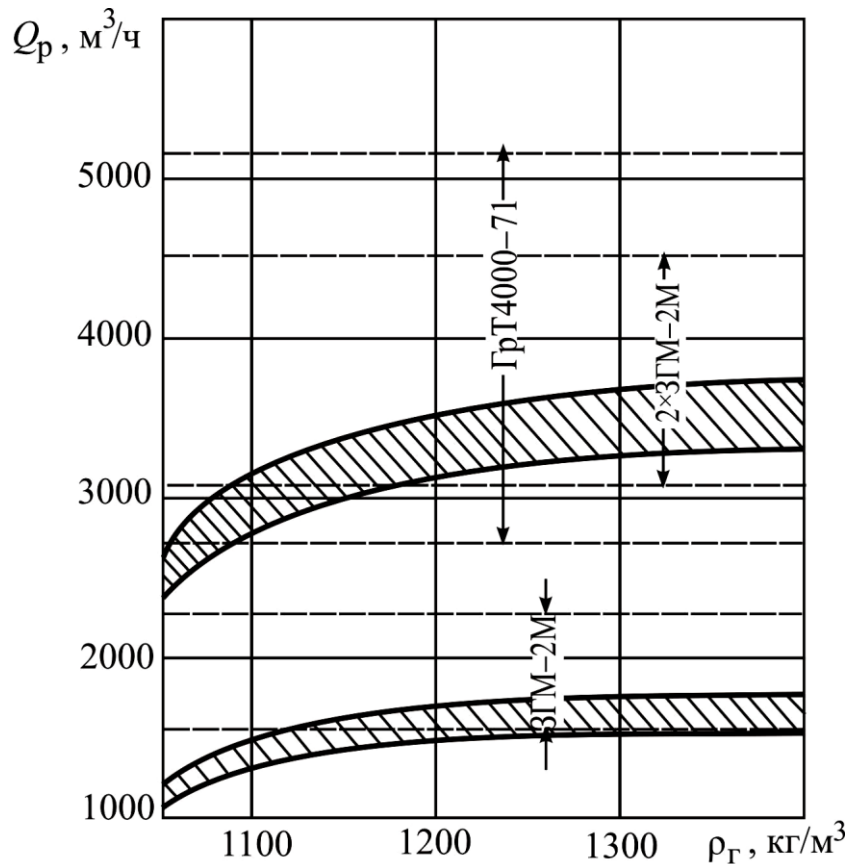


Рис. 3.7. Расход гидросмеси по трубопроводам диаметром 720 и 530 мм в зависимости от плотности пульпы

Однако действительные режимы работы грунтовых насосов зависят не только от плотности гидросмеси, но и от характеристики трассы трубопроводов. Поэтому окончательные выводы о диапазоне снижения величины подачи грунтового насоса с целью ликвидации дисбаланса систем водоснабжения и гидротранспортирования в период подрезки уступа струей гидромонитора могут быть сделаны только с учетом влияния характеристики трассы трубопроводов на графиках действительных режимов работы насосного оборудования.

Основой методического подхода определения действительных режимов работы насосного оборудования являются методики расчета характеристик внешних сетей, разработанная В. И. Шелогановым [57, 58, 60], и пересчета характеристик грунтовых насосов с воды на гидросмесь — Л. А. Смойловской [13], которые наиболее уни-

версальны и просты. При этом для расчета характеристики внешней сети использовалась зависимость Г. П. Дмитриева, полученная на основании методики расчета основных параметров гидротранспорта [11, 62], т. е. в обобщенной зависимости для определения сопротивления внешней сети

$$H_c = H_r + R_0 Q_r^2 + R_g Q_r^n, \quad (3.39)$$

значения основного R_0 и дополнительного R_g коэффициентов сопротивления и показателя степени n определялись по формулам

$$R_0 = \left[\lambda_0 \frac{L \rho_0}{D \rho_r} (1 + a_r S_r) + \sum \xi + 1 \right] \frac{0,81}{g D^4}; \quad (3.40)$$

$$R_g = \frac{0,78 C'_1 \rho_0 a_* S_r W_* L D^2}{S_r}; \quad n = -1, \quad (3.41)$$

где H_r – геодезическая высота подъема гидросмеси; Q_r – расход гидросмеси, м³/с; λ_0 – коэффициент линейных гидравлических сопротивлений при движении по трубопроводу воды; L – полная длина трубопровода, м; Q_r – относительная плотность тонкодисперсных (крупностью до 0,15 мм) твердых частиц в воде; S_r – объемная концентрация тонкодисперсных фракций твердого в несущей среде; $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений; C'_1 – эмпирический коэффициент; a_* – относительная плотность грубодисперсных (крупностью более 0,15 мм) твердых частиц в несущей среде, образованной тонкодисперсными твердыми частицами; S_r – объемная концентрация грубодисперсного твердого материала в гидросмеси; W_* – гидравлическая крупность грубодисперсных твердых частиц в несущей среде, м/с.

Результаты исследования зависимости подачи землесосов (грунтовых насосов) в зоне их промышленного использования от условий эксплуатации с учетом плотности перекачиваемой гидросмеси, геодезической высоты подъема гидросмеси и расстояния ее транспортирования представлены в табл. 3.18–3.20, а графические зависимости – на рис. 3.8.

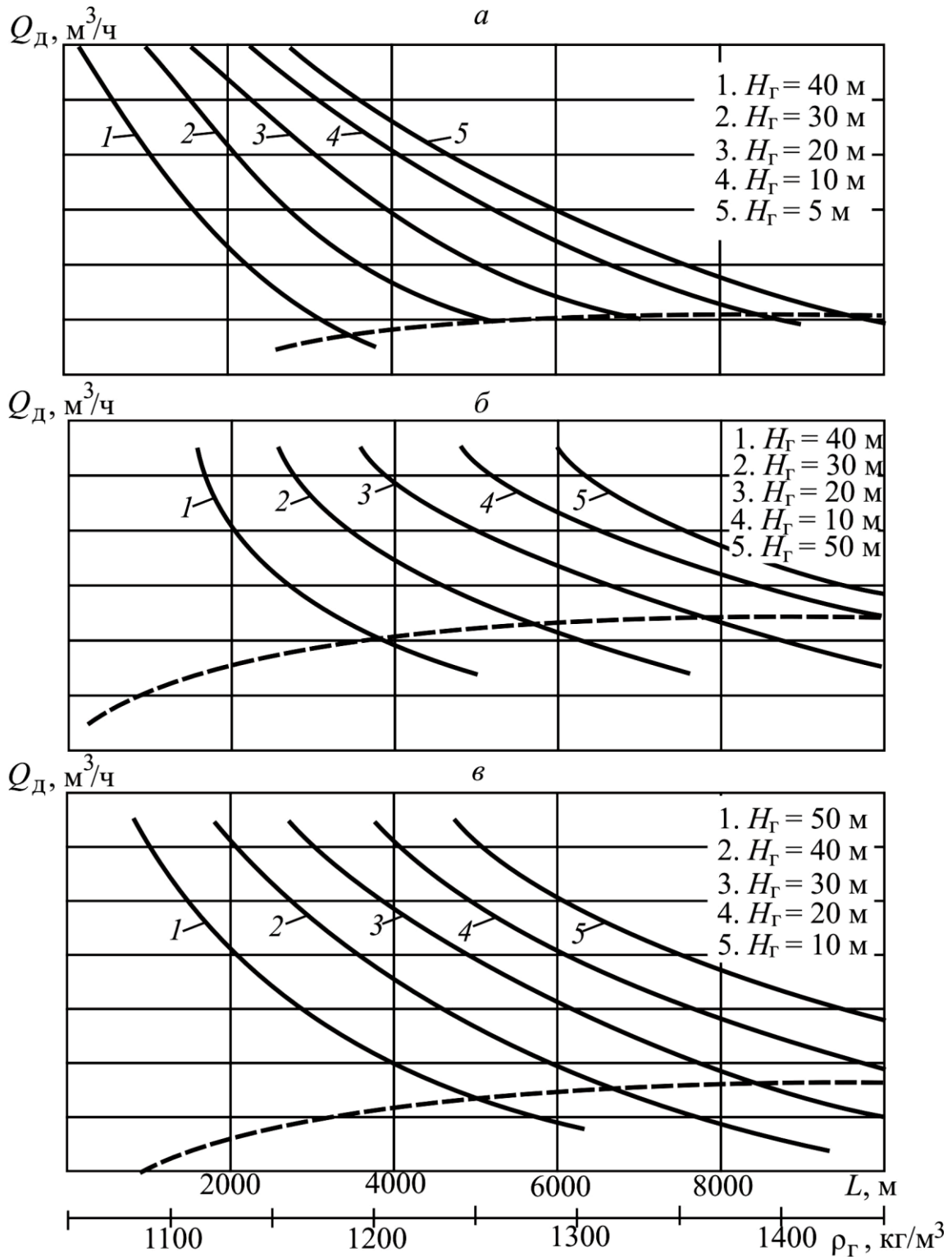


Рис. 3.8. Графические зависимости действительной подачи грунтового насоса (землесоса) от дальности транспортирования и геодезической высоты подъема гидросмеси при применении: *a* – землесоса ЗГМ-2М; *б* – грунтового насоса Гр4000/71; *в* – двух параллельно работающих землесосов ЗГМ-2М;
 - - - - зона промышленного использования землесоса;
 - · - · - ограничение по величине критической скорости

Таблица 3.18

Результаты расчетов режимов работы землесоса ЗГМ-2М

№ п/п	$H_{Г}$, м	L , м	$Q_{д}$, м ³ /ч	$H_{г}$, м	$\eta_{г}$, дол. ед.	$\Delta h_{г}^{Д}$, м
36	20	2000	2490	52,0	0,59	6,3
37	20	3000	2170	55,0	0,65	5,7
38	20	4000	1940	56,8	0,66	5,4
39	20	5000	1770	57,9	0,66	5,2
40	20	6000	1600	57,7	0,64	5,1
41	20	7000	1510	59,4	0,63	5,1
42	30	1000	2600	50,8	0,57	6,6
43	30	2000	2170	55,0	0,64	5,7
44	30	3000	1890	57,1	0,66	5,3
45	30	4000	1690	58,5	0,65	5,2
46	30	5000	1530	59,3	0,64	5,1
47	10	3000	2420	52,7	0,61	6,2
48	10	5000	1980	56,5	0,66	5,4
49	10	7000	1700	58,4	0,65	5,2
50	10	9000	1500	59,5	0,63	5,1
51	5	3000	2540	51,5	0,58	6,4
52	5	5000	2080	55,8	0,65	5,6
53	5	7000	1790	57,8	0,66	5,3
54	5	10000	1500	59,5	0,63	5,1
55	40	1000	2180	55,0	0,65	5,7
56	40	2000	1800	57,7	0,66	5,3
57	40	4000	1380	60,1	0,61	5,1

Таблица 3.19

Результаты расчетов режимов работы двух
параллельно соединенных землесосов ЗГМ-2М

№ расчетов	$H_{Г}$, м	L , м	$Q_{д}$, м ³ /ч	$H_{г}$, м	$\eta_{г}$, дол. ед.	$\Delta h_{г}^{Д}$, м
78	5	2000	—	—	—	—
79	5	4000	—	—	—	—
80	5	6000	—	—	—	—
81	5	8000	3790	57,1	0,67	5,3
82	5	10000	3410	58,3	0,67	5,1
83	5	6000	—	—	—	—
84	10	2000	—	—	—	—
85	10	4000	—	—	—	—
86	10	6000	4100	56,0	0,67	5,5

Продолжение табл. 3.19

№ расчетов	$H_{Г}$, м	L , м	$Q_{д}$, м ³ /ч	H_{g} , м	η_g , дол. ед.	$\Delta h_g^д$, м
87	10	8000	3610	57,7	0,67	5,3
88	10	10000	3250	58,8	0,66	5,1
89	10	5000	—	—	—	—
90	20	2000	—	—	—	—
91	20	4000	—	—	—	—
92	20	5000	3960	56,5	0,68	5,4
93	20	7000	3420	58,3	0,67	5,2
94	20	9000	3040	59,4	0,65	5,1
95	20	10000	2880	59,8	0,63	5,1
99	30	3000	5600	40	0,25	7,1
100	30	4000	3750	57,2	0,67	5,3
101	30	3500	3950	56,6	0,67	5,4
102	30	5000	3430	58,3	0,67	5,2
103	30	6000	3170	59,0	0,65	5,1
104	40	2000	3930	56,6	0,67	5,4
105	40	1500	5200	48	0,50	7,1
106	40	3000	3440	58,2	0,67	5,2
107	40	4000	3090	59,3	0,65	5,1

Таблица 3.20

Результаты расчетов режимов работы грунтового насоса
ГрТ4000/71

№ расчетов	$H_{Г}$, м	L , м	$Q_{д}$, м ³ /ч	H_{g} , м	η_g , дол. ед.	$\Delta h_g^д$, м
130	10	5500	4820	67,0	0,71	7,4
131	10	7000	4360	69,1	0,72	6,0
132	10	8000	4100	70,1		5,4
133	10	9000	3890	70,8		4,9
134	10	10000	3700	71,5		4,6
135	20	4000	5010	66,1		8,0
136	20	6000	4270	69,4		5,8
137	20	8000	3760	71,3		4,7
138	20	10000	3380	72,5		4,1
139	30	3000	5010	66,1		8,0
140	30	5000	4150	69,9		5,5
141	30	7000	3590	71,8		4,4
142	30	9000	3200	73,0		3,8
143	30	10000	3030	73,4		3,7

Продолжение табл. 3.20

№ расчетов	H_{Γ} , м	L , м	$Q_{\text{д}}$, м ³ /ч	H_g , м	η_g , дол. ед.	$\Delta h_g^{\text{д}}$, м
144	40	2000	5010	66,1		8,0
145	40	4000	3990	70,5		5,1
146	40	6000	3380	72,5	0,70	4,1
146	40	8000	2960	73,6	0,68	3,6
147	40	9000	2790	74,0	0,66	3,5
154	40	1000	5840	61,4	0,70	11,3
148	50	1000	5020	66,1	0,71	8,0
149	50	3000	3750	71,3	0,71	4,7
150	50	5000	3070	73,3	0,68	3,7
151	50	6000	2830	73,9	0,66	3,5
152	50	500	5530	63,3	0,72	9,9

Приведенные данные позволяют установить абсолютные значения величины подач, которые соответствуют зоне промышленного использования соответствующего грунтового насоса или землеса. В то же время они позволяют определить предельные значения диапазона снижения подачи грунтового насоса за счет впуска воздуха в его всасывающий трубопровод, при котором не произойдет заиливание пульповода. С этой целью в соответствии с данными табл. 3.9 определяем величину плотности транспортируемой гидросмеси для V–VII групп пород при различном давлении воды на насадке гидромонитора (1,2–2,0 МПа) и определяем величину критической скорости (для пульповодов диаметром 530 и 720 мм) по графической зависимости (см. рис. 3.6). Эти данные представлены в табл. 3.21.

Таблица 3.21

Плотность гидросмеси и критическая скорость ее движения в зависимости от давления воды на насадке гидромонитора

Группа пород	Породы	Плотность гидросмеси (кг/м ³) и $V_{\text{кр}}$ (м/с) при номинальном удельном расходе воды и давлении на насадке гидромонитора, МПа					
		давление воды	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
V	Глины полужирные, песчано-гравийная смесь	ρ_{Γ}	1119	1127	1137	1142	1150
		$V_{\text{кр}}$ (530)	1,73	1,76	1,78	1,80	1,82
		$V_{\text{кр}}$ (720)	1,94	1,97	1,99	2,01	2,02

Продолжение табл. 3.21

Группа пород	Породы	Плотность гидросмеси (кг/м^3) и $V_{\text{кр}}$ (м/с) при номинальном удельном расходе воды и давлении на насадке гидромонитора, МПа					
		давление воды	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
VI	Глины пластинчатые, глины полужирные с гравием, песчано-гравийная смесь	ρ_{Γ}	–	1103	1119	1126	1134
		$V_{\text{кр}}$ (530)		1,69	1,73	1,76	1,79
		$V_{\text{кр}}$ (720)		1,87	1,91	1,94	1,96
VII	Глины тяжелые высокопластичные, трудноразмываемые	ρ_{Γ}	–	–	1086	1091	1096
		$V_{\text{кр}}$ (530)			1,62	1,65	1,67
		$V_{\text{кр}}$ (720)			1,81	1,84	1,86

Принимаем за минимально допустимый расход гидросмеси по трубопроводу подачу, соответствующую скорости ее движения 0,9 от $V_{\text{кр}}$ (м/с), и обозначим ее $Q_{\Gamma_{\text{min}}} = 0,9Q_{\text{кр}}$.

После проведения соответствующих расчетов, на основании ранее установленных значений величины подачи землесосов (грунтовых насосов), которые соответствуют зоне их промышленного использования, по формуле (3.1) определяем глубину регулирования подачи грунтового насоса, допустимую по условию исключения заиления пульповода. Результаты расчета глубины регулирования при применении землесоса ЗГМ-2М (работающего на пульповод 530 мм), двух параллельно соединенных землесосов ЗГМ-2М и грунтового насоса ГрТ4000/71 (работающих на пульповод 720 мм), разрабатывающих породы VI группы с нормативным давлением воды на насадке гидромонитора для различных значений геодезической высоты подъема гидросмеси и расстояния транспортирования, представлены в табл. 3.22–3.24.

Графические зависимости изменения глубины регулирования для установленных значений величины подачи землесосов (грунтовых насосов), которые соответствуют зоне их промышленного использования, представлены на рис. 3.9 и 3.10. Они позволяют утверждать, что при применении землесоса ЗГМ-2М, работающего на пульповод 530 мм, а также двух параллельно соединенных землесосов ЗГМ-2М и грунтового насоса ГрТ4000/71, работающих на пульповод 720 мм, при разработке пород VI группы с нормативным

давлением воды на насадке гидромонитора заиливание пульповода в результате снижения подачи гидросмеси исключается при глубине регулирования в пределах от 7,5 до 55,0 % в зависимости от значений геодезической высоты подъема гидросмеси и расстояния ее транспортирования. При этом величина давления воды на насадке гидромонитора незначительно влияет на глубину регулирования подачи: при возрастании напора с 1,4 до 2,0 МПа возможность регулирования сокращается на 3–4 %.

