На правах рукописи

ВОРОНИН АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ОСУШЕНИЯ БОРТОВ КАРЬЕРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДРЕНАЖНЫХ СКВАЖИН

Специальность 25.00.16 – **«Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (БелГУ)

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор,
Сергеев Сергей Валентинович,

Официальные оппоненты:
Кутепова Надежда Андреевна,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник Научный центр геомеханики и проблем горного производства Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,

Атрощенко Федор Григорьевич, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий гидрогеолог ООО «ГЕОСТРОЙПРОЕКТ»

Ведущая организация:
ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО)
(МО, пос.Зеленый)

Защита диссертации состоится «___» _____ 2016 г. в ___ часов на заседании диссертационного совета Д 212.132.10 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по адресу: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке НИТУ «МИСиС» и на сайте www.misis.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета С.А. Эпштейн

Общая характеристика работы

Актуальность работы. На сегодняшний день многие разведанные приповерхностные необводненные месторождения практически отработаны, а эксплуатируемые и перспективные месторождения, как правило, характеризуются сложными гидрогеологическими условиями, что требует применения эффективных методов защиты горных выработок от подземных вод.

Для защиты бортов карьеров от обводнения широко применяются различные способы осушения, в том числе с помощью горизонтальных дренажных скважин, которые сооружают у подошвы водоносного горизонта нормально или под некоторым углом к линии простирания борта карьера. Существенным недостатком указанного способа осушения остается «проскок» подземных вод к борту карьера, который может достигать 40% от общего водопритока и серьезно осложняет ведение открытых горных работ. С непрерывным ростом глубин залегания и отработки полезных ископаемых указанная проблема еще более обостряется.

В связи с широким распространением в мировой и отечественной практике установок горизонтального направленного бурения открылись новые возможности для построения более совершенных и эффективных способов осушения бортов карьеров.

По указанным причинам научное обоснование и разработка новых эффективных способов защиты бортов карьеров от негативного влияния подземных вод с помощью горизонтальных скважин является актуальной задачей.

Цель диссертационной работы – гидрогеологическое обоснование и разработка способов осушения бортов карьеров с применением горизонтальных дренажных скважин для обеспечения отработки обводненных месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Идея работы состоит в использовании полученных параметров дренажной эффективности горизонтальных скважин при различных условиях

обводненного пласта и схемах их заложения для разработки эффективных способов осушения бортов карьеров.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Использование горизонтальных дренажных скважин в виде единого замкнутого контура минимизирует «проскок» подземных вод к бортам карьеров за счет устранения влияния дискретности размещения дренажных устройств в водоносном горизонте.

2. Сооружение узла из 5-ти горизонтальных скважин с углом между смежными дренами в интервале 25-30° обеспечивает наибольшую эффективность осушения мощных и проницаемых пластов, позволяя достичь наилучшего соотношения между дренажным эффектом и соответствующими экономическими затратами.

3. Проходка не менее двух параллельных продольных горизонтальных скважин с расстоянием между ними не более одной экскаваторной заходки обеспечивает при разрушении одной скважины сохранность второй и перехват потока подземных вод в защищаемой зоне прибортового массива.

Обоснованность и достоверность положений, выводов и рекомендаций подтверждаются представительным объемом экспериментальных исследований, дренажных работ в натурных промышленных условиях, использованием в исследованиях стандартных и апробированных методик фильтрационных расчетов, высокой сходимостью результатов прогнозных и натурных экспериментов по дренированию прибортового массива.

Методы исследований, использованные в диссертационной работе: натурный эксперимент, стандартные методы замера дебита горизонтальных скважин, анализ результатов натурных наблюдений, аналитические методы фильтрационных расчетов, а также современные методы математического моделирования гидродинамических задач с применением компьютерных технологий.

Научная новизна работы:

- доказано, что по мере уменьшения угла заложения горизонтальной скважины относительно линии простирания борта карьера приток к ней приближается к максимальному значению, при этом увеличение дебита скважины происходит за счет снижения «проскока»;

- установлена взаимосвязь между количеством горизонтальных скважин в дренажном узле и эффектом осушения обводненных пластов с определенными фильтрационными параметрами;

- определены закономерности функционирования горизонтальных дренажных скважин во времени с момента ввода их в эксплуатацию;

- выполнено теоретическое обоснование длины горизонтальных скважин многоярусного дренажа для массива трещиноватых пород, характеризующихся экспоненциальным затуханием водопроницаемости с глубиной.

