© Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова, Ф.П. Стрельский, А.И. Федосеев, 2008

УДК 622.23.054.72

Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова, Ф.П. Стрельский, А.И. Федосеев

ИЗУЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЧАСТИЧНОЙ ЛИКВИДАЦИИ ГИДРООТВАЛОВ

Семинар № 1

За время применения гидромеханизации в Кузбассе удалено около 1 млрд м^3 пород вскрыши, которые были размещены в 50-ти гидроотвалах суммарной площадью 7000 га. Данные горнотехнические сооружения представляют собой техногенные массивы, сформированные, в основном, из слабопроницаемых водонасыщенных глинистых пород с низкой прочностью и несущей способностью, что на определенных этапах существования сооружений обусловливает возникновение проблем, связанных с обеспечением устойчивости откосов. При частичной ликвидации гидроотвалов устойчивость откосов и уступов требуется обеспечивать как в удаляемых намывных породах, так и остающихся частях намывных массивов.

При освоении Кедровского угольного месторождения доразведкой было установлено, что под гидроотвалом №3 находятся пласты угля, пригодные для разработки открытым способом. Данный гидротехнический объект эксплуатировался в период с 1958 по 1990 гг. и на момент выполнения ликвидационных работ представлял собой сооружение овражно-балочного типа с односторонним обвалованием площадью 292 га, емкостью 47,8 млн м^3 и максимальной высотой в тальвеге лога 53 м Вовлечение данных пластов угля в открытую добычу потребовало выполнения вскрышных работ в природно-техногенной системе, включающей углевмещающую породную толщу, покровные и намывные отложения. Последние являются наиболее слабым звеном, их отработка затруднена и требует применения либо специальных мероприятий по улучшению состояния и свойств намывных пород, либо специфических технологий.

Одним из мероприятий по улучшению свойств намывных пород является их предварительное уплотнение путем нагружения «сухими» отвалами [1, 2]. Однако его применение на разрезе «Кедровский» экономически не целесообразно в связи с большим объемом отвалообразования, что обусловлено значительной площадью участка гидроотвала, предназначенного для удаления (около 150 га), и большой мощностью намывных пород (свыше 50 м). В данных условиях более целесообразно использовать гидромеханизационный способ удаления намывных пород, который характеризуется наименьшими нагрузками от применяемого в технологических процессах оборудования [3, 4, 5].

Задача по частичной ликвидации гидроотвала в общей постановке сводо-

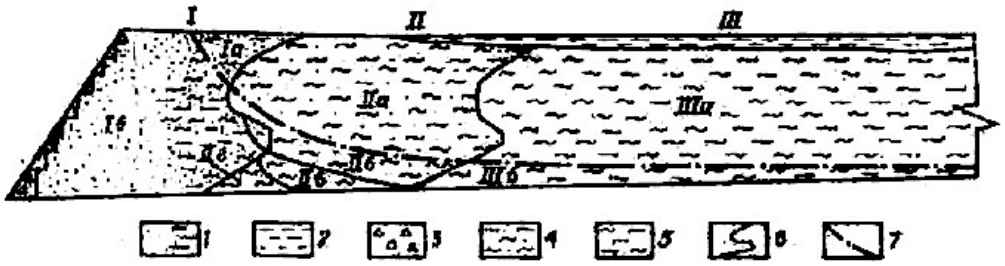

Рис. 1. Инженерно-геологический разрез гидроотвала: *1* - песчано-супесчаные породы; *2* - вода пруда-отстойника; *3* - породы дамб; *4* - суглинистые породы; *5* - глинистые породы; *6* - границы зон; *7* - границы подзон; I, II, III - соответственно зоны песчано-супесчаных, суглинистых и глинистых пород; а, б, в, г – соответственно подзоны пород текучей, мягко-, тугопластичной и полутвердой консистенции

лась к решению двух основных вопросов: 1) определение параметров устойчивых конструкций откосов оставшихся частей намывных массивов; 2) обоснование параметров и технологий частичной отработки гидроотвалов. Для этой цели необходимо было выполнить исследования по оценке и прогнозу инженерно-геологических условий как удаляемой, так и остающейся частей намывного массива на различных этапах ведения горных работ.

В процессе намыва гидроотвала сформировался неоднородный в плане и разрезе техногенный массив, сложенный водонасыщенными горными породами. Выделяются в плане зоны: песчано-супесчаных, суглинистых и глинистых пород, а в разрезе - подзоны: текучих, мягко-, тугопластичных, полутвердых пород (рис. 1).