Таблица 3.22А

Результаты расчетов режимов работы землесоса ЗГМ-2М.
Группа пород VI, при номинальном удельном расходе воды
и давлении на насадке гидромонитора 2,0 МПа,
для трубопровода диаметром 530 мм

№ п/п	$H_{Г}$, м	L , м	$Q_{д}$, м ³ /ч	$V_{кр}$, м/с	$Q_{Гmin}$, м ³ /ч	ΔQ , %
1	20	2000	2490	1,79	1276	48,8
2	20	3000	2170	1,79	1276	41,2
3	20	4000	1940	1,79	1276	34,2
4	20	5000	1770	1,79	1276	27,9
5	20	6000	1600	1,79	1276	20,3
6	20	7000	1510	1,79	1276	15,5
7	30	1000	2600	1,79	1276	50,9
8	30	2000	2170	1,79	1276	41,2
9	30	3000	1890	1,79	1276	32,5
10	30	4000	1690	1,79	1276	24,5
11	30	5000	1530	1,79	1276	16,6
12	10	3000	2420	1,79	1276	47,3
13	10	5000	1980	1,79	1276	35,6
14	10	7000	1700	1,79	1276	24,9
15	10	9000	1500	1,79	1276	14,9
16	5	3000	2540	1,79	1276	49,8
17	5	5000	2080	1,79	1276	38,7
18	5	7000	1790	1,79	1276	28,7
19	5	10000	1500	1,79	1276	14,9
20	40	1000	2180	1,79	1276	41,5
21	40	2000	1800	1,79	1276	29,1
22	40	4000	1380	1,79	1276	7,5

Таблица 3.22Б

Результаты расчетов режимов работы землесоса ЗГМ-2М.
Группа пород VI, при номинальном удельном расходе воды
и давлении на насадке гидромонитора 1,8 МПа,
для трубопровода диаметром 530 мм

№ п/п	$H_{Г}$, м	L , м	$Q_{д}$, м ³ /ч	$V_{кр}$, м/с	$Q_{Гmin}$, м ³ /ч	ΔQ , %
1	20	2000	2490	1,76	1255	49,6
2	20	3000	2170	1,76	1255	42,2
3	20	4000	1940	1,76	1255	35,3
4	20	5000	1770	1,76	1255	29,1
5	20	6000	1600	1,76	1255	21,6
6	20	7000	1510	1,76	1255	16,9
7	30	1000	2600	1,76	1255	51,7
8	30	2000	2170	1,76	1255	42,2
9	30	3000	1890	1,76	1255	33,6
10	30	4000	1690	1,76	1255	25,7
11	30	5000	1530	1,76	1255	18,0
12	10	3000	2420	1,76	1255	48,1
13	10	5000	1980	1,76	1255	36,6
14	10	7000	1700	1,76	1255	26,2
15	10	9000	1500	1,76	1255	16,3
16	5	3000	2540	1,76	1255	50,6
17	5	5000	2080	1,76	1255	39,7
18	5	7000	1790	1,76	1255	29,9
19	5	10000	1500	1,76	1255	16,3
20	40	1000	2180	1,76	1255	42,4
21	40	2000	1800	1,76	1255	30,3
22	40	4000	1380	1,76	1255	9,1

Таблица 3.22В

Результаты расчетов режимов работы землесоса ЗГМ-2М.
Группа пород VI, при номинальном удельном расходе воды
и давлении на насадке гидромонитора 1,6 МПа,
для трубопровода диаметром 530 мм

№ п/п	$H_{Г}$, м	L , м	$Q_{д}$, м ³ /ч	$V_{кр}$, м/с	$Q_{Гmin}$, м ³ /ч	ΔQ , %
1	20	2000	2490	1,73	1233	50,5
2	20	3000	2170	1,73	1233	43,2
3	20	4000	1940	1,73	1233	36,4
4	20	5000	1770	1,73	1233	30,3

Продолжение табл. 3.22В

№ п/п	$H_{Г}$, м	L , м	$Q_{д}$, м ³ /ч	$V_{кр}$, м/с	$Q_{Гmin}$, м ³ /ч	ΔQ , %
5	20	6000	1600	1,73	1233	22,9
6	20	7000	1510	1,73	1233	18,3
7	30	1000	2600	1,73	1233	52,6
8	30	2000	2170	1,73	1233	43,2
9	30	3000	1890	1,73	1233	34,8
10	30	4000	1690	1,73	1233	27,0
11	30	5000	1530	1,73	1233	19,4
12	10	3000	2420	1,73	1233	49,0
13	10	5000	1980	1,73	1233	37,7
14	10	7000	1700	1,73	1233	27,5
15	10	9000	1500	1,73	1233	18,1
16	5	3000	2540	1,73	1233	51,5
17	5	5000	2080	1,73	1233	40,7
18	5	7000	1790	1,73	1233	31,1
19	5	10000	1500	1,73	1233	18,1
20	40	1000	2180	1,73	1233	43,4
21	40	2000	1800	1,73	1233	31,5
22	40	4000	1380	1,73	1233	10,7

Таблица 3.22Г

Результаты расчетов режимов работы землесоса ЗГМ-2М.
Группа пород VI, при номинальном удельном расходе воды
и давлении на насадке гидромонитора 1,4 МПа,
для трубопровода диаметром 530 мм

№ п/п	$H_{Г}$, м	L , м	$Q_{д}$, м ³ /ч	$V_{кр}$, м/с	$Q_{Гmin}$, м ³ /ч	ΔQ , %
1	20	2000	2490	1,69	1205	51,6
2	20	3000	2170	1,69	1205	44,4
3	20	4000	1940	1,69	1205	37,9
4	20	5000	1770	1,69	1205	31,9
5	20	6000	1600	1,69	1205	24,7
6	20	7000	1510	1,69	1205	20,2
7	30	1000	2600	1,69	1205	53,7
8	30	2000	2170	1,69	1205	44,5
9	30	3000	1890	1,69	1205	36,2
10	30	4000	1690	1,69	1205	28,7
11	30	5000	1530	1,69	1205	21,2
12	10	3000	2420	1,69	1205	50,2
13	10	5000	1980	1,69	1205	39,1

Продолжение табл. 3.22Г

№ п/п	H_{Γ} , м	L , м	$Q_{\text{д}}$, м ³ /ч	$V_{\text{кр}}$, м/с	$Q_{\Gamma\text{min}}$, м ³ /ч	ΔQ , %
14	10	7000	1700	1,69	1205	29,1
15	10	9000	1500	1,69	1205	19,7
16	5	3000	2540	1,69	1205	52,6
17	5	5000	2080	1,69	1205	42,1
18	5	7000	1790	1,69	1205	32,8
19	5	10000	1500	1,69	1205	19,7
20	40	1000	2180	1,69	1205	44,7
21	40	2000	1800	1,69	1205	33,1
22	40	4000	1380	1,69	1205	12,7

Таблица 3.23А

Результаты расчетов режимов работы двух параллельно
соединенных землесосов ЗГМ-2М.

Группа пород VI, при номинальном удельном расходе воды
и давлении на насадке гидромонитора 2,0 МПа,
для трубопровода диаметром 720 мм

№ п/п	H_{Γ} , м	L , м	$Q_{\text{д}}$, м ³ /ч	$V_{\text{кр}}$, м/с	$Q_{\Gamma\text{min}}$, м ³ /ч	ΔQ , %
1	5	2000	–			
2	5	4000				
3	5	6000				
4	5	8000	3790	1,96	2604	31,3
5	5	10000	3410	1,96	2604	23,6
6	5	6000	–			
7	10	2000	–			
8	10	4000				
9	10	6000	4100	1,96	2604	36,5
10	10	8000	3610	1,96	2604	27,9
11	10	10000	3250	1,96	2604	19,9
12	10	5000	–			
13	20	2000	–			
14	20	4000	–			
15	20	5000	3960	1,96	2604	34,2
16	20	7000	3420	1,96	2604	23,9
17	20	9000	3040	1,96	2604	14,3
18	20	10000	2880	1,96	2604	9,6
19	30	3000	5600	1,96	2604	53,5
20	30	4000	3750	1,96	2604	30,6

Продолжение табл. 3.23А

№ п/п	H_{Γ} , м	L , м	$Q_{\text{д}}$, м ³ /ч	$V_{\text{кр}}$, м/с	$Q_{\Gamma\text{min}}$, м ³ /ч	ΔQ , %
21	30	3500	3950	1,96	2604	34,1
22	30	5000	3430	1,96	2604	24,1
23	30	6000	3170	1,96	2604	17,9
24	40	2000	3930	1,96	2604	33,7
25	40	1500	5200	1,96	2604	49,9
26	40	3000	3440	1,96	2604	24,3
27	40	4000	3090	1,96	2604	15,7

Таблица 3.23Б

Результаты расчетов режимов работы двух параллельно
соединенных землесосов ЗГМ-2М.

Группа пород VI, при номинальном удельном расходе воды
и давлении на насадке гидромонитора 1,4 МПа,
для трубопровода диаметром 720 мм

№ п/п	H_{Γ} , м	L , м	$Q_{\text{д}}$, м ³ /ч	$V_{\text{кр}}$, м/с	$Q_{\Gamma\text{min}}$, м ³ /ч	ΔQ , %
1	5	2000	—			
2	5	4000				
3	5	6000				
4	5	8000	3790	1,87	2484	34,4
5	5	10000	3410	1,87	2484	27,2
6	5	6000	—			
7	10	2000	—			
8	10	4000				
9	10	6000	4100	1,87	2484	39,4
10	10	8000	3610	1,87	2484	31,2
11	10	10000	3250	1,87	2484	23,6
12	10	5000	—			
13	20	2000	—			
14	20	4000	—			
15	20	5000	3960	1,87	2484	37,3
16	20	7000	3420	1,87	2484	27,4
17	20	9000	3040	1,87	2484	18,3
18	20	10000	2880	1,87	2484	13,8
19	30	3000	5600	1,87	2484	55,6
20	30	4000	3750	1,87	2484	33,8
21	30	3500	3950	1,87	2484	37,1
22	30	5000	3430	1,87	2484	27,6
23	30	6000	3170	1,87	2484	21,6

Продолжение табл. 3.23Б

№ п/п	$H_{Г}$, м	L , м	$Q_{д}$, м ³ /ч	$V_{кр}$, м/с	$Q_{Гmin}$, м ³ /ч	ΔQ , %
24	40	2000	3930	1,87	2484	36,8
25	40	1500	5200	1,87	2484	52,2
26	40	3000	3440	1,87	2484	27,8
27	40	4000	3090	1,87	2484	19,6

Таблица 3.24А

Результаты расчетов режимов работы грунтового насоса
ГрТ4000/71.

Группа пород VI, при номинальном удельном расходе воды
и давлении на насадке гидромонитора 2,0 МПа,
для трубопровода диаметром 720 мм

№ п/п	$H_{Г}$, м	L , м	$Q_{д}$, м ³ /ч	$V_{кр}$, м/с	$Q_{Гmin}$, м ³ /ч	ΔQ , %
1	10	5500	4820	1,96	2604	46,0
2	10	7000	4360	1,96	2604	40,3
3	10	8000	4100	1,96	2604	36,5
4	10	9000	3890	1,96	2604	33,1
5	10	10000	3700	1,96	2604	29,6
6	20	4000	5010	1,96	2604	48,0
7	20	6000	4270	1,96	2604	39,0
8	20	8000	3760	1,96	2604	30,7
9	20	10000	3380	1,96	2604	23,0
10	30	3000	5010	1,96	2604	48,0
11	30	5000	4150	1,96	2604	37,3
12	30	7000	3590	1,96	2604	27,5
13	30	9000	3200	1,96	2604	18,6
14	30	10000	3030	1,96	2604	14,1
15	40	2000	5010	1,96	2604	48,0
16	40	4000	3990	1,96	2604	34,7
17	40	6000	3380	1,96	2604	23,0
18	40	8000	2960	1,96	2604	12,0
19	40	9000	2790	1,96	2604	6,7
20	40	1000	5840	1,96	2604	55,4
21	50	1000	5020	1,96	2604	48,1
22	50	3000	3750	1,96	2604	30,6
23	50	5000	3070	1,96	2604	15,2
24	50	6000	2830	1,96	2604	8,0
25	50	500	5530	1,96	2604	52,9

Таблица 3.24Б

Результаты расчетов режимов работы грунтового насоса
ГрТ4000/71.

Группа пород VI, при номинальном удельном расходе воды
и давлении на насадке гидромонитора 1,8 МПа,
для трубопровода диаметром 720 мм

№ п/п	$H_{Г}$, м	L , м	$Q_{д}$, м ³ /ч	$V_{кр}$, м/с	$Q_{Гmin}$, м ³ /ч	ΔQ , %
1	10	5500	4820	1,94	2577	46,5
2	10	7000	4360	1,94	2577	40,9
3	10	8000	4100	1,94	2577	37,1
4	10	9000	3890	1,94	2577	33,8
5	10	10000	3700	1,94	2577	30,4
6	20	4000	5010	1,94	2577	48,6
7	20	6000	4270	1,94	2577	39,6
8	20	8000	3760	1,94	2577	31,5
9	20	10000	3380	1,94	2577	23,8
11	30	3000	5010	1,94	2577	48,6
12	30	5000	4150	1,94	2577	37,9
13	30	7000	3590	1,94	2577	28,2
14	30	9000	3200	1,94	2577	19,5
15	30	10000	3030	1,94	2577	15,0
16	40	2000	5010	1,94	2577	48,6
17	40	4000	3990	1,94	2577	35,4
18	40	6000	3380	1,94	2577	23,8
19	40	8000	2960	1,94	2577	12,9
20	40	9000	2790	1,94	2577	7,6
21	40	1000	5840	1,94		55,9
22	50	1000	5020	1,94	2577	48,7
23	50	3000	3750	1,94	2577	31,2
24	50	5000	3070	1,94	2577	16,1
25	50	6000	2830	1,94	2577	8,9
26	50	500	5530	1,94	2577	53,4

Таблица 3.24В

Результаты расчетов режимов работы грунтового насоса
ГрТ4000/71.

Группа пород VI, при номинальном удельном расходе воды
и давлении на насадке гидромонитора 1,6 МПа,
для трубопровода диаметром 720 мм

№ п/п	$H_{Г}$, м	L , м	$Q_{д}$, м ³ /ч	$V_{кр}$, м/с	$Q_{Гmin}$, м ³ /ч	ΔQ , %
1	10	5500	4820	1,91	2537	47,4
2	10	7000	4360	1,91	2537	41,8
3	10	8000	4100	1,91	2537	38,1
4	10	9000	3890	1,91	2537	34,8
5	10	10000	3700	1,91	2537	31,4
6	20	4000	5010	1,91	2537	49,4
7	20	6000	4270	1,91	2537	40,6
8	20	8000	3760	1,91	2537	32,5
9	20	10000	3380	1,91	2537	24,9
10	30	3000	5010	1,91	2537	49,4
11	30	5000	4150	1,91	2537	38,9
12	30	7000	3590	1,91	2537	29,3
13	30	9000	3200	1,91	2537	20,7
14	30	10000	3030	1,91	2537	16,3
15	40	2000	5010	1,91	2537	49,4
16	40	4000	3990	1,91	2537	36,4
17	40	6000	3380	1,91	2537	24,9
18	40	8000	2960	1,91	2537	14,3
19	40	9000	2790	1,91	2537	9,1
20	40	1000	5840	1,91	2537	56,6
21	50	1000	5020	1,91	2537	49,5
22	50	3000	3750	1,91	2537	32,3
23	50	5000	3070	1,91	2537	17,4
24	50	6000	2830	1,91	2537	10,4
25	50	500	5530	1,91	2537	54,1

Таблица 3.24Г

Результаты расчетов режимов работы грунтового насоса
ГрТ4000/71.

Группа пород VI, при номинальном удельном расходе воды
и давлении на насадке гидромонитора 1,4 МПа,
для трубопровода диаметром 720 мм

№ п/п	$H_{Г}$, м	L , м	$Q_{д}$, м ³ /ч	$V_{кр}$, м/с	$Q_{Гmin}$, м ³ /ч	ΔQ , %
1	10	5500	4820	1,87	2484	48,5
2	10	7000	4360	1,87	2484	43,0
3	10	8000	4100	1,87	2484	39,4
4	10	9000	3890	1,87	2484	36,1
5	10	10000	3700	1,87	2484	32,9
6	20	4000	5010	1,87	2484	50,4
7	20	6000	4270	1,87	2484	41,8
8	20	8000	3760	1,87	2484	33,9
9	20	10000	3380	1,87	2484	26,5
10	30	3000	5010	1,87	2484	50,4
11	30	5000	4150	1,87	2484	40,1
12	30	7000	3590	1,87	2484	30,8
13	30	9000	3200	1,87	2484	22,4
14	30	10000	3030	1,87	2484	18,0
15	40	2000	5010	1,87	2484	50,4
16	40	4000	3990	1,87	2484	37,7
17	40	6000	3380	1,87	2484	26,5
18	40	8000	2960	1,87	2484	16,1
19	40	9000	2790	1,87	2484	11,0
20	40	1000	5840	1,87	2484	57,5
21	50	1000	5020	1,87	2484	50,5
22	50	3000	3750	1,87	2484	33,8
23	50	5000	3070	1,87	2484	19,1
24	50	6000	2830	1,87	2484	12,2
25	50	500	5530	1,87	2484	55,1

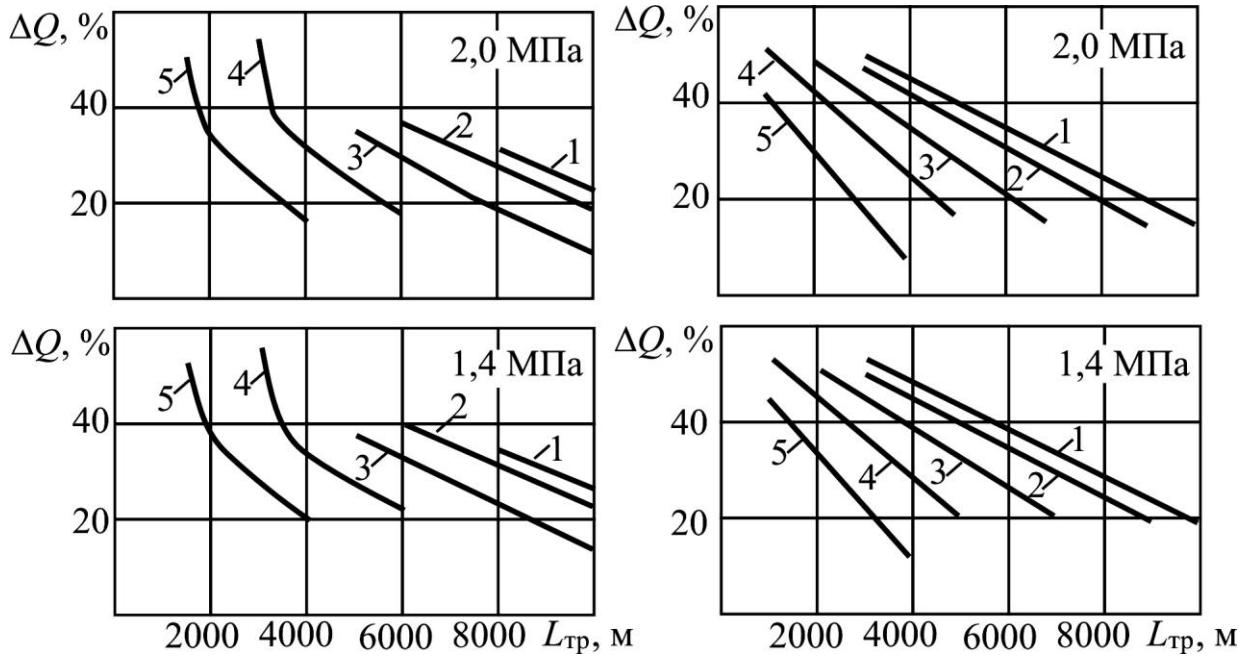


Рис. 3.9. Графики зависимости изменения глубины регулирования величины подачи грунтового насоса, которая соответствует зоне его промышленного использования: два левых – ЗГМ-2М; два правых – ЗГМ-2М при параллельном соединении (группа пород VI): 1 – $H_{\Gamma} = 5$ м; 2 – $H_{\Gamma} = 10$ м; 3 – $H_{\Gamma} = 20$ м; 4 – $H_{\Gamma} = 30$ м; 5 – $H_{\Gamma} = 40$ м

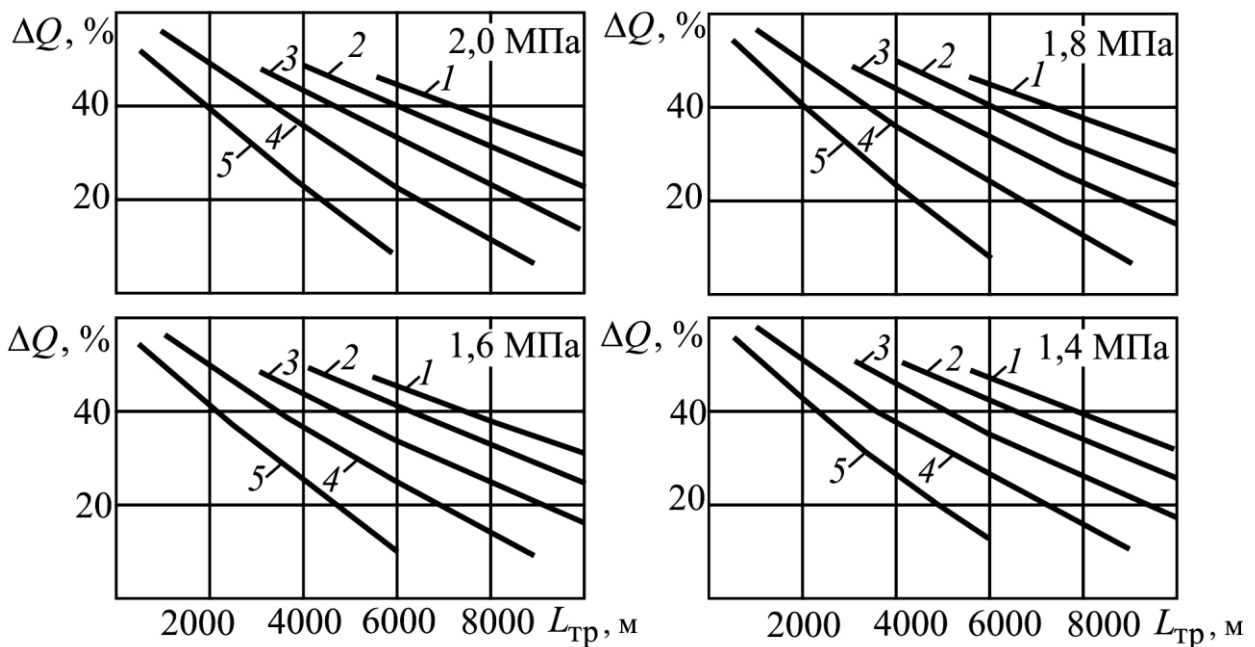


Рис. 3.10. Графики зависимости изменения глубины регулирования величины подачи землесоса ГрТ4000/71, которая соответствует зоне его промышленного использования (группа пород VI): 1 – $H_{\Gamma} = 10$ м; 2 – $H_{\Gamma} = 20$ м; 3 – $H_{\Gamma} = 30$ м; 4 – $H_{\Gamma} = 40$ м; 5 – $H_{\Gamma} = 50$ м

4. СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ СОГЛАСОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ГИДРОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГИДРОКОМПЛЕКСА РАЗРЕЗА

Для сравнения приняты два способа – существующий в настоящее время на всех разрезах Кузбасса, которые применяют гидромеханизацию, способ согласования режимов работы систем водоснабжения и гидротранспортирования гидрокомплекса путем включения зумпфового гидромонитора и рекомендуемый в настоящей работе метод впуска атмосферного воздуха в каналы рабочего колеса землесоса с целью снижения его производительности в период врубобразования.