Практическое значение и реализация результатов работы. На основе выполненных автором исследований разработаны:

– способ осушения бортов карьеров с помощью многозабойных горизонтальных дренажных скважин в виде единого замкнутого контура, который минимизирует «проскок» подземных вод к бортам карьеров за счет устранения влияния дискретности размещения дренажных устройств в водоносном горизонте;

– способ осушения бортов карьеров с помощью продольных горизонтальных дренажных скважин, сооружаемых каскадом параллельно друг другу и осушаемому борту, реализация которого предусматривается с помощью современной техники и технологии горизонтального направленного бурения;

– методика определения длины горизонтальных скважин многоярусного дренажа для осушения массива горных пород, характеризующихся закономерным затуханием водопроницаемости с глубиной.

Способ осушения бортов карьеров с помощью многозабойных горизонтальных дренажных скважин использован при разработке проектно-сметной документации системы осушения Адамовского карьера известняков.

Оптимальные параметры дренажного узла, полученные в результате выполненных исследований, использованы при разработке системы осушения Бородинского угольного разреза с помощью горизонтальных скважин.

Полученные с помощью моделирования закономерности изменения водопритока к горизонтальным скважинам и снижения уровня подземных вод в зависимости от параметров обводненной толщи и схемы осушения могут использоваться при обосновании и разработке систем осушения месторождений полезных ископаемых.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались и обсуждались на XI Международном симпозиуме «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях» (Белгород, 2011), на XV Международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности» (Кемерово, 2013), на научно-технических советах предприятий ОАО «Евроазиатская Энергетическая Корпорация», ОАО «СУЭК», ОАО «Первая цементная компания», XXIV Международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2016», представлены на Всероссийский конкурс «Инженер года - 2012» и «Инженер года - 2015», где в номинации «Горная промышленность и подземное строительство» автор отмечен, соответственно, дипломом победителя первого тура конкурса «Инженерное искусство молодых» и Лауреата конкурса по версии «Профессиональные инженеры», на семинарах кафедры «Прикладная геология и горное дело» БелГУ (2012-2016 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, в том числе 2 статьи в журналах, входящих в Перечень ВАК Минобрнауки России, получен один патент на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 46 рисунков, 6 таблиц и список литературы из 80 наименований.

Основное содержание работы

В **первой главе** приведен обзор и анализ существующих технологий горизонтального дренажа, применяемого в различных сферах антропогенной деятельности. Описаны преимущества горизонтальных дренажных устройств перед вертикальными, основными из которых является бóльшая водозахватывающая способность и возможность их применения для перехвата потоков подземных вод незначительной мощности, при осушении слабопроницаемых пород и слоистых массивов, надежность и долговечность, а также пониженная энергоемкость в процессе эксплуатации.

Выполненный аналитический обзор современного применения горизонтальных дренажей позволил отметить следующее:

– горизонтальные дренажные скважины имеют значительные преимущества перед классическими дренажными устройствами вертикального типа;

– вместе с тем, способы осушения месторождений полезных ископаемых с применением горизонтальных дренажных скважин имеют недостатки, связанные с возникновением условий для «проскока» подземных вод через дренажный контур;

– в относительно простых гидрогеологических условиях горизонтальные дренажные скважины применяются как основные дренажные устройства для осушения месторождений полезных ископаемых;

– горизонтальные дренажные скважины имеют большие перспективы их применения при осушении месторождений полезных ископаемых.

Анализ современного состояния рассматриваемой области знаний, а также приведенная выше цель диссертационной работы позволяют сформулировать следующие основные задачи исследования:

– выполнить оценку влияния угла заложения горизонтальных скважин относительно линии простирания борта карьера, а также угла между смежными скважинами в дренажном узле с учетом степени их взаимодействия друг с другом;

– определить дренажную эффективность различных схем осушения с помощью горизонтальных дренажных скважин для различных гидрогеологических параметров обводненной толщи с учетом экономической целесообразности сооружения дренажного узла;

– исследовать возможности совершенствования известных способов осушения с целью создания замкнутого дренажного контура и минимизации «проскока» подземных вод к бортам карьера;

– разработать способ осушения прибортового массива карьера с использованием возможностей современной техники и технологии горизонтального направленного бурения;

– разработать способ осушения с применением многозабойных горизонтальных дренажных скважин для создания замкнутого дренажного контура, минимизирующий «проскок» подземных вод;

– выполнить исследования для обоснования способа многоярусного дренажа с помощью горизонтальных скважин, для осушения массивов горных пород, характеризующихся закономерным затуханием водопроницаемости с глубиной.