В намывном массиве глинистой и частично суглинистой зоны на момент окончания намыва сформировалось избыточное поровое давление, которое в глинистых отложениях сохраняется до настоящего времени (рис. 2). Это связано, в первую очередь, с плохими условиями консолидации гидроотвального массива (большая мощность и низкие фильтрационные свойства пород). При отсыпке на поверхности гидроотвала различных насыпей в намывных породах образовалось дополнительное поровое давление.

Состояние и свойства намывных пород при частичной отработке гидроотвала №3 изменяются в результате развития различных процессов и явлений: фильтрационной консолидации, происходящей как под действием собственного веса пород, так и при нагружении их различными насыпями; оползней и оседаний, возникающих при формировании на поверхности разделительной насыпи и отсыпке отвалов «сухих» пород, приводящих к выдавливанию намывных пород из-под отвалов и уменьшению мощности намывного слоя; деконсолидации пород при гидромониторном смыве верхних слоев, сопровождающейся уменьшением прочности остающихся пород. Знание основных закономерностей развития данных процессов позволяет управлять ими, обеспечивая безопасность вскрышных работ по частичному удалению гидроотвала.

При намыве гидроотвалов на земной поверхности образуются мощные породные массивы, а слагающие их

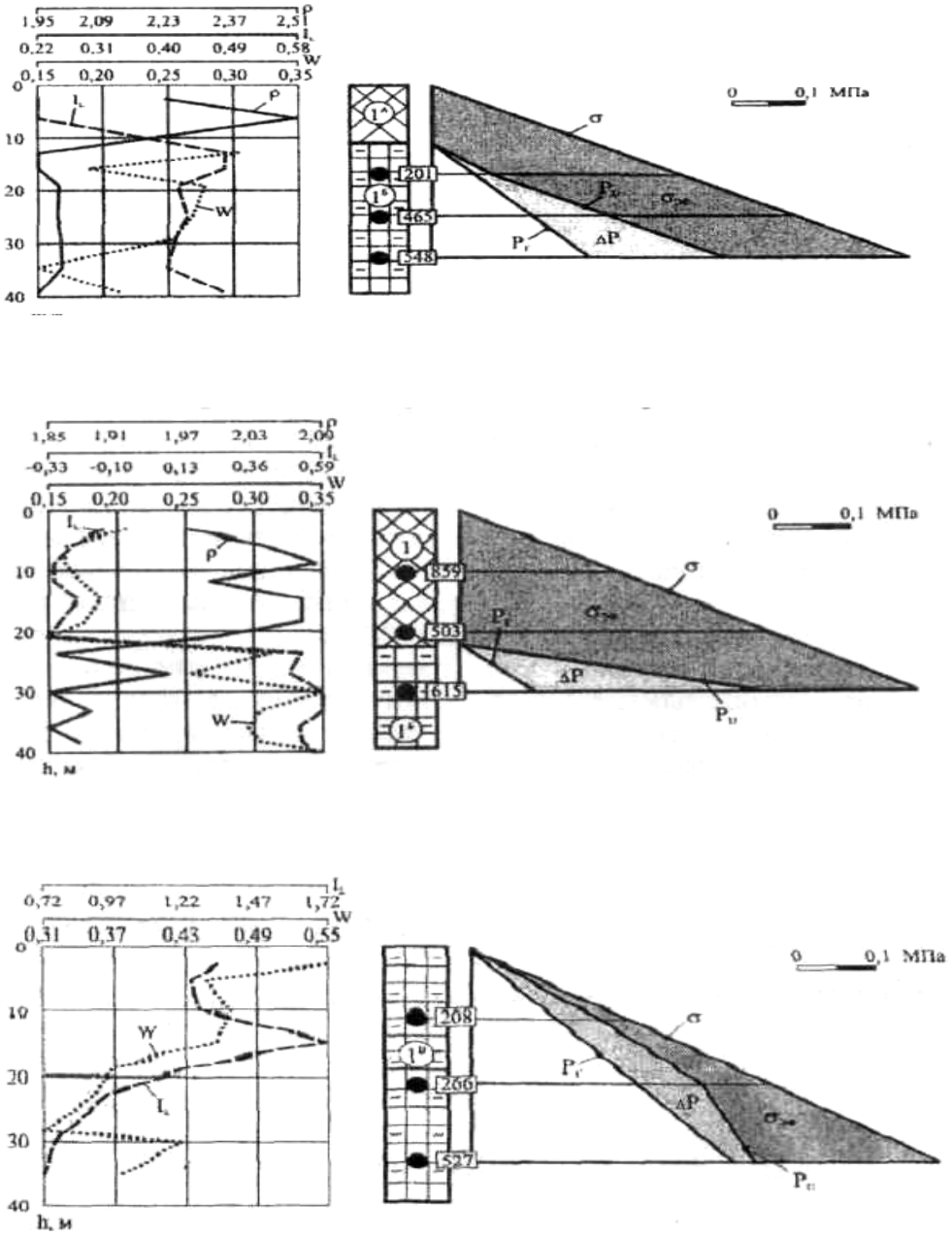

Рис. 2. Графики изменения физических свойств пород, геологическая колонка и эпюра распределения напряжений в массиве: **σ** – полные напряжения; $\boldsymbol{\sigma_{эф}}$ – эффективные напряжения; $\mathbf{P_u}$ – поровое давление; **ΔP** – избыточное поровое давление; $\mathbf{P_1}$ – гидростатическое давление