4.1. Технологическая схема гидромеханизации в условиях филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Талдинский угольный разрез»

Структурная схема насосно-гидромониторной установки филиала «Талдинский угольный разрез» показана на рис. 4.1. Водоснабжение гидромониторов осуществляется двумя насосными станциями, работающими последовательно. Насосная станция № 1 («Весенняя») расположена на отметке +260 м (отметка уровня воды в водоеме) и оборудована тремя насосами Д6300-80 (два рабочих и один резервный) с номинальной частотой вращения рабочего колеса. Насосная станция № 2 (перекачивающая) расположена на расстоянии 1200 м от головной насосной станции на отметке +272,1 м и оборудована тремя насосами ЦН3000-197, один из которых резервный.

В забое используется два гидромонитора Т-521 (аналог ГД-300) № 1 и № 2 с насадками диаметром 125 мм. Гидромонитор № 2 в настоящее время не работает. Кроме того, установлены (рис. 4.3) 2 зумпфовых гидромонитора ГМД-250М с насадкой также диаметром 125 мм (работает один гидромонитор). Все трубопроводы, как магистральный, так и разводящие и забойные, имеют диаметр 720 мм. При этом магистральный трубопровод, идущий от насосной станции № 1 до точки ответвления разводящего трубопровода ближнего гидромонитора № 1, имеет общую длину $L_M = 2000$ м,

а геодезическая высота подъема воды в магистральном трубопроводе составляет $H_{ГМ} = 259 - 260 = 1$ м.

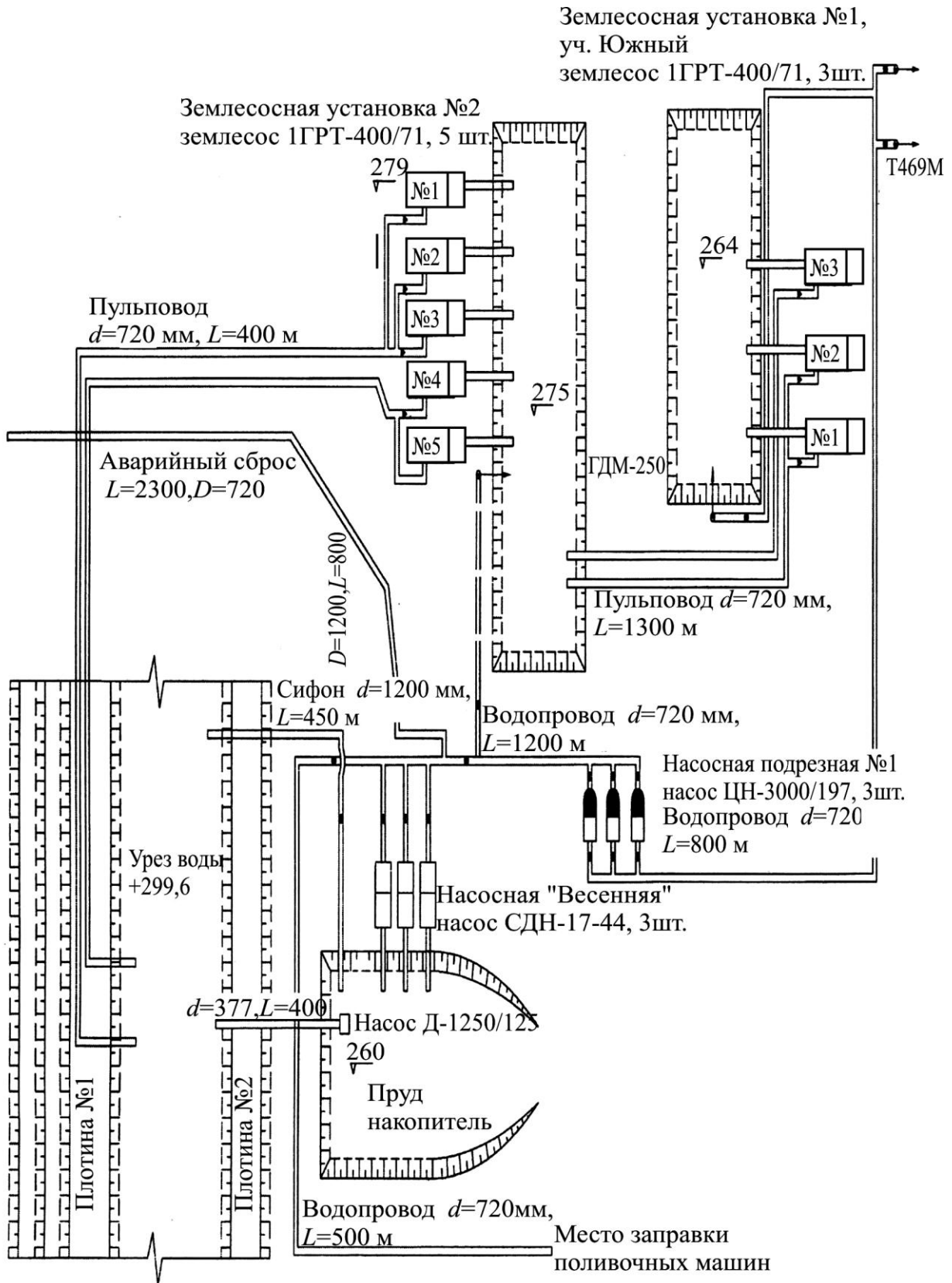


Рис. 4.1. Технологическая схема гидромеханизации (насосно-гидромониторной установки) филиала «Галдинский угольный разрез»

Разводящий и забойный трубопроводы гидромонитора № 1 имеют общую длину $L_p = 800$ м и общую геодезическую высоту подъема воды $H_{гр} = 279 - 259 = 20$ м. Общая длина разводящего трубопровода зумпфового гидромонитора составляет $L_{рз} = 1000$ м и геодезическая высота подъема воды – $H_{гз} = 264 - 259 = 5$ м.

В настоящее время работает только гидромонитор № 1, а в период подрезки забоя дополнительно включается зумпфовой гидромонитор. При этом для водоснабжения гидромониторов используется только один насос Д6300-80 и один насос ЦН3000-197. Поэтому работа насосно-гидромониторной установки именно такой структуры и проанализирована в настоящей главе.

4.2. Определение действительных режимов работы оборудования насосно-гидромониторной установки при работе только гидромонитора типа ГД-300 (Т-521)

Для расчета характеристики внешней сети насосно-гидромониторной установки ее целесообразно разделить на три участка: магистральный трубопровод; разводящий и забойный трубопроводы; гидромонитор.

Сопrotивление трубопроводов на каждом участке H_{c_i} (м) определяется по известной формуле [59, 62]

$$H_{c_i} = H_{г_i} + R_{c_i} Q^2, \quad (4.1)$$

где $H_{г_i}$ – геодезическая высота подъема воды на i -м участке трубопровода, м; Q – расход воды через трубопровод, м³/с; R_{c_i} – обобщенный коэффициент сопротивления i -го участка трубопровода:

$$R_{c_i} = \left(\lambda_i \frac{L_i}{D_i} + \sum \xi_i \right) \frac{0,81}{g D_i^4}, \quad (4.2)$$

здесь λ_i – коэффициент линейных гидравлических сопротивления i -го участка трубопровода; L_i – полная длина i -го участка трубопровода, м; D_i – внутренний диаметр i -го участка трубопровода; $\sum \xi_i$ – сумма коэффициентов местных гидравлических сопротив-

лений на i -м участке трубопровода; g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

В практике расчетов потери напора на преодоление местных гидравлических сопротивлений принимают пропорционально потерям напора на преодоление линейных гидравлических сопротивлений. С учетом этого

$$R_{c_i} = \frac{0,81k_{M_i}\lambda_i L_i}{gD_i^5}, \quad (4.3)$$

где k_{M_i} – коэффициент, учитывающий потери напора на преодоление местных гидравлических сопротивлений.

Коэффициент линейных гидравлических сопротивлений λ_i для рассматриваемого случая можно определять по формуле Н. Н. Павловского [38, 62]:

$$\lambda_i = \frac{0,81}{D_i^{0,312}}. \quad (4.4)$$

Для определения режима работы гидромонитора необходимо, кроме того, иметь его напорную характеристику $H_{\text{ГМ}}$, которую рассчитывают по формуле

$$H_{\text{ГМ}} = R_{\text{ГМ}}Q^2, \quad (4.5)$$

где $R_{\text{ГМ}}$ – обобщенный коэффициент сопротивления гидромонитора.

$$R_{\text{ГМ}} = \frac{0,86}{gd_{\text{н}}^4} + k_{\text{Г}}. \quad (4.6)$$

Для гидромониторов ГМД-250М может быть использована экспериментальная зависимость

$$R_{\text{ГМ}} = \frac{0,094}{d_{\text{н}}^4}. \quad (4.7)$$

Если необходимо определить напор перед насадкой гидромонитора, то надо построить напорную характеристику насадки $H_{\text{сн}}$, которая определяется зависимостью

$$H_{\text{сн}} = \frac{0,86}{gd_i^4}Q^2. \quad (4.8)$$

Результаты расчетов напорных характеристик участков внешней сети насосно-гидромониторной установки приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты расчета характеристики внешней сети насосно-гидромониторной установки

$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0	0,139	0,278	0,417	0,555	0,694	0,833	0,972	1,111
$H_{\text{см}}, \text{ м}$	1	1,4	2,4	4,1	6,5	9,5	13,3	17,7	22,9
$H_{\text{ср1}}, \text{ м}$	20	20,1	20,6	21,2	22,2	23,4	24,9	26,7	28,8
$H_{\text{ГМ}}, \text{ м}$	0	7,2	28,7	64,6	114,5	179,0	258,0	351,0	—
$H_{\text{сн}}, \text{ м}$	0	7,0	27,7	62,4	110,5	173,0	253,0	—	—

Определение действительных режимов работы оборудования рассматриваемой насосно-гидромониторной установки показано на рис. 4.2 стрелками.

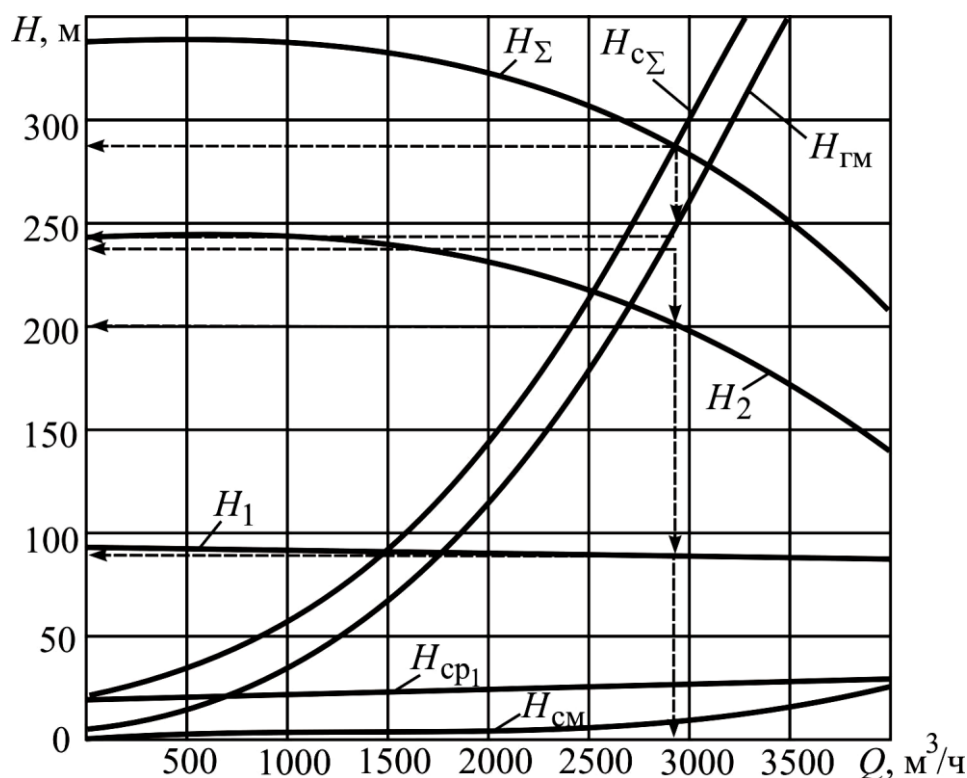


Рис. 4.2. Определение действительных режимов работы оборудования насосно-гидромониторной установки при работе только забойного гидромонитора

При этом на рис. 4.2 приняты следующие обозначения:

H_1 – напорная характеристика насоса Д6300-80;

H_2 – напорная характеристика насоса ЦН3000-197;

H_{Σ} – суммарная напорная характеристика насосов Д6300-80 и ЦН3000-197, работающих последовательно;

$H_{см}$ – напорная характеристика магистрального трубопровода;

$H_{ср1}$ – напорная характеристика разводящего и забойного трубопроводов;

$H_{гм}$ – напорная характеристика гидромонитора № 1;

$H_{с\Sigma}$ – суммарная напорная характеристика всей внешней сети;

$H_{сн}$ – напорная характеристика насадки диаметром 125 мм.

Действительные режимы работы оборудования будут характеризоваться следующими параметрами.

Режим работы насосной установки:

– суммарная подача насосной установки $Q_{\Sigma д} = 2930 \text{ м}^3/\text{ч}$;

– суммарный напор насосной установки $H_{\Sigma д} = 289 \text{ м}$.

Режим работы насоса Д6300-80:

– действительная подача $Q_{1д} = 2930 \text{ м}^3/\text{ч}$;

– действительный напор $H_{1д} = 89 \text{ м}$.

Режим работы насоса ЦН3000-197:

– действительная подача $Q_{2д} = 2930 \text{ м}^3/\text{ч}$;

– действительный напор $H_{2д} = 200 \text{ м}$.

Режим работы гидромонитора:

– действительный расход через гидромонитор $Q_{гм.д} = 2930 \text{ м}^3/\text{ч}$;

– действительный напор перед гидромонитором $H_{гм.д} = 244 \text{ м}$;

– действительный напор перед насадкой $H_{нс.д} = 237 \text{ м}$.

4.3. Определение действительных режимов работы оборудования насосно-гидромониторной установки при работе зумпфового гидромонитора

Для расчета характеристики внешней сети насосно-гидромониторной установки в этом случае ее целесообразно разделить на пять участков: магистральный трубопровод, разводящий и забойный трубопроводы гидромонитора № 1, разводящий трубопровод зумпфового гидромонитора и гидромониторы забойный № 1 и зумпфовой (рис. 4.3).

Первые три участка и насадки остаются теми же, что и в предыдущем расчете. Поэтому численные значения их сопротивлений характеризуются данными табл. 4.1. Результаты расчета сопротивлений разводящего трубопровода зумпфового гидромонитора и самого гидромонитора приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Результаты расчета сопротивлений зумпфового гидромонитора и его разводящего трубопровода

$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0	0,139	0,278	0,417	0,555	0,694	0,833	0,972	1,111
$H_{\text{ср}2}, \text{ м}$	5	5,2	5,7	6,6	7,8	9,5	11,4	13,7	16,4
$H_{\text{ГМ}2}, \text{ м}$	0	7,5	30	67	119	185	256	363	–

Определение действительных режимов работы оборудования рассматриваемой насосно-гидромониторной установки показано на рис. 4.4 стрелками.

При этом помимо обозначений, приведенных на рис. 4.2, здесь построены:

$H_{\text{ср}2}$ – напорная характеристика разводящего трубопровода зумпфового гидромонитора;

$H_{\text{ГМ}1}$ – напорная характеристика забойного гидромонитора ГД-300 (Т-521);

$H_{\text{ср}2}$ – напорная характеристика зумпфового гидромонитора ГМД-250М;



Рис. 4.3. Использование зумпфовых гидромониторов ГМД-250М на разрезе «Галдинский»

$H_{c\Sigma_1}$ – суммарная напорная характеристика разводящего трубопровода и забойного гидромонитора ГД-300 или Т-521, работающих последовательно (в рассматриваемом случае она совпадает с суммарной напорной характеристикой разводящего трубопровода и зумпфового гидромонитора ГМД-250М, также работающих последовательно);

$H_{c\Sigma_2}$ – суммарная напорная характеристика разводящего трубопровода с забойным гидромонитором ГД-300 и разводящего трубопровода с зумпфовым гидромонитором ГМД-250М, работающих параллельно.

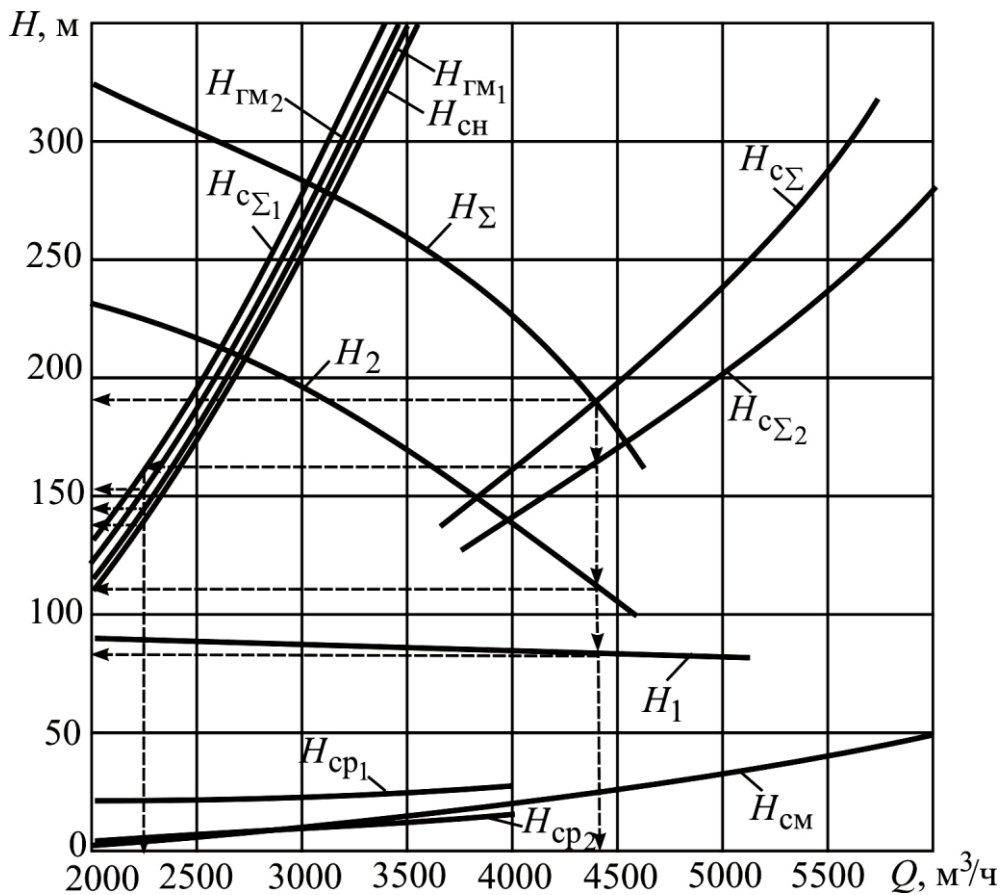


Рис. 4.4. Определение действительных режимов работы оборудования насосно-гидромониторной установки при работе забойного и зумпфового гидромониторов

Действительные режимы работы оборудования такой насосно-гидромониторной установки будут характеризоваться следующими параметрами.