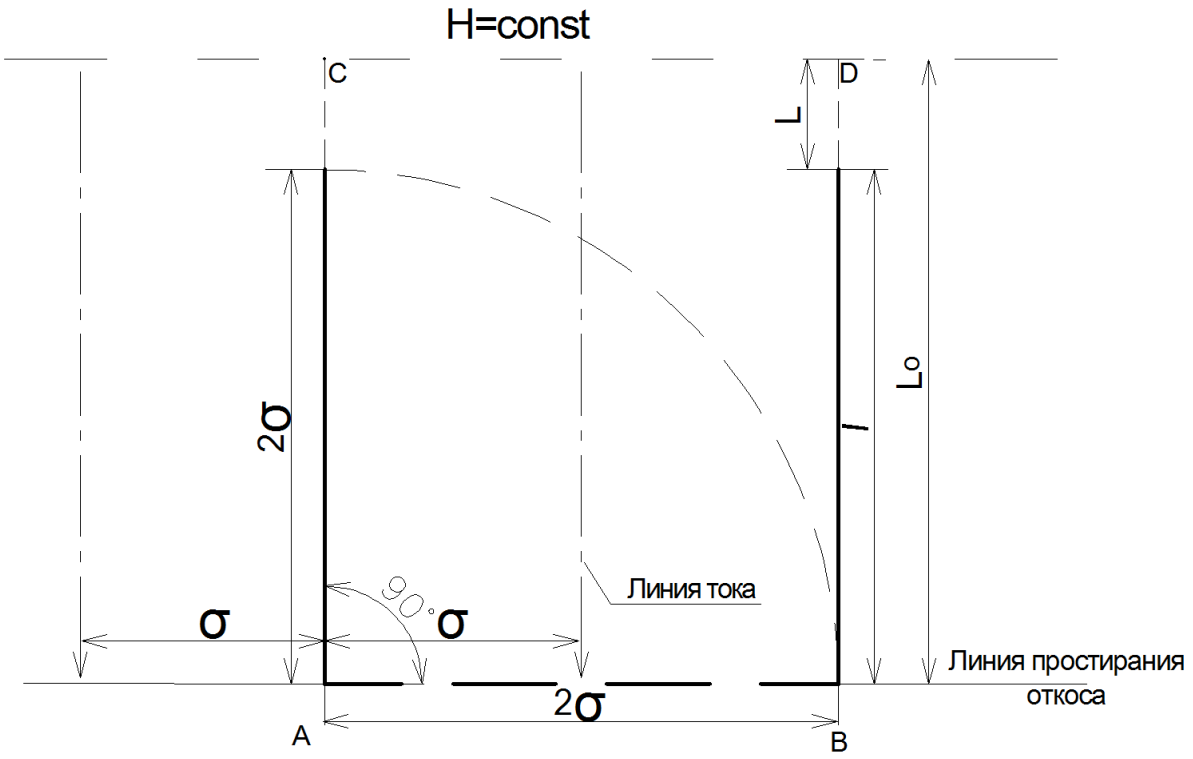
Основными предпосылками для решения поставленных задач явились результаты теоретических и экспериментальных исследований в области защиты горных выработок от подземных вод при отработке месторождений полезных ископаемых, полученные в разные годы такими учеными как Абрамов С.К., Альтовский М.Е., Анпилов В.Е., Ампилогов И.Ф., Аравин В.И., Бабушкин В.Д., Боревский Б.В., Бочевер Ф.М., Веригин Н.Н., Волков Ю.И., Вопилкин А.А., Воронцов В.И., Гальперин А.М., Климентов П.П., Кравчук С.В., Мироненко В.А., Норватов Ю.А., Писанец Е.П., Плотников Н.А., Полубаринова-Кочина П.Я., Пономаренко Ю.В., Разумов Г.А., Трубецкой К.Н., Чуйко В.М., Шабер Г.Б., Шестаков В.М., и др.

Во **второй главе** приведены результаты разработки способов осушения открытых горных выработок.

Исследования способов снижения «проскока» подземных вод к бортам

карьеров выполнялись в двух направлениях. Одно из них включало изучение влияния угла заложения горизонтальных скважин к линии простирания борта карьера, в том числе, для узловой схемы заложения скважин. Второе направление состояло в разработке способов осушения с помощью горизонтальных скважин с целью создания замкнутого дренажного контура и минимизации «проскока» подземных вод.