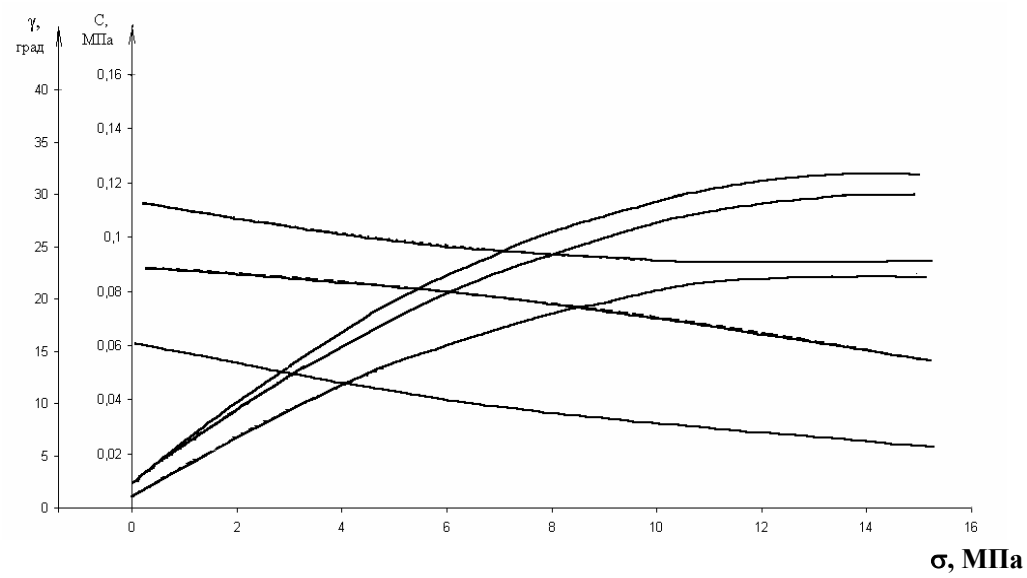

Рис. 3. Изменение угла внутреннего трения и сцепления намывных пород с ростом эффективных нагрузок

намывные осадки за срок всего лишь несколько десятков лет проходят все стадии осадочного породообразования, преобразуясь из суспензий в плотные литифицированные отложения [6] Изменение состояния и свойств
намывных отложений происходит под действием давления, постоянно возрастающего при намыве, при этом изменяется структура осадка, уменьшается его пористость и влажность, возрастает прочность пород. Данные изменения неодинаковы в различных диапазонах эффективных напряжений. Для интервала напряжений 0-0,1 МПа характерно наиболее интенсивное изменение свойств, которое постепенно затухает в диапазоне 0,1-0,45 МПа, после чего процесс уплотнения приобретает затрудненный характер. Следовательно, качественные изменения в поведении грунтов проявляются при нагрузках примерно 0,1 и 0,45 МПа, что соответствует переходам из текучего состояния в мягкопластическое и из тугопластичной в полутвердую консистенцию. Подтверждение правильности полученных критериев получено на гидроотвале №3, где была вскрыта толща намывных суглинков мощностью 45 м, представленная в разрезе (с верху в низ) отложениями текучей, мягкопластичной, тугопластичной и полутвердой консистенции. В соответствии с изменением физического и напряженного состояния пород по глубине изменялись и их прочностные параметры (рис.3). Эффективные напряжения в точках отбора образцов определялись с учетом замеров порового давления, при этом переход пород в мягкопластичную и полутвердую консистенцию происходил соответственно при 0,1 и 0,45 МПа.