Режим работы насосной установки:

– суммарная подача насосной установки $Q_{\Sigma_d} = 4400 \text{ м}^3/\text{ч}$;

– суммарный напор насосной установки $H_{\Sigma_d} = 195 \text{ м}$.

Режим работы насоса Д6300-80:

– действительная подача $Q_{1д} = 4400 \text{ м}^3/\text{ч}$;

– действительный напор $H_{1д} = 83 \text{ м}$.

Режим работы насоса ЦН3000-197:

– действительная подача $Q_{2д} = 4400 \text{ м}^3/\text{ч}$;

– действительный напор $H_{2д} = 112 \text{ м}$.

Режимы работы гидромониторов:

– действительный расход через каждый гидромонитор $Q_{\text{ГМ.1д}}, Q_{\text{ГМ.2д}} = 2200 \text{ м}^3/\text{ч}$;

– действительный напор на входе в каждый гидромонитор $H_{\text{ГМ.1д}}, H_{\text{ГМ.2д}} = 150 \text{ м}$;

– действительный напор перед каждой насадкой $H_{\text{нс.1д}}, H_{\text{нс.2д}} = 140 \text{ м}$.

4.4. Анализ показателей работы гидромониторов

Анализ режимов работы гидромониторов показывает, что в случае, когда работает только забойный гидромонитор, напор перед его насадкой составляет 237 м. При разработке полужирных глин, которые составляют основную часть разрабатываемых гидромеханизацией пород разреза «Галдинский», удельный расход воды на гидромониторную разработку q будет равен $6,0 \text{ м}^3/\text{м}^3$. При этом расход воды через гидромонитор $Q_{\text{ГМ.д}} = 2930 \text{ м}^3/\text{ч}$.

С учетом этих параметров производительность гидромонитора ($\text{м}^3/\text{ч}$) по твердому $Q_{\text{Тд}}$ составит

$$Q_{\text{Тд}} = \frac{Q_{\text{ГМ.д}}}{q} = \frac{2930}{6,0} = 490 \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (4.9)$$

В момент подрезки забоя работают два гидромонитора: забойный и зумпфовой. При этом действительный режим работы забойного гидромонитора характеризуется следующими параметрами: напор перед насадкой $H_{\text{нс.1д}} = 140 \text{ м}$, а расход $Q_{\text{ГМ.1д}} = 2200 \text{ м}^3/\text{ч}$.

При таком напоре перед насадкой гидромонитора согласно рис. 2.3 удельный расход воды на врубообразование (подрезку) q_1 составит $53 \text{ м}^3/\text{м}^3$, а его производительность по твердому $Q_{\Gamma_{1д}}$ будет равна

$$Q_{\Gamma_{1д}} = \frac{Q_{\text{нс.1д}}}{q_1} = \frac{2200}{53} = 41,5 \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (4.10)$$

По окончании процесса подрезки забоя происходит обрушение породы и начинается ее смыв в зумпф гидротранспортной установки. Зумпфовой гидромонитор отключается, и работает только забойный. Соответственно изменяется режим его работы (см. выше). При этом удельный расход воды на смыв q_2 будет равен $3,8 \text{ м}^3/\text{м}^3$, а производительность забойного гидромонитора по твердому $Q_{\Gamma_{2д}}$ ($\text{м}^3/\text{м}^3$) определится следующим образом:

$$Q_{\Gamma_{2д}} = \frac{Q_{\text{гм.д}}}{q_2} = \frac{2930}{3,8} = 770 \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (4.11)$$

Продолжительность каждого процесса в t_i (ч) общем цикле гидромониторной разработки (врубообразование, смыв обрушенной породы) можно определить по формуле

$$t_i = \frac{V_i}{Q_{\Gamma_i}}, \quad (4.12)$$

где V_i – объем породы, разрабатываемой при выполнении i -го процесса, м^3 ; Q_{Γ_i} – производительность гидромонитора по твердому при выполнении соответствующего i -го процесса.

Если принять параметры гидромониторного забоя (высоту уступа, глубину, высоту и длину врубовой щели) в соответствии с главой 2 учебного пособия, что вполне допустимо, так как расчеты в этой главе учитывали горнотехнические условия и физико-механические свойства пород разреза «Талдинский», то расчеты, выполненные по формуле (4.12), дадут следующие результаты:

- время подрезки забоя $t_1 = 0,43$ ч;
- время смыва обрушенной породы $t_2 = 0,37$ ч.

Если время подрезки и смыва обрушенной породы выразить в процентах к общей продолжительности цикла разработки, то получится, что подрезка занимает 54 % времени, а смыв обрушенной

породы – 46 %. С учетом этого, производительность гидромонитора по твердому в среднем за цикл составит $380 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Таким образом, производительность насосно-гидромониторной установки по твердому при применении способа подачи воздуха во всас (без использования зумпфового гидромонитора) составит $490 \text{ м}^3/\text{ч}$. Производительность же установки при использовании во время подрезки забоя зумпфового гидромонитора равна $380 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Следовательно, способ, когда для ликвидации дисбаланса, возникающего в момент врубобразования, применяется впуск атмосферного воздуха в каналы рабочего колеса землесоса с целью снижения его производительности, обеспечивает, по сравнению со способом подачи дополнительной воды зумпфовым гидромонитором для увеличения объема гидросмеси в зумпфе, в условиях филиала «Галдинский угольный разрез» увеличение производительности гидроустановки по твердому на $110 \text{ м}^3/\text{ч}$.

5. РАСЧЕТ ОБЪЕМА ИНВЕСТИЦИЙ, УДЕЛЬНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННОГО СПОСОБА ОТРАБОТКИ ВСКРЫШНОГО УСТУПА

5.1. Расчет объема инвестиций и величины годовых амортизационных отчислений при применении гидромеханизации

В табл. 5.1 представлен перечень необходимого оборудования гидрокомплекса филиала «Талдинский угольный разрез» и произведен расчет его стоимости (объема инвестиций) и величины годовых амортизационных отчислений. Стоимость оборудования принята по аналогии с ценами, по которым приобретается подобное оборудование в Кузбассе или в соответствии с прайс-листами заводоизготовителей. При расчете оснащения гидрокомплекса разреза принято условие, что приобретаются новые трубы для водоводов и пульповодов. В результате установлено, что величина инвестиций составляет 200705,6 тыс. руб.

При приобретении труб, бывших в употреблении на добыче и транспортировке газа, как это обычно практикуют в Кузбассе, затраты на трубопроводы могут быть значительно уменьшены. Приобретение бывших в употреблении (б/у) труб поможет также сократить и общую величину инвестиций.

В соответствии с годовой нормой амортизационных отчислений для каждого вида оборудования [31, 32] определена величина годовых амортизационных отчислений, которая потребуется для определения удельных эксплуатационных затрат [1].

5.2. Расчет эксплуатационных затрат при применении гидромеханизации

Расчет величины эксплуатационных затрат производится по основным элементам:

а) Затраты на материалы

В соответствии с принятой методикой величина годовых затрат составляет от 3 до 7 % от стоимости основного оборудования.

Таблица 5.1

Перечень основного оборудования гидрокомплекса разреза, его стоимость
и величина годовых амортизационных отчислений

№ пп	Наименование основного оборудования	Марка, тип	Коли- чество, ед.	Стоимость, тыс. руб.		Годовая норма амортиза- ционных отчислений, %	Величина го- довых амор- тизационных отчислений, тыс. руб.	Примечание
				едини- цы	всего			
1	Агрегат, в т. ч.:		8(2)*	3500	28000			*Всего (в резерве)
	Грунтовый насос	ГрТ4000/71	8(2)	1500	12000	20	2400	Стоимость в 2009 г., тыс. руб. (с НДС)
	Электродвигатель	*СДН316-51	8(2)	2000	16000	8	1280	*Двигатель россий- ского производства. $N = 600$ кВт, $n = 500$ об/мин
2	Агрегат, в т. ч.:		3(1)	4130	12390			
	Насос	Д4000-95	3(1)	1770	5310	7	371,7	
	Электродвигатель	СДН316-51	3(1)	2360	7080	8	566,4	$N = 1600$ кВт, $n = 750$ об/мин
3	Агрегат, в т. ч.:		3(1)	7000	21000			
	Насос	ЦН3000-197	3(1)	1000	3000	7	210	
	Электродвигатель	СДС15-64	3(1)	6000	18000	8	1440	$N = 2500$ кВт, $n = 1000$ об/мин
4	Агрегат возврата воды в гидроотвал, в т. ч.:		1	590,0	590			

Продолжение табл. 5.1

№ пп	Наименование основного оборудования	Марка, тип	Коли- чество, ед.	Стоимость, тыс. руб.		Годовая норма амортиза- ционных отчислений, %	Величина годовых амортизаци- онных от- числений, тыс. руб.	Примечание
				едини- цы	всего			
	Насос	Д1250-125	1	131,7	131,7	7	9,2	
	Электродвигатель	А4-630/1500	1	458,3	458,3	8	36,7	$N = 630$ кВт, $n = 750$ об/мин
5	Приключательное и пусковое устройство	КРУПЭ (ТЕ-8)	15	524	7860	10	786	
6	Гидромонитор	ГМД-250М	1	522,7	522,7	15	78,4	
7	Гидромонитор	ГД-300 (Е-469)	3(1)	596,3*	1789,0	15	268,3	*Цена опытного образца
8	Трубопровод (сифон)	Ø1200×10	450 пог. м	112,1 т ×54,5	6109,2	7	427,6	Толщина стенки 10 мм. Вес 1 пог. м 293,1 кг
9	Магистральный водовод	Ø720×10	1200 пог. м	210,12 т ×46,0	9665,5	7	676,6	Толщина стенки 10 мм. Вес 1 пог. м 175,1 кг
10	Разводящий водовод	Ø720×4	800 пог. м	56,0 т ×46,0	2576,0	7	180,3	Толщина стенки 4 мм. Вес 1 пог. м 70,0 кг
11	Трубопровод аварийного сброса воды	Ø720×10	2300 пог. м	402,7 т ×46,0	18525,6	7	1296,8	Толщина стенки 10 мм. Вес 1 пог. м 175,1 кг

Продолжение табл. 5.1

№ пп	Наименование основного оборудования	Марка, тип	Коли- чество, ед.	Стоимость, тыс. руб.		Годовая норма амор- тизацион- ных отчис- лений, %	Величина го- довых амор- тизационных отчислений, тыс. руб.	Примечание
				едини- цы	всего			
12	Трубопровод возврата воды в гидроотвал	Ø377	400 пог. м	36,3 т ×37,9	1376,5	7	96,4	Толщина стенки 10 мм. Вес 1 пог. м 90,8 кг
13	Трубопровод до за- правки поливочных машин	Ø720×10	500 пог. м	87,55 т ×46,0	4027,3	7	281,9	Толщина стенки 10 мм. Вес 1 пог. м 175,1 кг
14	Магистральный пульповод до перекач- ной землесосной станции	Ø720×10	1300 пог. м×2	455,26 т ×46,0	20942,0	12	2513,0	Толщина стенки 10 мм. Вес 1 пог. м 175,1 кг
15	Магистральный пульповод до гидроотвала	Ø720×10	4000 пог. м×2	1400,8 т ×46,0	64436,8	12	7732,4	Толщина стенки 10 мм. Вес 1 пог. м 175,1 кг
16	Линия электропередач	6 кВ	~5000 м	184,9 за 1000 м	925,0	7,5	69,8	
	Итого:				200705,6		20721,5	

Принимая величину норматива 5 %, получаем значение величины годовых затрат на материалы (табл. 5.2).

б) Затраты на электроэнергию

Расчет номинальной мощности оборудования по вариантам и затрат на электроэнергию представлен в табл. 5.3. Принятая в расчетах величина тарифа на электроэнергию составляет 1589,91 руб./МВт ч.

в) Затраты на оплату труда

Величина годового фонда заработной платы определена в соответствии со штатным расписанием, существующих на разрезе тарифов, окладов и системы премирования за выполнение плана (табл. 5.4 и 5.5).

Таблица 5.2

Расчет величины эксплуатационных затрат при применении гидромеханизации

№ п/п	Вид затрат	Норматив, расход, результаты расчета	Затраты, тыс. руб. в год
1	Материалы	5 % от стоимости основного оборудования в год	10035,28
2	Электричество	табл. 5.3	55054,13
3	Затраты на оплату труда	табл. 5.4–5.5	12516,54
4	Начисления на оплату труда	26,5 % от величины затрат на оплату труда	3316,88
5	Амортизационные отчисления	табл. 5.1	20721,5
Всего:			101644,33
Прочие затраты:			5082,22
Итого:			106726,55

г) Начисления на оплату труда.

В соответствии с законами Российской Федерации начисления на оплату труда рассчитываются в зависимости от величины затрат на оплату труда и складываются из:

- отчислений в Пенсионный фонд РФ – 14 %;
- единого социального налога – 12 %;
- страховых взносов в Фонд социального страхования – травматизм – 0,2–0,5 % (величина отчислений зависит от количества случаев травматизма).

Таблица 5.3

Расчет номинальной мощности оборудования гидрокомплекса и затрат на электроэнергию

№ п/п	Наименование оборудования	Установленная мощность, кВт	Количество в работе, ед.	Суточный расход электроэнергии, кВт·ч	Число дней работы за сезон, ед.	Годовой расход электроэнергии, МВт·ч	Затраты на электроэнергию, тыс. руб./год	Примечание
1	Грунтовый насос	1600	6	192000*	220	31680,0**	16346,82	*принята работа 20 ч в сутки **коэффициент исп. 0,75
2	Водяной насос Д4000-95	1600	2	41126	220	10560,0	13077,33	
3	Водяной насос ЦН3000-197	2500	2	100000	220	16500,0	20433,52	
4	Насос возврата воды в гидроотвал Д1250-125	630	1	6300***	100	630,0	2574,70	***принята работа 10 ч в сутки
	Всего:			339426		59370	52432,37	
	Неучтенные затраты, 5 %			16971		2969	2621,76	
	Итого:			356397		62339	55054,13	

Суммарная установленная мощность – 18430 кВт

Таблица 5.4

Заработная плата трудящихся на гидровскрыше

Профессия	Разряд	Численность	Кол-во часов	Часов тарифной ставки, руб.	Тарифный фонд	Ночные	Бригад. проч.	Доплата за нормативное время	Праздники	Премия	Итого	Выслуга лет	Районный коэф. и социальные налоги	Фонд с районным коэф., руб.
Машинист насосной станции	5	1	165	33,210	5480	1096	822	465	797	2589	11249	438	6749	18436
Помощник машиниста насосной станции	3	1	165	26,540	4379	876		372	637	1839	8103	350	4862	13315
Машинист насосной станции	4	1	165	29,550	4876	975	731	414	709	2304	10009	390	6005	16404
Помощник машиниста насосной станции	3	1	165	26,540	4379	876		372	637	1839	8103	350	4862	13315
Машинист насосной станции подпитки	4	1	165	29,550	4876	975	731	414	709	2304	10009	390	6005	16404

Продолжение табл. 5.4

Профессия	Разряд	Численность	Кол-во часов	Часов тарифной ставка, руб.	Тарифный фонд	Ночные	Бригад. проч.	Доплата за нормативное время	Праздники	Премия	Итого	Выслуга лет	Районный коэф. и социальные налоги	Фонд с районным коэф., руб.
Помощник машиниста насосной станции подпитки	3	1	165	26,540	4379	876		372	637	1839	8103	350	4862	13315
Гидромониторщик	6	1	165	37,060	6115	1223		519	889	2568	11314	489	6789	18592
Электрогазосварщик	6	1	165	37,060	6115					2140	8255	489	4953	13697
Электрослесарь	6	1	165	37,060	6115					2140	8255	489	4953	13697
Слесарь-ремонтник	5	1	165	33,210	5480					1918	7398	438	4439	12274
Слесарь-ремонтник	4	1	165	29,550	4876					1707	6582	390	3949	10922
Начальник участка	окл.	1	165	19403	19403					6791	27444	1552	16466	45463
Механик участка	окл.	1	165	12513	12513					4380	17893	1001	10736	29629
Горный мастер	окл.	1	165	8883	8883	1777		754	1292	3731	17436	711	10462	28609

Таблица 5.5

Расчет затрат на оплату труда трудящихся на гидровскрыше

№ п/п	Профессия	Разряд	Фонд заработной платы с РК и соц. налогами, руб.	Численность, чел.		Месячный фонд оплаты труда по профессии, руб.	Годовой фонд оплаты труда по профессии, руб.	Примечание
				на работе (в смену)	по списку			
1	Начальник участка	окл.	45463	1	1	45463	545556	
2	Механик участка	окл.	29629	1	1	29629	355548	
3	Горный мастер	окл.	28609	1	3	85827	1029924	
4	Машинист насосной станции	4	16404	1*	3	49212	590544	*насосная станция «Весенняя»
5	Помощник машиниста насосной станции	3	13315	1*	3	39945	479340	
6	Машинист подрезной насосной станции	4	16404	1	1	16404	196848	
7	Помощник машиниста подрезной насосной станции	3	13315	1	1	13315	159780	
8	Машинист насосной станции (землесос)	5	18436	2**	7	129052	1548624	**землесосная установка № 1
9	Помощник машиниста насосной станции (землесос)	3	13315	2**	7	93205	1118460	
10	Машинист насосной станции (землесос)	5	18436	2***	7	129052	1548624	***землесосная установка № 2

Продолжение табл. 5.5

№ п/п	Профессия	Разряд	Фонд заработной платы с РК и соц. налогами, руб.	Численность, чел.		Месячный фонд оплаты труда по профессии, руб.	Годовой фонд оплаты труда по профессии, руб.	Примечание
				на работе (в смену)	по списку			
11	Помощник машиниста насосной станции (землесос)	3	13315	2***	7	93205	1118460	
12	Гидромониторщик	6	18592	2	7	130144	1561728	
13	Электрогазосварщик	6	13697	1	3	41091	493092	
14	Электрослесарь	6	13697	1	3	41091	493092	
15	Слесарь-ремонтник	5	12274	2	6	73644	883728	
16	Слесарь-ремонтник	4	10922	1	3	32766	393192	
	Всего:					1043045	12516540	

Принятая в расчете себестоимости величина начислений на оплату труда 26,5 %, в зависимости от суммы затрат на оплату труда по вариантам, представлена в табл. 5.2.

д) Амортизационные отчисления

Величина амортизационных отчислений по вариантам определена в табл. 5.1.

е) Прочие затраты

Величина прочих неучтенных затрат в себестоимости принята в размере 25 % от суммы всех предыдущих эксплуатационных затрат, полученных по расчету.

5.3. Сравнение способов согласования систем водоснабжения и гидротранспортирования

Для сравнения способов согласования параметров систем водоснабжения и гидротранспортирования приняты варианты, когда для ликвидации дисбаланса притока гидросмеси в зумпф гидротранспортной установки и подачи грунтового насоса во время подрезки уступа используются: зумпфовой гидромонитор (вариант № 1) или впуск атмосферного воздуха в каналы рабочего колеса с целью снижения производительности землесоса в этот период (вариант № 2). Часовая производительность гидрокомплекса при применении этих вариантов установлена в главе 4.