Оценка влияния угла заложения горизонтальных скважин к линии простирания борта карьера решалась аналитическим способом, посредством рассмотрения двух схем фильтрации (рис.1).



AC и BD – направления бурения горизонтальных дренажных скважин нормально линии простирания борта карьера; AB – горизонтальная дренажная скважина, совмещенная с линией простирания борта; H – постоянный напор подземных вод на контуре питания; σ – половина расстояния между горизонтальными дренажными скважинами; *l* – длина горизонтальной скважины; L – расстояние от забоя скважины до контура питания; L_0 – расстояние от основания откоса до контура питания.

Рисунок 1 - Схемы заложения горизонтальных дренажных скважин

При построении расчетных схем выделялся гидродинамически независимый фрагмент, ограниченный по простиранию бортом карьера и линией контура питания, находящейся на расстоянии радиуса влияния от забоев горизонтальных скважин. По ширине фрагмент был ограничен линиями

тока, расположенными посредине между смежными скважинами и самой скважиной. Горизонтальные скважины длиной 2σ располагались на расстоянии одна от другой также на расстоянии 2σ. Первая расчетная схема по существу соответствовала известной применяемой схеме дренажа. Вторая расчетная схема была получена путем поворота горизонтальной скважины вокруг вертикальной оси на 90° (в плоскости водоупорной подошвы осушаемого пласта) и совмещения ее с линией простирания борта карьера. Далее скважина, совмещенная с линией простирания откоса, заменялась гидродинамически совершенной эквивалентной дреной, что вполне допустимо, поскольку горизонтальные дренажные скважины размещают у подошвы дренируемого горизонта. Выполненная замена позволила использовать аналитическое решение для установившегося притока подземных вод к горизонтальной дрене, полностью пересекающей подземный плоскопараллельный поток в границах выделенного фрагмента.

Односторонний приток к эквивалентной дрене вычислялся по формуле:

$$Q = 2k\sigma \frac{H_0^2 - h_1^2}{2L} \quad (1),$$

где k – коэффициент фильтрации, м/сут;

H_0 – глубина потока на контуре питания, м;

L – расстояние от забоя скважины до контура питания, м;

σ - половина расстояния между горизонтальными скважинами, м;

h_1 – допустимая высота участка высачивания.

Приток к одной взаимодействующей скважине определяется по зависимости:

$$Q_c = kC(h_l^2 + h_1^2) \quad (2),$$

где h_l – глубина потока между горизонтальными скважинами, определяемая как

$$h_l = \sqrt{\frac{H_0^2 + \frac{L}{\sigma} N h_1^2}{\frac{L}{\sigma} M + 1}} \quad (3),$$

а C, N, M – коэффициенты, зависящие от отношения l/σ.

Расчетами подтверждено, что по мере уменьшения угла заложения горизонтальной скважины приток к ней приближается к максимальному значению, равному притоку к эквивалентной дрене. При этом увеличение дебита скважины происходит за счет снижения «проскока», то есть сооружение горизонтальных дренажных скважин под углом к линии простирания откоса является эффективным способом снижения «проскока» подземных вод к борту карьера. При решении практических задач рекомендуется горизонтальные дренажные скважины задавать под углом 50°-60° к линии простирания откоса, располагая их с перекрытием, смещая их устья от проекции забоя предыдущей скважины (точки В) в сторону ее устья (точки А) примерно на 1/3 расстояния между ними, как это показано на рис. 2.