Особое внимание при инженерно-геологических исследованиях пород ликвидируемых намывных массивов следует уделять определению прочности пород с учетом изменения их напряженного состояния в связи с уменьшением мощности пород при смыве и измерению порового давления в натурных ус-

ловиях. Для выполнения сдвиговых испытаний намывных пород обоснована схема «консолидированно-недренированных испытаний по обратной ветви компрессии» [7], наиболее полно отражающая естественное напряженное и физическое состояние пород в массиве. Она позволяет получить зависимости изменения показателей прочности от эффективных напряжений (рис. 3), которые используются при выполнении расчетов устойчивости разгружаемых намывных массивов. Изучение прочности намывных пород позволило получить следующие зависимости для песчано-супесчаной (1), суглинистой (2) и глинистой (3) зон:

$$\tau = \sigma_{эф} tg(0{,}0497\sigma_{эф}^2 - 1{,}0217\sigma_{эф} + +29{,}9) - 0{,}0005\sigma_{эф}^2 + 0{,}0122\sigma_{эф} + +0{,}0037 \quad (1)$$

$$\tau = \sigma_{эф} tg(-0{,}0242\sigma_{эф}^2 - 0{,}251\sigma_{эф} + +22{,}367) - 0{,}0005\sigma_{эф}^2 + 0{,}0146\sigma_{эф} + +0{,}009 \quad (2)$$

$$\tau = \sigma_{эф} tg(0{,}033\sigma_{эф}^2 - 1{,}273\sigma_{эф} + +16{,}774) - 0{,}0006\sigma_{эф}^2 + 0{,}0161\sigma_{эф} + +0{,}0089 \quad (3)$$

где $\sigma_{эф} = \sigma_{пол} - P_и$; $\sigma_{эф}$ и $\sigma_{пол}$ – эффективные и полные напряжения; $P_и$ - поровое давление.

Обоснование параметров намывных массивов при частичном удалении гидроотвалов должно базироваться на построении гидрогеомеханической модели объекта, которая является формализованным представлением объекта с позиции основных принципов гидрогеомеханики, включая геолого-структурное строение массива, инженерно-геологические и гидрогеологические условия, напряженно-деформированное состояние пород, а также основные процессы и явления, определяющие их эволюцию при реализации определенных технических решений и целевого использования сооружения. Для случая ликви-дации гидроотвала намывной массив характеризуется определенными размерами и формой, инженерно-геологическим строением (см. рис. 1); в нем развит техногенный водоносный горизонт с напорно-безнапорным режимом фильтрации. В пределах всего намывного массива протекают процессы фильтрационной консолидации, сопровождающиеся образованием и изменением избыточного порового давления, а также уплотнением и разуплотнением намывных пород.

При частичной ликвидации намывного массива происходит изменение его геометрических размеров, уменьшается мощность намывных пород и, естественно, снижается нагрузка на нижележащие породы. Процесс ликвидации носит постепенный характер и характеризуется определенной интенсивностью. До ликвидационных работ в намывном массиве сформировалось напряженное состояние с определенным поровым давлением. При высокой интенсивности ликвидационных работ, превышающей скорость рассеивания порового давления, возникают условия снижения эффективных напряжений в скелете, когда внешняя нагрузка уменьшается значительно, а поровое давление остается практически неизменным. Этот процесс называется «деконсолидация пород».

Прогноз избыточного порового давления в породах гидроотвалов обычно выполняется с использованием типовых расчетных схем, соответствующих имеющимся аналитическим решениям одномерных задач теории фильтрационной консолидации. Для условий частичного удаления намывного массива рекомендуется использовать решение «об уплотнении слоя под действием собственного веса слагающих его пород», при этом за начальные условия принимается характер распределения порового давления на момент начала вскрышных ра-

бот, мощность слоя берется с учетом ликвидационных работ; расчеты выполняются во времени в зависимости от дренажных условий (слой на водоупоре или дренаже).

Для наиболее точного прогнозирования избыточного порового давления в ликвидируемом намывном массиве следует использовать профильную (двухмерную) гидрогеомеханическую модель, базирующуюся на дифференциальном уравнении плановой фильтрации в деформируемых водонасыщенных породах. В модели дифференциальное уравнение реализуется методом конечных разностей в нелинейной постановке, т.е. используемые при моделировании гидрогеологические и инженерно-геологичес-кие характеристики изменяются в соответствии с эффективными напряжениями в породах.