Технико-экономическое сопоставление производим по величине эксплуатационных затрат на разработку одного кубометра вскрыши. Для этого определим годовую (за сезон) производительность гидромониторно-землесосного комплекса ($\text{м}^3/\text{год}$) по твердому. Она рассчитывается по известной формуле

$$W_{\Gamma} = Q_{\Gamma} z_1 z_2 t_{\text{ч}} k_{\text{в}}, \quad (5.1)$$

где Q_{Γ} – необходимая производительность гидромониторно-землесосного комплекса по твердому, $\text{м}^3/\text{ч}$; z_1 – число рабочих дней в году ($z_1 = 220 - 240$); z_2 – число рабочих смен в сутки ($z_2 = 2$); $t_{\text{ч}}$ – число часов работы комплекса в смену ($t_{\text{ч}} = 12$); $k_{\text{в}}$ – коэффициент использования комплекса во времени, равный 0,85–0,95.

В таком случае производительность насосно-гидромониторной установки по твердому без использования зумпфовой гидромонитора составит 2400 тыс. $\text{м}^3/\text{год}$. При использовании во время под-

резки уступа зумпфового гидромонитора ее величина составит всего 1860 тыс. м³/год.

Расчет величины эксплуатационных затрат по вариантам представлен в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Расчет величины эксплуатационных затрат по вариантам

№ п/п	Вид затрат	Величина, тыс. руб. в год	Вариант № 1	Вариант № 2
			удельные эксплуатационные затраты, руб./м ³	удельные эксплуатационные затраты, руб./м ³
1	Материалы	10035,28 (9,35 %)	5,40	4,18
2	Электроэнергия	55054,13 (51,46 %)	29,60	22,94
3	Затраты на оплату труда	12516,54 (11,71 %)	6,73	5,22
4	Начисления на оплату труда	3316,88 (3,11 %)	1,78	1,38
5	Амортизационные отчисления	20721,50 (19,37 %)	11,14	8,63
	Всего:	101644,33	54,65	42,35
	Прочие затраты:	5082,22 (5,00 %)	2,73	2,12
	Итого:	106726,55 (100 %)	57,38	44,47

Таким образом, применение впуска атмосферного воздуха в каналы рабочего колеса грунтового насоса с целью снижения производительности землесоса в период подрезки уступа гидромонитором обеспечивает снижение величины удельных эксплуатационных затрат (издержек) на 22,5 % по сравнению с применяемым в настоящее время способом ликвидации дисбаланса притока гидросмеси путем включения зумпфового гидромонитора и увеличивает часовую производительность гидрокомплекса с 380 до 490 м³/ч.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Временный, регулярно повторяющийся дисбаланс подач систем водоснабжения и гидротранспортирования возникает в момент подрезки уступа гидромониторами, так как производительность гидромонитора по твердому в это время значительно сокращается по сравнению с периодом размыва обрушенной породы и количество гидросмеси, поступающей в зумпф, уменьшается.

2. Установлены зависимости изменения удельного расхода воды на врубобразование от высоты вруба и от категории трудности разрабатываемых пород, а также графические зависимости удельного расхода воды на врубобразование от напора перед насадкой, которые позволили разработать алгоритм расчета величины необходимой глубины регулирования подачи грунтового насоса с целью снижения его производительности в период подрезки уступа струей гидромонитора.

3. Анализ величины дисбаланса, как функции взаимозависимых параметров: физико-механических свойств разрабатываемых пород (группы пород), давления воды на насадке гидромонитора, ее диаметра и величины вруба – показывает, что с увеличением напора воды перед насадкой дисбаланс постоянно возрастает.

4. Установлен диапазон допустимого снижения величины производительности грунтового насоса, который исключает возможность заиливания пульповода из-за уменьшения скорости движения гидросмеси в трубопроводе для основных типов разрабатываемых пород и грунтовых насосов разрезов Кузбасса в пределах изменения расстояния транспортирования гидросмеси до 10 км и геодезической высоты подъема пульпы до 50 м, который зависит в основном от геодезической высоты подъема гидросмеси и возрастает от 2,62 до 31,05 % при ее увеличении с 5 до 40 м для пород V–VII групп.

5. Экспериментальные исследования процесса регулирования подачи гидросмеси грунтовым насосом методом впуска воздуха в его всасывающий патрубок позволили установить аналитическую зависимость для расчета ее значения от величины снижения тока, потребляемого электродвигателем землесоса. Достоверность формулы оценивается величиной коэффициента корреляции равной 0,99.

6. Для практического применения рекомендуется простая линейная зависимость, в соответствии с которой фактическая глубина регулирования подачи землесоса, выраженная в процентах, может быть принята равной одной десятой от величины снижения потребляемого тока при впуске воздуха. Она характеризуется значением коэффициента корреляции ($r = 0,9$).

7. Произведено сравнение способов согласования параметров систем водоснабжения и гидротранспортирования. Приняты варианты, когда для ликвидации дисбаланса притока гидросмеси в зумпф гидротранспортной установки и подачи грунтового насоса во время подрезки уступа используются: зумпфовой гидромонитор (вариант № 1) или впуск атмосферного воздуха в каналы рабочего колеса с целью снижения производительности землесоса в этот период (вариант № 2). Для указанных вариантов установлено, что производительность насосно-гидромониторной установки по твердому без использования зумпфовой гидромониторной установки составит $490 \text{ м}^3/\text{ч}$, а производительность при использовании во время подрезки зумпфовой гидромониторной установки – $380 \text{ м}^3/\text{ч}$.

8. Техничко-экономическое сравнение указанных способов согласования систем водоснабжения и гидротранспортирования показало:

– величина удельных эксплуатационных затрат по варианту № 1 (когда для ликвидации дисбаланса используют зумпфовой гидромонитор) составляет $57,38 \text{ руб./м}^3$;

– величина удельных эксплуатационных затрат по варианту № 2 (управляемый впуск атмосферного воздуха в каналы рабочего колеса) составляет $44,47 \text{ руб./м}^3$;

– в условиях разреза «Талдинский» предлагаемый способ согласования параметров систем водоснабжения и гидротранспортирования позволяет сократить эксплуатационные затраты на $22,5 \%$.

Основные понятия и определения в области гидромеханизации

Гидромониторно-землесосный комплекс – совокупность энергомеханического оборудования, предназначенного для гидравлической разработки и транспортирования горных пород на карьерах. Включает насосно-гидромониторную и гидротранспортную установку.

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.

Гидросмесь – механическая смесь частиц сыпучих или измельченных горных пород с водой при разработке их гидравлическим способом.

Подача (производительность) насоса Q ($\text{м}^3/\text{ч}$, $\text{м}^3/\text{с}$) – объем жидкости, подаваемый насосом во внешнюю сеть в единицу времени.

Напор насоса H (м) – приращение полной удельной, т. е. отнесенной к единице веса перекачиваемой жидкости, энергии, получаемое потоком жидкости в насосе:

$$H = (Z_2 - Z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}, \quad (\text{П.1.1})$$

где Z_2 и Z_1 – высота расположения центра тяжести сечений, соответственно выхода из насоса и входа в него относительно плоскости сравнения, м; P_2 и P_1 – давление на выходе и на входе в насос, Па; ρ – плотность перекачиваемой жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; v_2 и v_1 – скорость движения жидкости на выходе и на входе в насос, $\text{м}/\text{с}$.

Напор насоса можно измерять в единицах давления (Па), если приращение полной энергии, получаемое потоком жидкости в насосе, относить не к единице веса, а к единице ее объема. Связь между напором H_p (Па), измеренным в единицах давления, и напором H , измеренным в метрах, имеет вид:

$$H_p = \rho \cdot g \cdot H. \quad (\text{П.1.2})$$

Индивидуальная характеристика насоса – графическая зависимость основных технических показателей от подачи при постоянных значениях частоты вращения рабочего колеса, вязкости и плотности жидкости на входе в насос.

Различают:

напорную характеристику – графическую зависимость напора H от подачи Q ;

энергетическую характеристику – графическую зависимость КПД η или потребляемой мощности N от подачи Q ;

кавитационную характеристику – графическую зависимость допустимого кавитационного запаса $\Delta h^Д$ или допустимой вакуумметрической высоты всасывания $H^Д$ от подачи Q .

Сопротивление внешней сети H_c (м) – суммарный расход удельной энергии жидкостью при ее движении в каналах внешней сети.

Напорная характеристика внешней сети – графическая зависимость сопротивления внешней сети от расхода жидкости через нее.

Гидравлическая крупность – скорость свободного падения частиц твердого материала в спокойной воде.

Концентрация твердого материала в гидросмеси – отношение объема (объемная концентрация) или массы (массовая концентрация) твердого материала к объему или массе гидросмеси.

Консистенция гидросмеси – отношение объема (объемная консистенция) или массы (массовая консистенция) твердого материала к объему или массе воды.

Критическая скорость $V_{кр}$ движения потока гидросмеси – минимальная средняя скорость движения, которая предшествует началу осаждения твердых частиц на дно трубопровода.

Гранулометрический состав разрабатываемых пород – процентное содержание частиц определенной крупности в общей массе твердого материала. Он может быть представлен в виде таблицы или в виде графика гранулометрического состава.

Пористость разрабатываемых пород (дол. ед., %) – отношение объема пор ко всему объему образца породы.

Средства гидромеханизации горных работ и их характеристика

В качестве гидравлического оборудования в технологических схемах гидромеханизации на разрезах Кузбасса используются: гидромониторы ГМД-250М, ГМН-350 и Т521; грунтовые насосы ЗГМ-2М, Гр1250/71, Гр2000/63, Гр4000/71; водяные центробежные насосы Д1250-125, Д2000-100, Д3200-75, Д4000-95, ЦНСГ850-240, ЦН1000-180, ЦН3000-197.

Все принятые к использованию гидромониторы предназначены для разработки пород на карьерах и имеют дистанционное управление, что обеспечивает высокую безопасность работ.

Технические данные гидромониторов приведены в табл. П.2.1.

Таблица П.2.1

Технические характеристики гидромониторов

Параметры	ГМД-250М	ГД-300	Т-521
Максимальное рабочее давление воды, МПа	2,5	3,0	3,0
Максимальная водопроизводительность, м ³ /ч	2750	4500	5700
Коэффициент потерь напора	14,3	12,5	-
Диаметр входного отверстия, мм	250	350	300
Диаметр сменных насадок, мм	80, 100, 110, 125	125, 150, 155, 160, 165, 175	125 ... 175
Угол поворота ствола, град:			
в горизонтальной плоскости	360	270	135
вверх	30	26	27
вниз	30	10	27
Габариты, мм:			
длина	4420	6870	6930
ширина	2190	2247	2260
высота	1640	2950	2370

Как видно из таблицы, гидромониторы ГД-300 и Т-521 имеют аналогичные параметры. Грунтовые насосы ГрТ, ГрК и ГрУ предназначены для перекачивания абразивных гидросмесей плотностью до 1600 кг/м³, с температурой до 70 °С, с максимальным размером твердых включений до 200 мм и объемной концентрацией твердого до 30 %.

Насосы имеют ряд конструктивных исполнений, обеспечивающих повышенный ресурс работы:

- установка внутреннего корпуса (исполнение Т);

– увеличение размеров проходного сечения на 25 % от номинального (исполнение У);

– футеровка абразивным материалом на органической связке – корундирование (исполнение К).

В обозначение насоса входит: модификация, исполнение, подача и напор. Например, 1ГрТ4000/71-УЗ: 1 – модификация; Гр – грунтовый; Т – двухкорпусной; 4000 – подача в номинальном режиме при работе на воде, м³/ч; 71 – напор в номинальном режиме при работе на воде, м; УЗ – климатическое исполнение и категория размещения.

Наибольшее распространение для водоснабжения гидромониторов при гидромеханизации вскрышных работ на угольных разрезах получили одноступенчатые центробежные насосы с двухсторонним входом марки Д. Они предназначены для воды и жидкостей, сходных с водой по вязкости и химической активности, с температурой до 85 °С, содержащих твердые включения с концентрацией не более 0,05 % по массе и размером до 0,2 мм.

В обозначение насоса входит буквенный индекс «Д» и цифры, указывающие модификацию, подачу и напор. Например, Д2000-100-2: Д – насос с двухсторонним входом; 2000 – подача в режиме максимального КПД, м³/ч; 100 – напор в режиме максимального КПД, м; 2 – модификация.

Кроме того, расширение области режимов работы этих насосов достигается за счет применения рабочих колес уменьшенного диаметра. Для обозначения насосов с уменьшенным диаметром рабочего колеса используют буквенные индексы «а» и «б». Например, Д2000-100а-2, Д2000-100б-2.

В последнее время при производстве гидровскрышных работ на угольных разрезах успешно 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.

Техническая характеристика водяных и грунтовых насосов, применяемых на разрезах Кузбасса, приведена в табл. П.2.2. В составе забойных гидротранспортных установок в качестве основных приняты грунтовые насосы ГрУ2000/63 и ГрТ4000/71. В зависимости от условий эксплуатации или наличия на предприятии другого насосного оборудования, из указанного в табл. П.2.2, насосы ГрУ2000/63 могут быть заменены землесосами ЗГМ-2М или парой параллельно соединенных грунтовых насосов ГрТ1250/71, а грунтовые насосы ГрТ4000/71 – двумя параллельно работающими грунтовыми насосами ГрУ2000/63 или землесосами ЗГМ-2М.

Количество грунтовых насосов в последовательном соединении определяется соответствующим расчетом. При этом при рассредоточении грунтовых насосов по трассе трубопроводов предпочтение следует отдавать схеме работы с разрывом сплошности потока, так как отсутствие промежуточного зумпфа приводит к более жесткой взаимозависимости последовательно соединенных агрегатов и требует более внимательного обслуживания установки.

Техническая характеристика насосов

Типоразмер насоса	Подача м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения, мин ⁻¹	КПД, %	Допустимый кавитационный запас, м	Мощность электродвигателя, кВт	Размер проходного сечения, мм
Д1250-125	1250	125	1500	78	5,8	630	–
Д2000-100	2000	100	1000	75	6,2	800	–
Д3200-75	3200	75	1000	87	7,5	800	–
Д4000-95	4000	95	1000	88	7,0	1600	–
ЦНСГ850-240	850	240	1500	72	8,5	800	–
ЦН1000-180	1000	180	1500	80	8,0	630	–
ЦН3000-197	3000	197	1000	77	7,0	2500	–
ЗГМ-2М	1900	58	750	72	–	630	180
ГрТ1250/71	1250	71	1000	67	7,0	630	120
ГрУ2000/63	2000	63	600	68	5,3	800	180
ГрТ4000/71	4000	71	500	73	5,0	1600	230
12У6	900	175	1500	60	5,9	1000	100

В технологических схемах с использованием в забое одного грунтового насоса ГрУ2000/63 и одного гидромонитора ГМД-250М основным вариантом водоснабжения является применение насоса Д2000-100. Такие же параметры могут быть обеспечены двумя параллельно работающими насосами Д1250-125 или ЦН1000-180.

В схемах с одним грунтовым насосом ГрТ4000/71 и двумя гидромониторами ГМД-250М или одним гидромонитором ГМН-350 водоснабжение может осуществляться одним насосом Д4000-95 или ЦН3000-197 или двумя параллельно работающими насосами Д2000-100.

Количество насосов в последовательном соединении определяется в зависимости от необходимого напора перед насадкой гидромонитора.

Для трубопроводов в системах гидротранспортирования и водоснабжения обычно используются трубы стальные электросварные прямошовные, но могут быть использованы и трубы стальные бесшовные горячедеформированные.

Технические данные электросварных труб приведены в табл. П.2.3. Индивидуальные графические характеристики насосов, используемых на разрезах Кузбасса, приведены на рис. П.2.1–П.2.11.

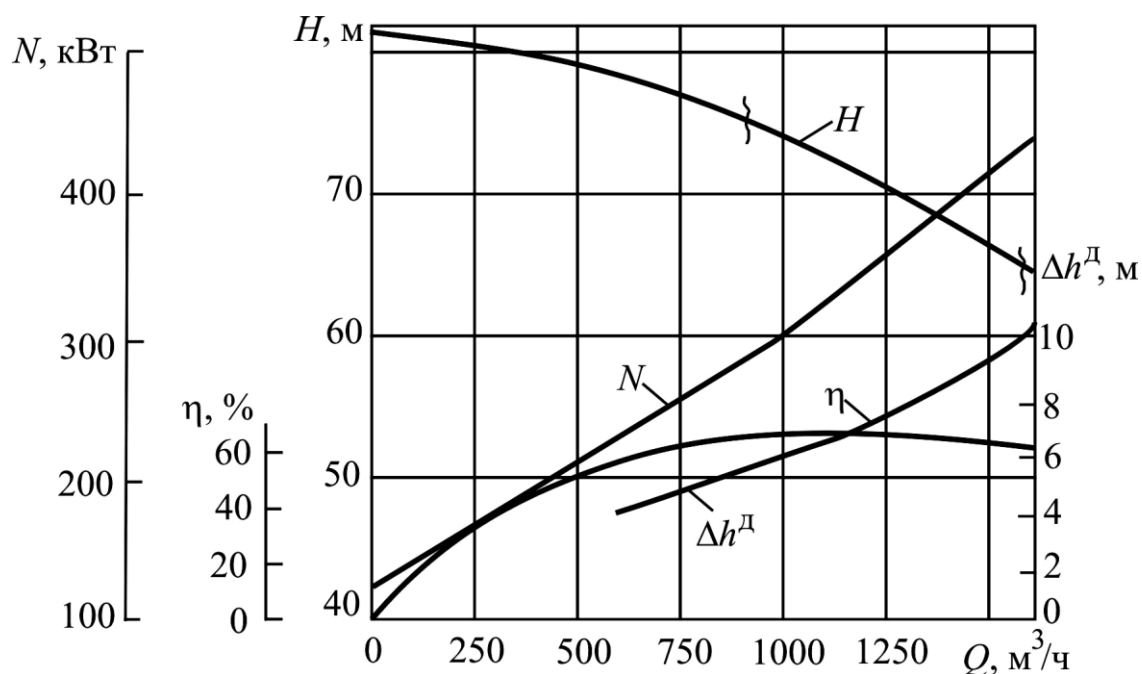
На рисунках приняты следующие обозначения: H – напор, м вод. ст.; η – коэффициент полезного действия насоса; N – мощность, кВт; Q – подача

(производительность) насоса, $\text{м}^3/\text{ч}$; $\Delta h^{\text{Д}}$ – допустимый кавитационный запас, м; D_2 – диаметр рабочего колеса, мм.

Таблица П.2.3

Трубы стальные электросварные бесшовные

Наружный диаметр труб, мм	Масса 1 м труб, кг, при толщине стенки, мм						
	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
273	39,51	45,92	52,28	58,60	–	–	–
325	47,20	54,90	62,54	70,14	–	–	–
377	54,90	63,87	72,80	81,68	90,51	–	–
426	62,15	72,33	82,47	92,56	102,59	112,58	122,52
480	70,14	81,65	92,12	104,54	115,91	127,23	138,50
530	–	90,28	102,99	115,64	128,24	140,79	138,50
630	–	107,55	122,72	137,83	152,90	167,92	182,89
720	–	123,09	140,50	157,80	175,10	192,30	209,50
820	–	140,30	160,20	180,0	199,80	219,50	239,10
920	–	157,60	179,90	202,20	224,40	246,60	268,70
1020	–	–	199,70	224,40	249,10	273,70	298,30
1120	–	–	219,40	246,60	273,70	300,80	327,90
1220	–	–	–	268,80	298,40	328,0	357,50

Рис. П.2.1. Грунтовый насос ГрТ1250/71 ($n = 965 \text{ мин}^{-1}$; $D_2 = 710 \text{ мм}$)

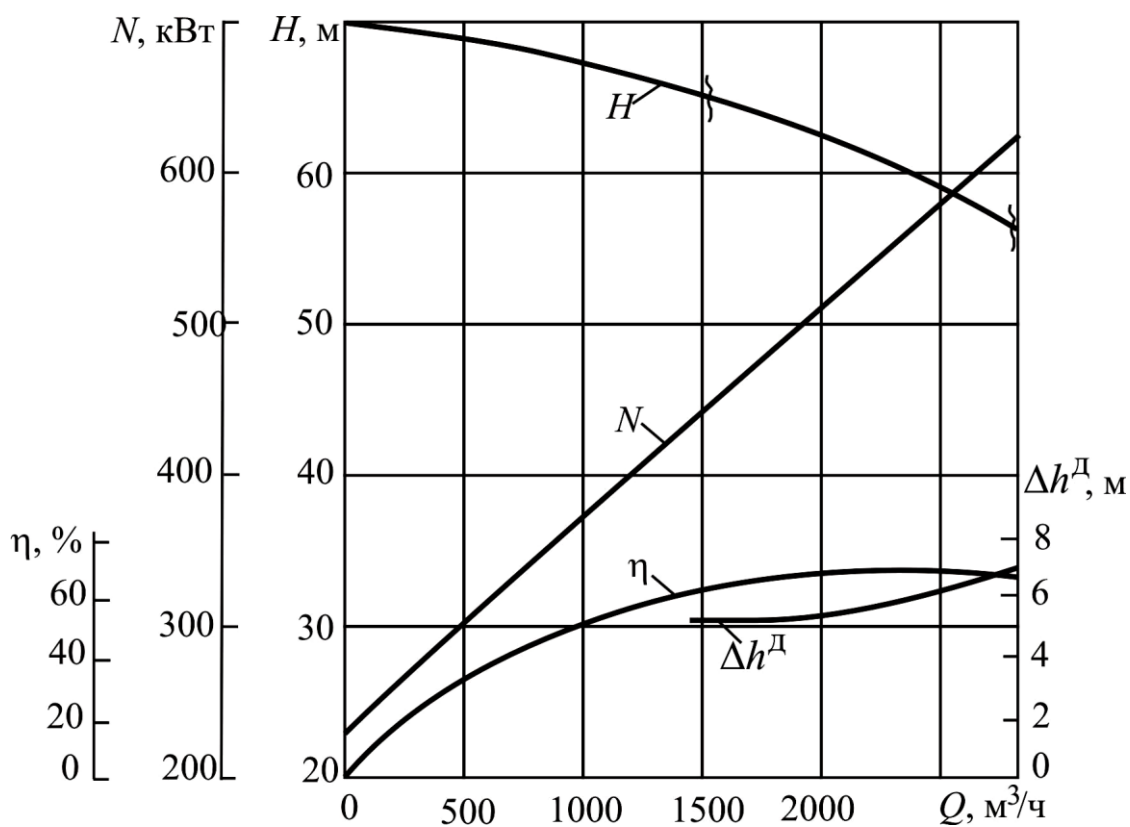


Рис. П.2.2. Грунтовый насос ГрУ2000/63 ($n = 580 \text{ мин}^{-1}$; $D_2 = 1050 \text{ мм}$)

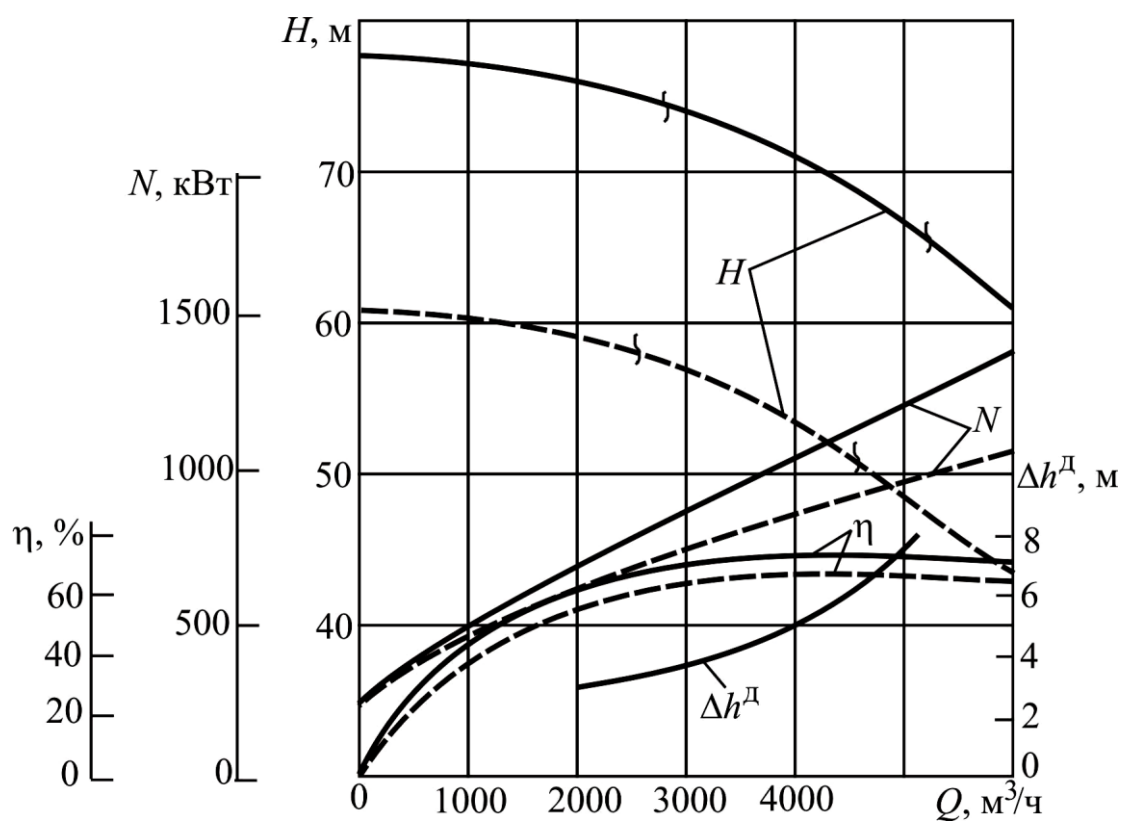


Рис. П.2.3. Грунтовый насос ГрТ4000/71
($n = 485 \text{ мин}^{-1}$, $D_1 = 1250 \text{ мм}$; $D_2 = 1390 \text{ мм}$)

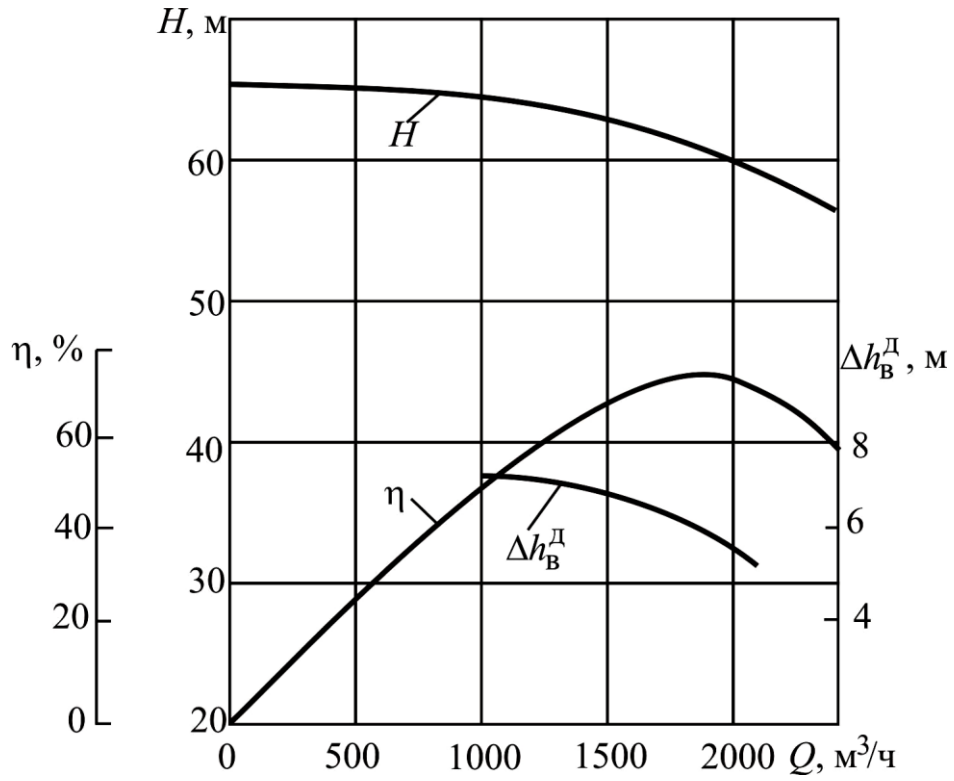


Рис. П.2.4. Землесос ЗГМ-2М ($n = 750 \text{ мин}^{-1}$; $D_2 = 850 \text{ мм}$)

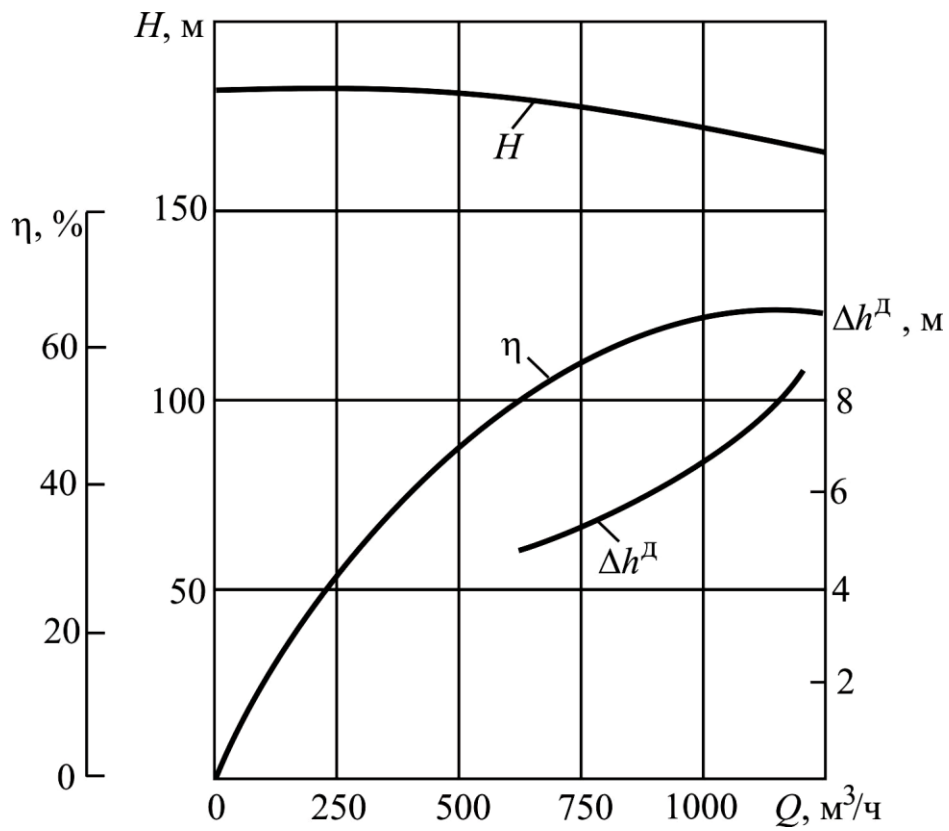
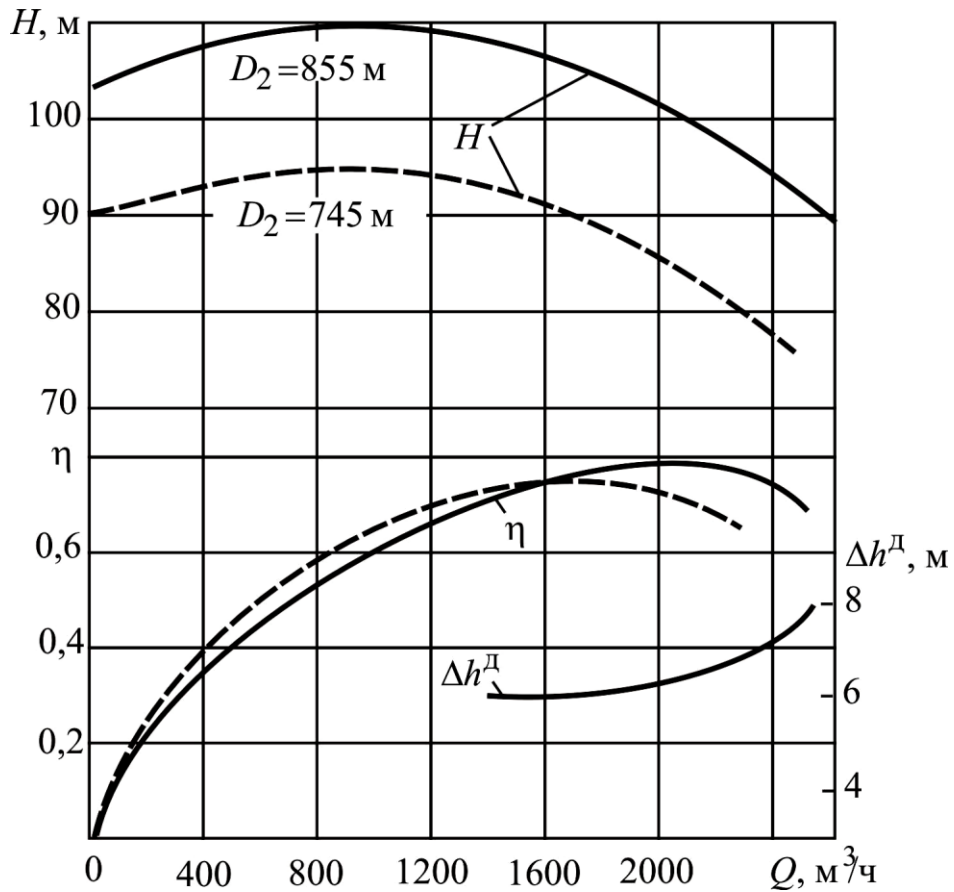
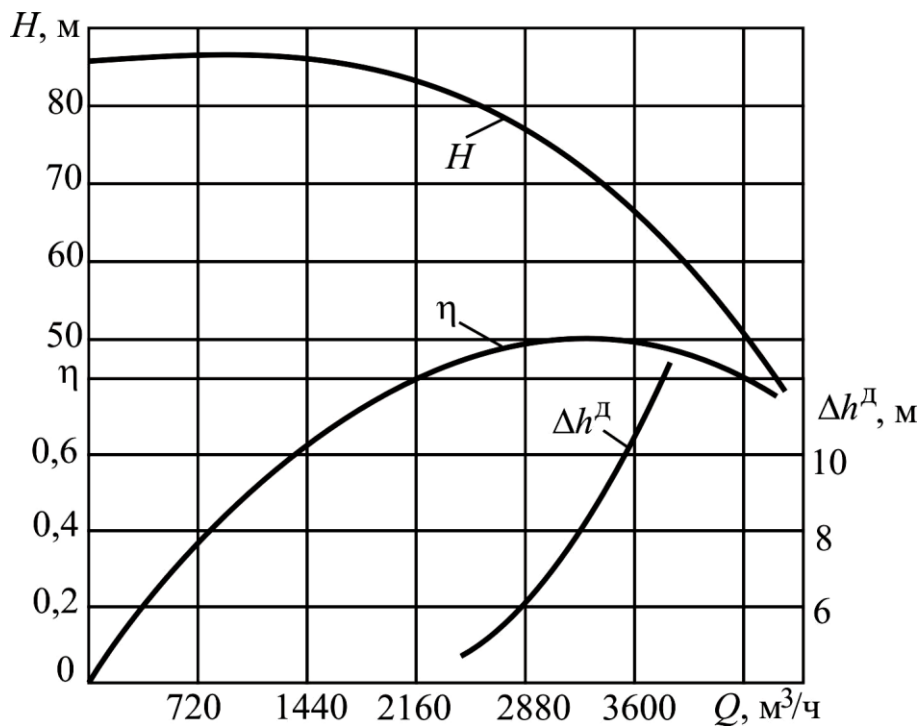


Рис. П.2.5. Углесос 12У6 ($n = 1485 \text{ мин}^{-1}$; $D_2 = 750 \text{ мм}$)

Рис. П.2.6. Насос Д2000-100 ($n = 980 \text{ мин}^{-1}$)Рис. П.2.7. Насос Д3200-55 (Д4000-95; $n = 730 \text{ мин}^{-1}$; $D_2 = 860 \text{ мм}$)

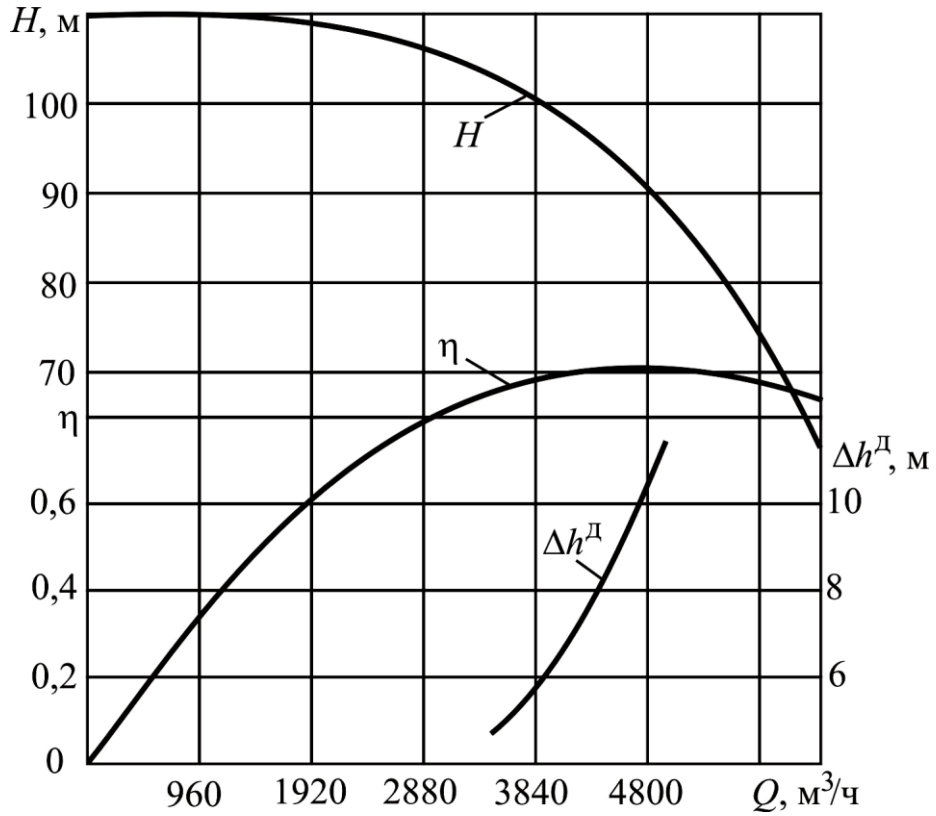


Рис. П.2.8. Насос Д4000-95 ($n = 980 \text{ мин}^{-1}$; $D_2 = 860 \text{ мм}$)