Моделирование напряженно-деформированного состояния выполнялось для намывного массива гидроотвала мощностью 40 и протяженностью 1500 м, в его основании залегает слой естественных пород неоген-четвертичного возраста мощностью 10 м (рис. 4). Намывные породы представлены супесями, суглинками и глинами (см. рис. 1). Напоры воды в техногенных и естественных породах в модели принимались по данным выполненных измерений по датчикам порового давления, произведенным на различных этапах формирования массива.

На первом этапе создания гидрогеомеханической модели выполнялась ее калибрация – ретроспективный подбор основных параметров. На втором этапе производились прогнозные оценки изменения порового давления в зависимости от выбранного порядка частичной ликвидации гидроотвала. Порядок отработки массива принят при высоте уступа 10 м и годовом объеме вскрышных работ 3-5 млн м^3 в год, что соответствует скорости перемещения фронта горных работ около 1 м/сут или 350 м/год. На рисунке показаны этапы отработки.

Результаты моделирования позволяют отметить следующее:

1) наибольшее по величине избыточное поровое давление в намывном массиве формируется в начальный период отработки очередного слоя;

2) скорость рассеивания порового давления зависит от литологии и проницаемости пород: максимальная в зоне песчано-супесчаных пород, а минимальная – в глинистой зоне;

3) на конечный этап отработки гидроотвала при условии создания откоса под углом 5 град. в нем сохраняется избыточное поровое давление величиной 0, 04 МПа (рис 5), которое практически в два раза меньше полученного при использовании аналитического решения одномерной задачи фильтрационной консолидации.

Разработанные на основе гидрогеомеханических моделей рекомендации по параметрам ликвидируемого намывного массива должны реализовываться на конкретных объектах при обязательном выполнении мониторинга безопасности. Его целью является обеспечение контроля состояния намывного массива, предупреждение возникновения аварийных ситуаций и создание безопасных условий функционирования оставшейся части сооружения. Мониторинг должен обеспечивать получение качественной и достоверной информации в необходимых объемах с использованием методов и средств гидрогеомеханического, маркшейдерского и технологического контроля.

Рис 4. Схема гидрогеомеханической модели частичной ликвидации гидроотвала №3

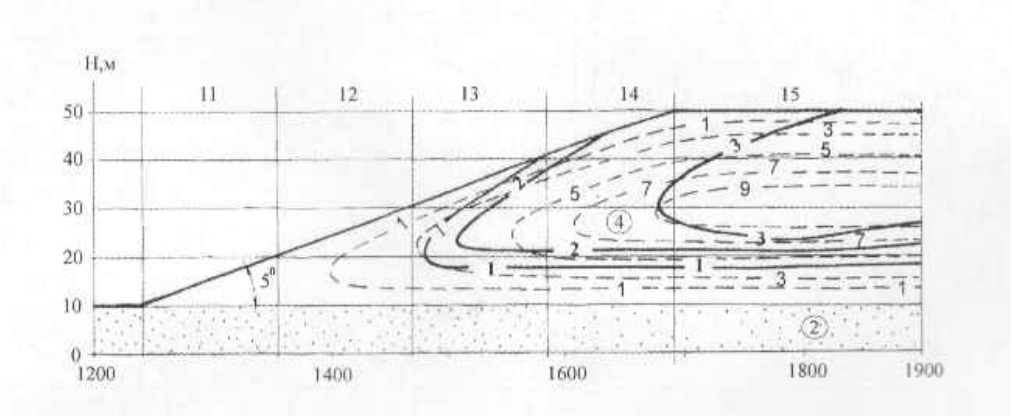

Рис. 5. Распределение избыточного порового давления в откосе выемки на участке гидроотвала №3, полученные двумерным численным моделированием (сплошная линия) и аналитическим одномерным решением (пунктир) на конец частичной ликвидации гидроотвала

Условные обозначения к рис. 4 и 5:

1 – исходная поверхность гидроотвала в момент завершения стадии «отдых»;
2 – четвертичные отложения в основании гидроотвала;
3 – контур проектируемого карьера;
4 – оставляемая часть гидроотвала;
5 – этапы разработки и время их завершения в годах;
6 – строка № 2 элементарных блоков;
7 – столбец № 12 элементарных блоков;

—— 3 —— – изолиния избыточного порового давления равного 3 м водяного столба (0,03 МПа) по результатам численного моделирования;

--- 3 ---- – то же по результатам аналитического решения.