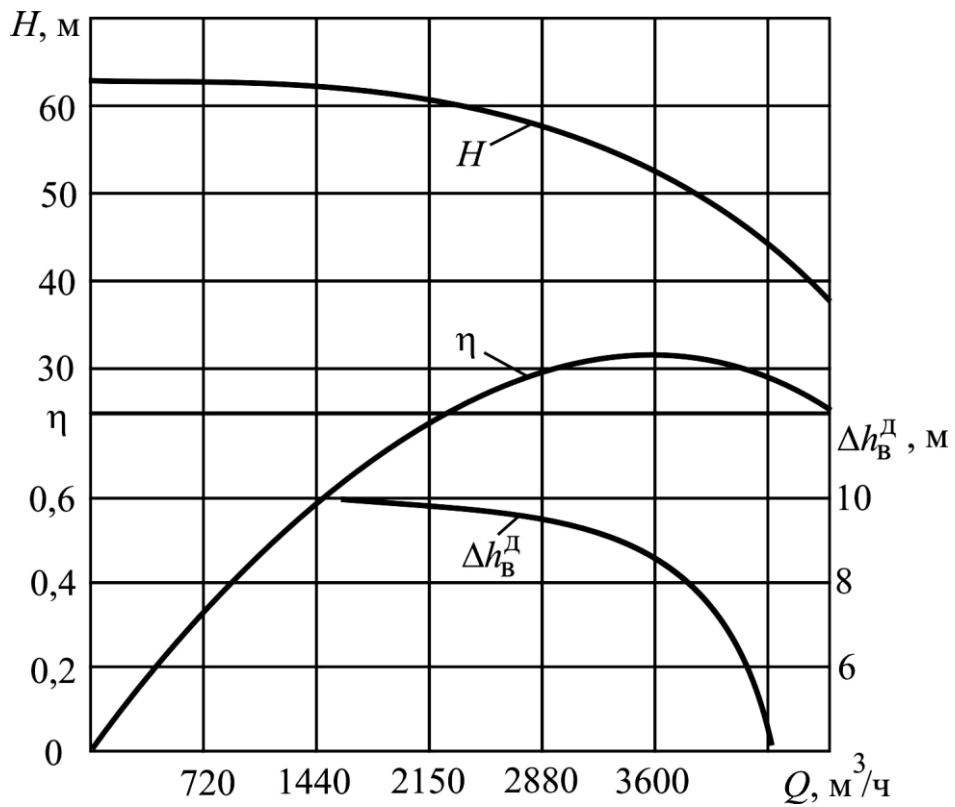
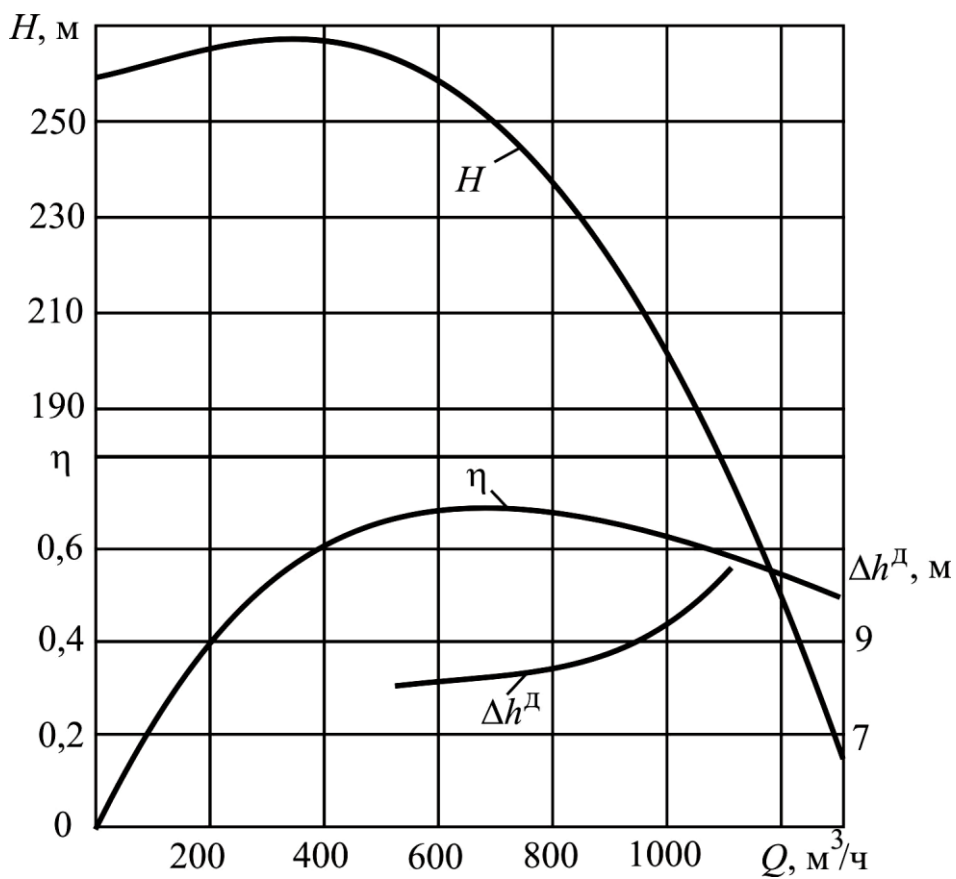
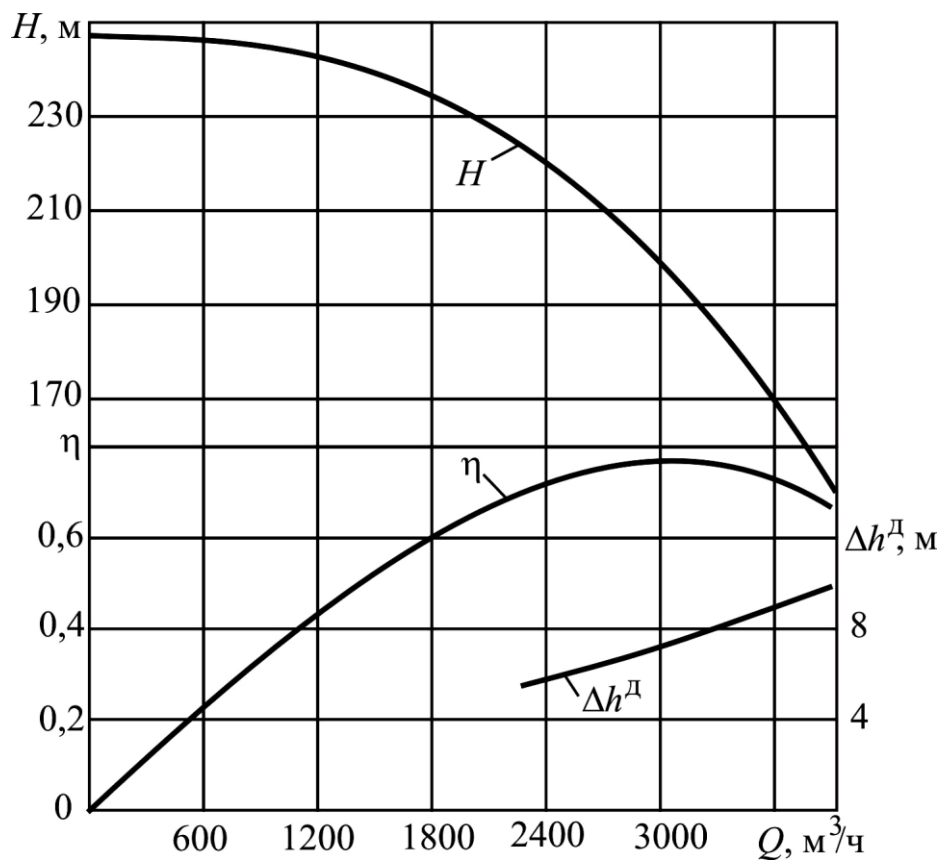


Рис. П.2.9. Насос Д4000-95 (Д3200-55) ($n = 980 \text{ мин}^{-1}$; $D_2 = 860 \text{ мм}$)

Рис. П.2.10. Насос ЦНСГ850-240 ($i=2$; $n=1474$ мин⁻¹)Рис. П.2.11. Насос ЦН3000-197 ($n=1000$ мин⁻¹; $D_2=890$ мм)

Расчет величины дисбаланса производительности систем водоснабжения и гидротранспортирования гидрокомплекса разреза

Исходные данные, необходимые для расчета:

- группа разрабатываемых пород – VI;
- Q_c – годовой объем работ (≈ 5000 тыс. м³);
- z_1 – число рабочих дней в сезоне (180 дн.);
- z_2 – число рабочих смен в сутки (3);
- t_c – продолжительность смены (8);
- $K_{и}$ – коэффициент технического использования гидротранспортной установки (0,8);
- $K_з$ – коэффициент запаса (1,1);
- φ_T – угол внутреннего трения (21°);
- c_0 – коэффициент сцепления породы в верхней части уступа (0,025 МПа);
- a_c – градиент изменения коэффициента сцепления по высоте уступа, МПа (считаем, что свойства пород по высоте уступа не меняются, тогда $a_c = 0$);
- ρ_T – плотность породы (2,7 кг/см³);
- m – пористость разрабатываемой породы (45 %);
- h_i – высота разрабатываемого уступа (20 м).

1. Производим расчет часовой производительности гидротранспортной установки по твердому.

$$Q_T = \frac{Q_c}{z_1 \cdot z_2 \cdot t_c \cdot K_{и}} K_з ; \quad (\text{П.3.1})$$

$$Q_T = \frac{5000000}{180 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 0,8} \cdot 1,1 = 1591,44 \approx 1600 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

2. Определяем величину удельного расхода воды, необходимую для разработки пород гидромониторами.

Задаемся значением величины давления воды на насадке гидромонитора. В соответствии с рекомендациями настоящей работы принимаем $H_H = 1,6$ МПа (ближе к минимальным значениям, рекомендованным в типовых технологических схемах (ТТС) ведения горных работ с применением гидромеханизации [2], в табл. П.3.1). В таком случае общий удельный расход воды для разработки пород $q = 8,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

3. Принимаем значение удельного расхода воды в процессе смыва породы, обрушенной в результате подрезки.

Величина q_2 – удельный расход воды в процессе смыва обрушенной в результате подрезки породы, принимается в соответствии с нормативами в зависимости от категории пород по трудности их разработки гидромониторами, по той же таблице, что и q , но на две единицы ниже категории, соответствующей разработке не разрыхленной породы. Так, в нашем случае, если разрабатывается VI группа пород, то q_1 принимается для IV категории, т. е. $q_2 = 6,0 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Таблица П.3.1

Удельные расходы воды

Группа пород	Породы	Удельный расход воды ($\text{м}^3/\text{м}^3$) при давлении на насадке гидромонитора, МПа						
		1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
I	Малосвязанные, разрыхленные неслежавшиеся	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 разнозернистые, супеси средние, суглинки легкие, лёсс плотный	5,8	5,6	5,4	5,0	4,7	4,4	4,2
IV	Пески крупнозернистые, смеси тяжелые, суглинки средние и тяжелые, глины текучие тощие	7,6	7,3	7,0	6,5	6,0	5,6	5,4
V	Глины полужирные, песчано-гравийная смесь	–	–	8,5	7,9	7,3	7,0	6,6
VI	Глины пластинчатые, глины полужирные с гравием, песчано-гравийная смесь	–	–	–	9,9	8,5	8,0	7,5
VII	Глины тяжелые высокопластичные (трудноразмываемые)	–	–	–	–	12,0	11,3	10,7

4. Определяем часовую производительность насосной станции водоснабжения.

Количество воды, необходимое для обеспечения сезонной производительности гидромониторно-землесосного комплекса:

$$Q_{\text{н.с}} = Q_{\text{т}} \cdot q, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (\text{П.3.2})$$

где q – удельный расход воды для разработки пород (по табл. П.3.1),
 $q = 5,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$:

$$Q_{\text{н.с}} = 1600 \cdot 8,5 = 13600, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

5. Определяем высоту врубовой щели.

Высота врубовой щели согласно исследованиям В. С. Шилыковского [27], проведенным на разрезах Кузбасса, рассчитывается по формуле

$$l_{\text{вр}} = 0,21 \text{tg}\varphi_{\text{т}} h_i + \frac{c_0 + \frac{a_c}{2}}{\rho_{\text{т}}}, \quad (\text{П.3.3})$$

где $\varphi_{\text{т}}$ – угол внутреннего трения, 21° ; c_0 – коэффициент сцепления породы в верхней части уступа, $0,025 \text{ МПа}$; a_c – градиент изменения коэффициента сцепления по высоте уступа, МПа , $a_c = 0$; $\rho_{\text{т}}$ – плотность породы, $2,7 \text{ кг}/\text{см}^3$; h_i – полная высота уступа, 20 м .

В нашем случае, когда $a_c = 0$:

$$h_{\text{вр}} = 0,21 \cdot \text{tg}21 \cdot 20 + \frac{0,025 + 0}{2,7} = 1,62 \text{ м}.$$

6. Определяем удельный расход воды в процессе подрезки забоя.

Величина удельного расхода ($\text{м}^3/\text{м}^3$) воды в процессе подрезки забоя q_1 рассчитывается по формуле

$$q_1 = \frac{q \cdot h - q_2(h - h_{\text{вр}})}{h_{\text{вр}}}; \quad (\text{П.3.4})$$

$$q_1 = \frac{8,5 \cdot 20 - 6,0(20 - 1,62)}{1,62} = 37,3 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

7. Определяем величину дисбаланса производительности систем водоснабжения и гидротранспортирования гидрокомплекса.

Величина дисбаланса ($\text{м}^3/\text{ч}$) производительности систем водоснабжения и гидротранспортирования гидрокомплекса, как было отмечено выше, может быть определена из выражения

$$\Delta Q_{\text{Г}} = Q_{\text{Гр}} - Q_{\text{Гвр}} = \frac{Q_{\text{В}}}{q_2} (1 - m + q_2) - \frac{Q_{\text{В}}}{q_1} (1 - m + q_1), \quad (\text{П.3.5})$$

где $Q_{\text{В}}$ – производительность гидромонитора по воде, $\text{м}^3/\text{ч}$; m – пористость разрабатываемой породы, $0,45 \text{ дол. ед.}$

После преобразования получим

$$\Delta Q_{\Gamma} = Q_{\text{в}} \cdot \frac{q_1 - q_2}{q_1 \cdot q_2} (1 - m). \quad (\text{П.3.6})$$

В данном случае не требуется определять количество гидромониторов, тогда можно принять $Q_{\text{в}} = Q_{\text{НС}} = 13600 \text{ м}^3/\text{ч}$.

$$\Delta Q_{\Gamma} = 13600 \cdot \frac{37,3 - 6,0}{37,3 \cdot 6,0} (1 - 0,45) = 1046,13 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Величина дисбаланса производительности систем водоснабжения и гидротранспортирования гидрокомплекса составляет $1046,13 \text{ м}^3/\text{ч}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Проверка возможности ликвидации требуемой величины дисбаланса за счет впуска воздуха во всас землесоса и определение значения величины необходимого для этого снижения тока, потребляемого его электродвигателем

Исходные данные, необходимые для расчета:

- Грунтовый насос Гр4000/71;
- $H_{ГН}$ – напор землесоса в номинальном режиме его работы (71 м вод. ст.);
- $I_{ЛН}$ – потребляемый ток землесоса в номинальном режиме его работы (225 А);
- $H_{Г}$ – геодезическая высота подъема гидросмеси (20 м);
- L – расстояние транспортирования грунтовым насосом (4000 м).

1. Определяем необходимую глубину регулирования подачи.

Величина необходимой глубины регулирования (%) подачи забойного землесоса рассчитывается по формуле

$$Q = \frac{100 \cdot \Delta Q_{Г}}{Q_{Г.см}}, \quad (\text{П.4.1})$$

где $Q_{Г.см}$ – производительность ($\text{м}^3/\text{ч}$) гидроустановки при смыве обрушенной породы, $\text{м}^3/\text{ч}$

$$Q_{Г.см} = Q_{В} \frac{1 - m + q_2}{q_2}, \quad (\text{П.4.2})$$

т. к. $Q_{В} = Q_{НС} = 13600 \text{ м}^3/\text{ч}$, тогда

$$Q_{Г.см} = 13600 \frac{1 - 0,45 + 6,0}{6,0} = 14846,67 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$Q = \frac{100 \cdot 1046,13}{14846,67} = 7,0 \text{ \%}.$$

Таким образом, необходимая величина глубины регулирования подачи грунтового насоса составляет 7,0 %.

2. Проверка возможности ликвидации такой величины дисбаланса за счет впуска воздуха во всас землесоса.

По табл. П.4.1 для VI группы пород при давлении воды на насадке гидромонитора 1,6 МПа определяем плотность гидросмеси, которая составит $\rho_{Г} = 1119 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Величина глубины регулирования подачи грунтового насоса Гр4000/71 при различных значениях геодезической высоты подъема гидросмеси $H_{Г}$ и давлении воды на насадке гидромонитора для V–VII групп разрабатываемых

пород представлена в табл. П.4.2. Учитывая, что в нашем случае разрабатываются породы VI группы, а значения $H_{\Gamma} = 20$ м и $\rho_{\Gamma} = 1119$ кг/м³, полагаем, что возможная глубина регулирования подачи грунтового насоса Гр4000/71 находится в диапазоне $8,86 > \Gamma > 8,57$ %.

Требуется глубина регулирования подачи грунтового насоса 7,0 %, следовательно, возможно применить способ ликвидации дисбаланса подач систем водоснабжения и гидротранспортирования гидрокомплекса за счет выпуска воздуха во всас землесоса.

Таблица П.4.1

Плотность гидросмеси при номинальном удельном расходе воды и давлении на насадке гидромонитора

Группа пород	Породы	Плотность гидросмеси (кг/м ³) при номинальном удельном расходе воды и давлении на насадке гидромонитора, МПа				
		1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
V	Глины полужирные, песчано-гравийная смесь	1119	1127	1137	1142	1150
VI	Глины пластинчатые, глины полужирные с гравием, песчано-гравийная смесь	–	1103	1119	1126	1134
VII	Глины тяжелые высокопластичные, трудноразмываемые	–	–	1086	1091	1096

Таблица П.4.2

Величина глубины регулирования подачи грунтового насоса Гр4000/71 при различных значениях H_{Γ} и давлении воды на насадке гидромонитора для V–VII групп разрабатываемых пород

Группа пород	Породы	Глубина регулирования подачи					
		давление гидромонитора, МПа	ρ_{Γ} , т/м ³	H_{Γ} , м	H_{Γ_i} , м	$I_{л_i}$, А	Γ , %
V	Глины полужирные, песчано-гравийная смесь	1,2	1,119	5	65,41	201,47	2,67
		1,2	1,119	10	59,81	181,13	4,30
		1,2	1,119	20	48,62	140,44	8,73
		1,2	1,119	30	37,43	99,75	15,79
		1,2	1,119	40	26,24	59,05	28,89

Группа пород	Породы	Глубина регулирования подачи					
		давление гидромонитора, МПа	ρ_{Γ} , т/м ³	H_{Γ} , м	H_{Γ_i} , м	$I_{Л_i}$, А	Γ , %
V	Глины полужирные, песчано-гравийная смесь	2,0	1,150	5	65,25	200,91	2,70
		2,0	1,150	10	59,50	180,00	4,40
		2,0	1,150	20	48,00	138,18	9,03
		2,0	1,150	30	36,5	96,36	16,58
		2,0	1,150	40	25,00	54,55	31,05
VI	Глины пластинчатые, глины полужирные с гравием, песчано-гравийная смесь	1,4	1,103	5	65,49	201,78	2,77
		1,4	1,103	10	59,97	181,71	4,39
		1,4	1,103	20	48,94	141,60	8,57
		1,4	1,103	30	37,91	101,49	15,52
		1,4	1,103	40	26,88	61,38	27,84
VI	Глины пластинчатые, глины полужирные с гравием, песчано-гравийная	2,0	1,134	5	65,33	201,20	2,81
		2,0	1,134	10	59,66	180,58	4,35
		2,0	1,134	20	48,32	139,35	8,86
		2,0	1,134	30	36,98	95,75	18,30
		2,0	1,134	40	25,64	56,87	29,91
VII	Глины тяжелые высокопластичные, трудно-размываемые	1,6	1,086	5	65,57	202,07	2,62
		1,6	1,086	10	60,14	182,33	4,20
		1,6	1,086	20	49,28	142,84	8,41
		1,6	1,086	30	38,42	103,35	15,00
		1,6	1,086	40	27,56	63,85	26,79
VII	Глины тяжелые высокопластичные, трудно-размываемые	2,0	1,096	5	65,52	201,89	2,63
		2,0	1,096	10	60,04	181,96	4,23
		2,0	1,096	20	49,08	142,11	8,50
		2,0	1,096	30	38,12	102,25	15,24
		2,0	1,096	40	27,16	62,40	27,40

3. Определяем значение величины снижения тока при впуске атмосферного воздуха во всасывающий патрубок землесоса для обеспечения баланса производительности систем водоснабжения и гидротранспортирования гидрокompлекса.

3.1. Для инженерных расчетов по упрощенной формуле.

Величина необходимой глубины регулирования подачи забойного землесоса, которая возникает в период подрезки уступа гидромонитором, составляет $Q = 7,0$ %. В работе для инженерных расчетов и практического использования расчет глубины регулирования подачи грунтового насоса от величини-

ны снижения тока, потребляемого электродвигателем, при впуске атмосферного воздуха во всасывающий патрубок землесоса рекомендуется осуществлять по формуле

$$\Gamma = 0,1 \cdot \Delta I, \quad (\text{П.4.3})$$

где ΔI – величина снижения тока при впуске атмосферного воздуха во всасывающий патрубок землесоса, А.

Преобразуем эту зависимость, подставив значение требуемой величины глубины регулирования подачи грунтового насоса 7,0 %:

$$\Delta I = 10 \cdot \Gamma = 70,0 \text{ А.}$$

3.2. Расчет по основной формуле.

Зависимость изменения глубины регулирования подачи землесоса в % от снижения величины тока ΔI в работе [30] представлена в виде

$$\Gamma = 100 \left[\frac{H_{\text{ГН}}}{I_{\text{ЛН}} \left(\frac{\epsilon}{I_{\text{ЛН}} - \Delta I} \right) + \kappa} \right], \quad (\text{П.4.4})$$

где $H_{\text{ГН}}$ и $I_{\text{ЛН}}$ – напор (м вод. ст.) и потребляемый ток (А) землесоса в номинальном режиме его работы; ΔI – величина снижения тока при впуске атмосферного воздуха во всасывающий патрубок землесоса, А; κ и ϵ – коэффициенты, соответственно равные 0,275 и 10,0.

Подставив исходные данные в зависимость (3.28), включая необходимую глубину регулирования подачи грунтового насоса $\Gamma = 7,0$ %, получим

$$\Delta I = 69,49 \approx 69,5 \text{ А.}$$

Различие в величинах снижения тока при впуске атмосферного воздуха во всасывающий патрубок землесоса, определенных по двум предложенным формулам, составляет 0,5 А, но, как видно из вышеизложенных примеров, *расчет по упрощенной формуле* действительно прост, а различие находится в пределах точности амперметра.

4. Проверка возможности осуществления необходимой глубины регулирования по условиям гидротранспортирования для землесосов грунтового насоса ГрТ4000/71, которые соответствуют зоне его промышленного использования.

В соответствии с расчетами, произведенными в работе, их результаты для наших условий приведены в табл. П.4.3.

Как видно из табл. П.4.3, в наших условиях возможна глубина регулирования 49,4 %, а нам требуется только 7,0 %.

Следовательно, для ликвидации дисбаланса подач систем водоснабжения и гидротранспортирования гидрокомплекса в указанных условиях путем

впуска воздуха во всас землесоса необходимо снизить потребляемый его электродвигателем ток примерно на 69,5 А по сравнению с его номинальным значением. Впуск воздуха во всас землесоса производится только в период подрезки уступа струей гидромонитора.

Таблица П.4.3

Результаты расчетов режимов работы грунтового насоса ГрТ4000/71.

Группа пород VI, при номинальном удельном расходе воды
и давлении на насадке гидромонитора 1,6 МПа,
для трубопровода 720 мм

№ п/п	$H_{Г}$, м	L , м	$Q_{д}$, м ³ /ч	$V_{кр}$, м/с	$0,9Q_{V_{кр}}$, м ³ /ч	ΔQ , %
50	10	5500	4820	1,91	2537	47,4
51	10	7000	4360	1,91	2537	41,8
52	10	8000	4100	1,91	2537	38,1
53	10	9000	3890	1,91	2537	34,8
54	10	10000	3700	1,91	2537	31,4
55	20	4000	5010	1,91	2537	49,4
56	20	6000	4270	1,91	2537	40,6
57	20	8000	3760	1,91	2537	32,5
58	20	10000	3380	1,91	2537	24,9
59	30	3000	5010	1,91	2537	49,4
60	30	5000	4150	1,91	2537	38,9
61	30	7000	3590	1,91	2537	29,3
62	30	9000	3200	1,91	2537	20,7
63	30	10000	3030	1,91	2537	16,3
64	40	2000	5010	1,91	2537	49,4
65	40	4000	3990	1,91	2537	36,4
66	40	6000	3380	1,91	2537	24,9
67	40	8000	2960	1,91	2537	14,3
68	40	9000	2790	1,91	2537	9,1
69	40	1000	5840	1,91	2537	56,6
70	50	1000	5020	1,91	2537	49,5
71	50	3000	3750	1,91	2537	32,3
72	50	5000	3070	1,91	2537	17,4
73	50	6000	2830	1,91	2537	10,4
74	50	500	5530	1,91	2537	54,1

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия : учеб. пособие для вузов / под общ. ред. П. П. Табурчака, В. М. Тумина, М. С. Сапрыкина. – Санкт-Петербург : Химиздат, 2001.
2. Бессонов, Е. А. Технология и механизация гидромеханизированных работ : справ. пособие. – Москва : Центр, 1999.
3. Бессонов, Е. А. Энциклопедия гидромеханизированных работ. – Москва : Изд-во «1989.ру», 2005.
4. Гальперин, А. М. Гидромеханизированные природоохранные технологии / А. М. Гальперин, Ю. Н. Дьячков. – Москва : Недра, 1993.
5. Геологический словарь. – Т. 1, 2. – Москва : Недра, 1973.
6. Гидромеханизация на карьерах нерудных строительных материалов / под ред. проф. Н. Д. Холина [и др.]. – Москва : Госстройиздат, 1962.
7. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – Москва : Высш. шк., 1977. – 479 с.
8. Горная энциклопедия. – Т. 1–5. – Москва : Сов. энциклопедия, 1991.
9. Гришко, А. П. Стационарные машины и установки / А. П. Гришко, В. И. Шелоганов. – Москва : МГГУ, 2004.
10. Длин, А. М. Математическая статистика. – Москва : Сов. наука, 1958. – 466 с.
11. Дмитриев, Г. П. Напорные гидротранспортные системы / Г. П. Дмитриев, Л. И. Махарадзе, Т. Ш. Гочиташвили. – Москва : Недра, 1991.
12. Единые правила безопасности при разработке месторождений открытым способом (ПБ 03-498-02). Утверждены постановлением Федерально-го горного и промышленного надзора России 9 сент. 2002 г. № 57.
13. Животовский, Л. С. Техническая механика гидросмесей и грунтовые насосы / Л. С. Животовский, Л. А. Смойловская. – Москва : Машиностроение, 1986.
14. Жученко, В. А. Новая технология гидромеханизированной добычи и переработки грунтов. – Москва : Стройиздат, 1973.
15. Залепукин, Н. П. Справочник гидромеханизатора / Н. П. Залепукин, Л. М. Рабинский, А. И. Харин. – Киев : Будивельник, 1969.
16. Инструкция по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов. – Ленинград : Энергия, 1972.
17. Каштанов, П. Б. Всасывающее заборное устройство землесосной установки. Патент на изобретение № 2054550 / П. Б. Каштанов, В. И. Шелоганов, Е. А. Кононенко, Г. В. Павленко, В. В. Шелепов // 20.02.1996.
18. Кононенко, Е. А. Научное обоснование гидровскрышных технологий, комплексно обеспечивающих формирование и сбережение ресурсов : автореф. дис. ... д-р техн. наук. – Москва, 1999.
19. Кононенко, Е. А. Опыт применения и перспективы гидромеханизации на карьерах // Горный журнал. – 1977. – № 3. – С. 7.

20. Кононенко, Е. А. Состояние и перспектива развития гидромеханизации при отработке угольных месторождений открытым способом / Е. А. Кононенко, В. Ф. Горте // Научно-технические достижения и передовой опыт в угольной промышленности. – Москва : ЦНИИЭИуголь, 1991. – № 2.

21. Кононенко, Е. А. Гидромеханизация в Кузбассе / Е. А. Кононенко, А. А. Романов // Горный журнал. – 2006. – № 11.

22. Краснянский, Г. Л. Инженерные основы внедрения ресурсосберегающих технологий с использованием техники новых поколений // Открытые горные работы. – 1999.

23. Ларичкин, Ф. Д. Теория и практика стоимостной оценки полезных компонентов в минеральном сырье и продуктах его комплексной переработки. – Москва : НП НАЭН, 2008.

24. Лешков, В. Г. Разработка россыпных месторождений. – Москва : Недра, 1985.

25. Литвин, Ю. И. Аспекты экологической и промышленной безопасности при применении гидромеханизации на разрезах Кузбасса / Ю. И. Литвин, Д. А. Поклонов, С. И. Протасов // Сб. тр. XIII Междунар. науч.-практ. конф. «Энергетическая безопасность России: Новые подходы к развитию угольной промышленности»; 20–23 сент. 2011 г. – Кемерово : ИУУ СО РАН ; КузГТУ, 2011. – С. 248–250.

26. Литвин, Ю. И. Особенности работы современных гидромониторно-землесосных комплексов при применении мощных гидромониторов // Сб. докл. VI съезда гидромеханизаторов России «Инновационная направленность гидромеханизации горных и строительных работ»; 8–10 февр. 2012 г. – Москва : Изд-во ООО «Центр инновационных технологий», 2012. – С. 180–187.

27. Литвин, Ю. И. Оценка дисбаланса подачи гидросмеси, возникающего в момент подрезки уступа гидромониторами // Материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2012»; 1–2 нояб. 2012 г. – Кемерово, 2012. – Т. 1. – С. 41–43.

28. Литвин, Ю. И. Ликвидация дисбаланса подач гидросмеси, возникающего в момент подрезки уступа гидромониторами / Ю. И. Литвин, С. И. Протасов // Сб. тр. XV Междунар. науч.-практ. конф. «Энергетическая безопасность России: Новые подходы к развитию угольной промышленности»; 08–11 окт. 2013 г. – Кемерово : ИУУ СО РАН ; КузГТУ, 2013. – С. 47–54.

29. Литвин, Ю. И. Исследование способа временного снижения производительности землесоса / Ю. И. Литвин, А. С. Цветков // Маркшейдерия и недропользование. – 2013. – № 3(65). – С. 38–42.

30. Литвин, Ю. И. Обоснование технологических параметров гидромониторно-землесосных комплексов разрезов Кузбасса при применении мощных гидромониторов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2014. – 21 с.

31. Маляров, Ю. А. Учебное пособие для выполнения экономической части дипломных проектов по специальности «Открытые горные работы» / Ю. А. Маляров, М. Х. Пешкова. – Москва : МГГУ, 1994.

32. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. – Москва : Экономика, 2000.

33. Моссаковский, Я. В. Экономическая оценка инвестиций в горной промышленности. – Москва : Изд-во МГГУ, 2004.

34. Никитин, А. В. Результаты исследования скорости и объема водонасыщения глинистых песков россыпных месторождений при их подготовке к обогащению / А. В. Никитин, В. Е. Кисляков // Журнал Сибирского университета. Серия : Техника и технология. – Красноярск, 2009. – Т. 2. – № 4. – С. 359–367.

35. Нормы технологического проектирования угольных разрезов. Раздел «Гидромеханизация вскрышных работ на разрезах». – Новосибирск : Сибгипрошахт, 1983.

36. Нурок, Г. А. Гидромеханизация открытых разработок. – Москва : Недра, 1970.

37. Нурок, Г. А. Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ. – Москва : Недра, 1985.

38. Нурок, Г. А. Гидротранспорт горных пород / Г. А. Нурок, Ю. В. Бруякин, В. В. Ляшевич. – Москва : МГИ, 1974.

39. Открытые горные работы. Новые решения в технике и технологии. Опыт международной кооперации / Т. Ю. Виденхауз, В. Н. Рудольф, Г. Л. Краснянский, Р. М. Штейнцайг. – Москва : Изд-во Академии горных наук, 1999.

40. Открытые горные работы: Справочник / К. Н. Трубецкой, М. Г. Потапов, К. Е. Веницкий, Н. Н. Мельников [и др.]. – Москва : Горное бюро, 1994.

41. Протасов, С. И. Работа гидротранспортного оборудования при применении мощных гидромониторов / С. И. Протасов, Ю. И. Литвин // Маркшейдерия и недропользование. – 2012. – № 6(62). – С. 35–37.

42. Протасов, С. И. Влияние дисбаланса режимов работы оборудования системы гидротранспорта на эффективность работы гидромониторно-землесосного комплекса / С. И. Протасов, Ю. И. Литвин, Д. А. Поклонов // Материалы пятого Всероссийского съезда гидромеханизаторов. – Москва : Изд-во ООО «Центр инновационных технологий», 2012. – С. 170–180.

43. Парамонов, С. В. Программа технического перевооружения угольной компании «Кузбассразрезуголь» / С. В. Парамонов, Ю. И. Литвин // Сб. тр. XI Междунар. науч.-практ. конф. «Энергетическая безопасность России: Новые подходы к развитию угольной промышленности» ; 15–18 сент. 2009 г. – Кемерово : ИУУ СО РАН ; КузГТУ, 2009. – С. 167–169.

44. Поклонов, Д. А. Гидромониторно-землесосные комплексы на разрезах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» / Д. А. Поклонов, Ю. И. Литвин // Сб. докладов VI съезда гидромеханизаторов России «Инновационная направлен-

ность гидромеханизации горных и строительных работ» ; 8–10 февр. 2012 г. – Москва : Изд-во ООО «Центр инновационных технологий», 2012. – С. 188–193.

45. Ревазов, М. А. Экономика природопользования : учебник / М. А. Ревазов, Н. Я. Лобанов, Ю. А. Маляров, В. З. Персиц. – Москва : МГГУ, 1992.

46. Ржевский, В. В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. – Москва : Недра, 1975.

47. Ржевский, В. В. Открытые горные работы. Ч. 1. Производственные процессы ; Ч. 2. Технология и комплексная механизация. – Москва : Недра, 1985.

48. Соловьева, Е. А. Ценообразование и проблемы рационального использования недр. – Москва : Экономика, 1974.

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

50. Толстых, В. И. Исследование последовательной работы грунтовых насосов с целью повышения устойчивости их эксплуатационных режимов на горных предприятиях : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Москва : МГИ, 1983.

51. Трубецкой, К. Н. Проектирование карьеров / К. Н. Трубецкой, Г. Л. Краснянский, В. В. Хронин, В. С. Коваленко. – Москва : Высш. шк., 2009.

52. Трубецкой, К. Н. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии при открытой разработке месторождений / К. Н. Трубецкой, А. Г. Шапарь. – Москва : Недра, 1993.

53. Чаплыгин, В. В. Гидромеханизация угольных разрезов Кузбасса, ее нынешняя роль, возможности и перспективы // Сб. тр. XIV Междунар. науч.-практ. конф. «Энергетическая безопасность России: Новые подходы к развитию угольной промышленности» ; 18–21 сент. 2012 г. – Кемерово : ИУУ СО РАН ; КузГТУ. – 2012.

54. Чаплыгин, В. В. Повышение производительности гидрокомплекса разреза «Ерунаковский» // Горный информ.-аналит. бюл. – Москва : МГГУ, 2000. Вып. 11.

55. Чаплыгин, В. В. Расчет параметров порога перелива секционного зумпфа забойной гидротранспортной установки : Деп. в информ.-аналит. центре горных наук МГГУ ; справка № 27/9-272. Оpubл. в ГИАБ, 2003, № 2.

56. Чеботаев, Н. И. Методические указания по курсовому и дипломному проектированию. – Москва : МГИ, 1984.

57. Шелоганов, В. И. Расчет характеристик внешних сетей гидротранспортных установок // Технология и технологические средства гидромеханизированной добычи полезных ископаемых. – Москва : МГИ, 1984.

58. Шелоганов, В. И. Анализ режима работы грунтовых насосов на кавитацию // Тр. Междунар. симпозиума «Горная техника на пороге XXI века». – Москва : МГГУ, 1996.

59. Шелоганов, В. И. Определение режима работы гидромониторов // Горный информ.-аналит. бюл. – Москва : МГГУ, 1996. Вып. 3.
60. Шелоганов, В. И. Расчет характеристик внешних сетей гидротранспортных и насосно-гидромониторных установок // Тр. Междунар. симпозиума «Горная техника на пороге XXI века». – Москва : МГГУ, 1996.
61. Шелоганов, В. И. Энерго- и водосберегающий гидромониторно-землесосный комплекс // Горный журнал. – М., 1996. – № 6.
62. Шелоганов, В. И. Насосные установки гидромеханизации : учеб. пособие / В. И. Шелоганов, Е. А. Кононенко. – Москва : МГГУ, 1999.
63. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента. – Москва : Мир, 1972. – 381 с.
64. Шилыковский, В. С. Исследование технологии гидровскрышных работ при механической подрезке уступов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Москва : МГГУ, 1969.
65. Шланн, И. Б. Разработка месторождений нерудного сырья. – Москва : Недра, 1985.
66. Экономика горного предприятия / А. С. Астахов, Г. Л. Краснянский, Ю. Н. Малышев, А. Б. Яновский. – Москва : Недра, 1997.
67. Юфин, А. П. Гидромеханизация. – Москва : Стройиздат, 1974.
68. Ялтанец, И. М. Проектирование гидромеханизации открытых горных работ. – Москва : МГГУ, 1994.
69. Ялтанец, И. М. Гидромеханизация. Справочный материал / И. М. Ялтанец, В. К. Егоров. – Москва : МГГУ, 1999.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
	ВВЕДЕНИЕ.....	4
1.	АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТVOвания ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ НА РАЗРЕЗАХ ОАО «УК «КУЗБАССРАЗРЕЗУГОЛЬ».....	8
1.1.	Анализ состояния гидромеханизации на разрезах Кузбасса.....	8
1.2.	Направления совершенствования гидромеханизации на разрезах.....	21
2.	ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОМОНИТОРНО-ЗЕМЛЕСОСНОГО КОМПЛЕКСА ПУТЕМ СОГЛАСОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЕГО ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	29
2.1.	Структуры гидротранспортных установок в составе гидромониторно-землесосных комплексов разрезов Кузбасса.....	29
2.2.	Ликвидация дисбаланса подач гидросмеси системами водоснабжения и гидротранспортирования как метод повышения эффективности работы гидромониторно-землесосных комплексов.....	33
2.3.	Определение величины дисбаланса производительности основных систем гидромониторно-землесосных комплексов при работе мощных гидромониторов.....	45
3.	АНАЛИЗ СПОСОБОВ И ДИАПАЗОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ СНИЖЕНИЯ ПОДАЧИ ЗЕМЛЕСОСА ПРИ ВПУСКЕ ВОЗДУХА ВО ВСАСЫВАЮЩИЙ ТРУБОПРОВОД.....	53
3.1.	Способы регулирования режимов работы грунтовых насосов и область их применения.....	53
3.2.	Экспериментальные исследования диапазона снижения подачи грунтового насоса в условиях разрезов Кузбасса.....	59
3.2.1.	Результаты эксперимента в филиале ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Талдинский угольный разрез».....	63
3.2.2.	Определение диапазона снижения подачи грунтового насоса за счет впуска воздуха в его всасывающий трубопровод.....	65
3.3.	Исследование диапазона возможного снижения подачи грунтового насоса при впуске воздуха во всасывающий трубопровод.....	73
3.4.	Исследование диапазона возможного снижения подачи грунтового насоса в зоне его промышленного использования.....	77

4.	СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ СОГЛАСОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ГИДРОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГИДРОКОМПЛЕКСА РАЗРЕЗА.....	102
4.1.	Технологическая схема гидромеханизации в условиях филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Талдинский угольный разрез».....	102
4.2.	Определение действительных режимов работы оборудования насосно-гидромониторной установки при работе только гидромонитора типа ГД-300 (Т-521).....	104
4.3.	Определение действительных режимов работы оборудования насосно-гидромониторной установки при работе зумпфового гидромонитора.....	108
4.4.	Анализ показателей работы гидромониторов.....	111
5.	РАСЧЕТ ОБЪЕМА ИНВЕСТИЦИЙ, УДЕЛЬНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННОГО СПОСОБА ОТРАБОТКИ ВСКРЫШНОГО УСТУПА.....	114
5.1.	Расчет объема инвестиций и величины годовых амортизационных отчислений при применении гидромеханизации.....	114
5.2.	Расчет эксплуатационных затрат при применении гидромеханизации.....	114
5.3.	Сравнение способов согласования работы систем водоснабжения и гидротранспортирования.....	125
	ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	126
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Основные понятия и определения в области гидромеханизации.....	128
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Средства гидромеханизации горных работ и их характеристика.....	130
	ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Расчет величины дисбаланса производительности систем водоснабжения и гидротранспортирования гидрокомплекса разреза.....	139
	ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Проверка возможности ликвидации требуемой величины дисбаланса за счет впуска воздуха во всас землесоса и определение значения величины необходимого для этого снижения тока, потребляемого его электродвигателем.....	143
	СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	148

**Протасов Сергей Иванович
Кононенко Евгений Андреевич
Самусев Павел Александрович
Литвин Юрий Иванович**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
ГИДРОМОНИТОРНО-ЗЕМЛЕСОСНОГО КОМПЛЕКСА РАЗРЕЗА
ПУТЕМ СОГЛАСОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ЕГО ОСНОВНЫХ СИСТЕМ**

Учебное пособие

Редактор З. М. Савина

Подписано в печать 16.11.2015. Формат 60×84/16
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman»
Уч.-изд. л. 9,50. Тираж 500 экз. Заказ

КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28

Издательский центр УИП КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А