Гидрогеомеханический контроль - система натурных исследований и наблюдений за изменением инженерно-геологических условий сооружения и управления геодинамическими и гидрогеомеханическими процессами и явлениями, развивающимися в намывном массиве. Организация и функционирование гидрогеомеханического мониторинга предполагает выполнение работ по созданию постоянно-действующих гидрогеомеханических станций с закладкой датчиков порового давления. Оценка состояния устойчивости сооружения по результатам гидрогеомеханического мониторинга осуществляется либо непосредственным расчетом на базе разработанной гидрогеомеханической модели коэффициента запаса устойчивости откосов с использованием фактически замеренных величин порового давления, либо осуществляется методом сравнения замеренных величин порового давления со значениями критериев безопасности (предельно-допустимым и критическим значением порового давления).

Разработка рекомендаций по частичной ликвидации гидроотвалов требует обоснования параметров откосов оставшихся частей сооружений и горных выработок при выполнении ликвидационных работ. Обоснование параметров намывного массива гидроотвала, не подлежащего отработке, можно осуществлять с использованием рассмотренной выше гидрогеомеханической модели объекта (рис. 4). Так, расчеты устойчивости, выполненные для условий пятиградусного откоса с использованием зависимости 3, свидетельствуют о его состоянии близком к предельному равновесию, т. е. безопасность его не обеспечивается. Для обеспечения безопасности необходимо либо уменьшить результирующий угол откоса, либо разработать мероприятия по формированию новой устойчивой конструкции откоса с использованием достаточно прочного и проницаемого материала отвалов «сухой» вскрыши. В этом случае следует использовать установленные на гидроотвале закономерности развития геодинамических и гидрогеомеханических процессов и явлений. В общем случае рекомендуется отсыпать разделительную дамбу высотой, обеспечивающей выдавливание намывных пород из-под отвала на полную их мощность и замещение их отвальными массами [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Предварительные* рекомендации по частичной отработке гидроотвала №1 разреза «Киселевский» ПО «Кемеровоуголь», Л.: ВНИМИ, 1985, -42с.

2. *Отчет* по работе 0292011000 «Разработать и внедрить рекомендации по оптимальным параметрам гидроотвалов и отвалообразованию «сухих» пород на гидроотвалах разрезов «Колмогоровский» и «Новосергеевский». Л.: Фонды ВНИМИ, 1988, - 43 с.

3. *Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Ермошкин В.В., Смурова И.А.* Технологические схемы частичной отработки гидроотвалов. Тезисы докладов к конференции «Социально-экономические и научно-техни-ческие проблемы интенсификации на открытой угледобыче Кузбасса», состоявшейся в г. Кемерово 15-16 октября 1987 г., Кемерово, 1987, с. 56-58.

4. *Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Данильченко В.Н., Подтяжкин А.В.* Инженерно-геологическое обоснование частичной отработки гидроотвалов, расположенных в приделах горных отводов разрезов. Тезисы докладов учебно-практического семинара «Гидрогеологические и инженерно-геологические проблемы при разработке угольных месторождений», состоявшегося в г. Ялта 18-23 мая 1992 года, СПб, 1992, с.11-12.

5. *Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Данильченко В.Н., Подтяжкин А.В*. Обоснование частичной отработки гидроотвала № 3 на разрезе

«Кедровский». Тезисы докладов второго учебно-практического семинара «Гидрогеологические и инженерно-геоло-гические проблемы при разработке угольных месторождений», состоявшегося в г. Ялта 30 мая-4 июня 1993 года, СПб, 1993, с. 34-36.

6. *Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А.* Техногенез намывных отложений. – М.: Наука. «Геоэкология», 2003, №5, с.405-413.

7. *Указания* по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов и отвалов на слабых основаниях. Часть I. Изучение гидрогеомеханических условий строительства эксплуатации и рекультивации отвальных сооружений. – Л.: ВНИМИ, 1989.

8. А.С. № 1465573 Способ переформирования гидроотвала. Авт. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А. и др. от 21 мая 1987 г. ГИАБ

Коротко об авторах

Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Стрельский Ф.П. – Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела, ВНИМИ, Санкт-Петербург,
Федосеев А.И. – Угольная компания «Кузбассразрезуголь», Кемерово, Россия.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 1 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.М. Гальперин.*

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «БУРОВАЯ ТЕХНИКА» — ВНИИБТ»			
БЛИНКОВ Олег Геннадьевич	Пути повышения эффективности работы буровых шарошечных долот	25.00.15	д.т.н.