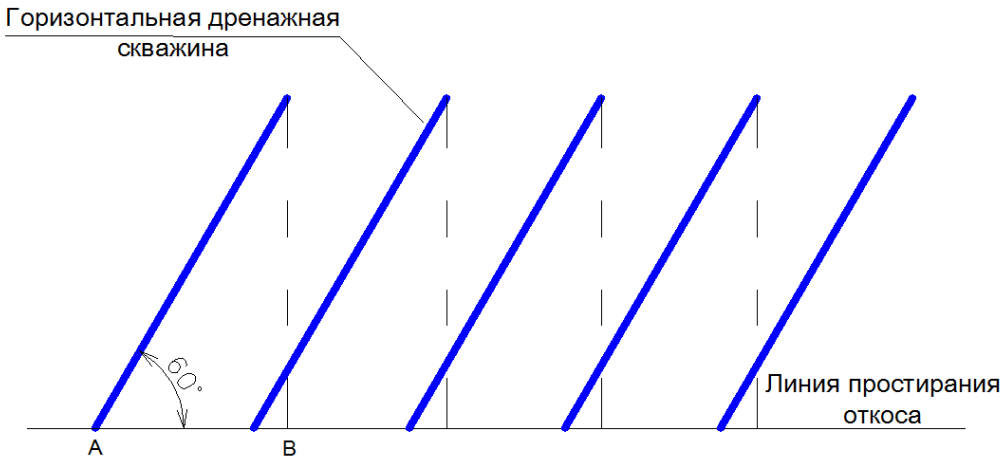
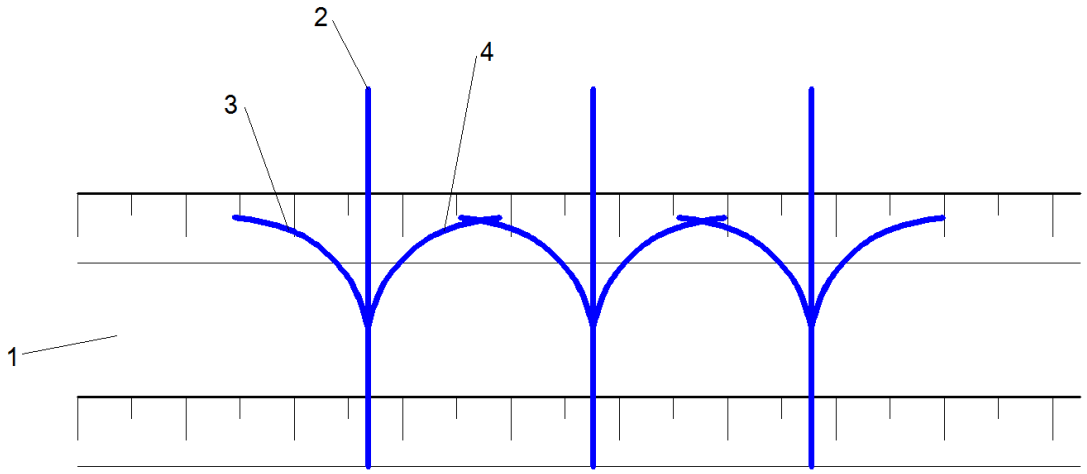


Рисунок 2 - Схема расположения горизонтальных дренажных скважин под углом к линии простирания откоса

Для решения задачи создания замкнутого дренажного контура с целью минимизации «проскока» подземных вод к бортам карьеров разработан способ осушения с применением многозабойных горизонтальных дренажных скважин (рис. 3).

Способ защиты карьера от притока подземных вод предлагается осуществлять следующим образом. На первом этапе нормально борту карьера с уступа на расчётную (проектную) глубину сооружают основные

горизонтальные дренажные скважины. Из основных горизонтальных дренажных скважин сооружают дополнительные боковые горизонтальные дренажные скважины - правосторонние и левосторонние. Дополнительные боковые скважины проходят до их взаимного пересечения и образования замкнутого дренажного контура. Все скважины сооружаются у подошвы дренируемого водоносного горизонта. Новизна предлагаемого технического решения подтверждена патентом.



1 – уступ карьера; 2 – основная горизонтальная дренажная скважина; 3 – левосторонняя дополнительная горизонтальная дренажная скважина; 4 – правосторонняя дополнительная горизонтальная дренажная скважина.

Рисунок 3 - Схема осушения с применением многозабойных горизонтальных дренажных скважин

В результате выполненных с применением компьютерного моделирования исследований дренажной эффективности горизонтальных скважин в различных гидрогеологических условиях обводненной толщи, влияния угла заложения горизонтальных скважин в узле с учетом степени их взаимодействия друг с другом, а также экономической целесообразности сооружения дренажного узла с заданным количеством скважин определено, что оптимальная конфигурация дренажного узла представляет собой веер из 5 горизонтальных скважин, ориентированных в сторону осушаемого борта. Оптимальный угол между скважинами, при котором выполняется условие их эффективной работы и максимального водоотбора с учетом взаимного влияния смежных скважин одной на другую, находится в диапазоне 25-30°. Результаты

выполненных исследований по определению оптимальных параметров дренажного куста нашли практическую реализацию при разработке системы осушения Бородинского угольного разреза с помощью горизонтальных скважин (рис. 4).

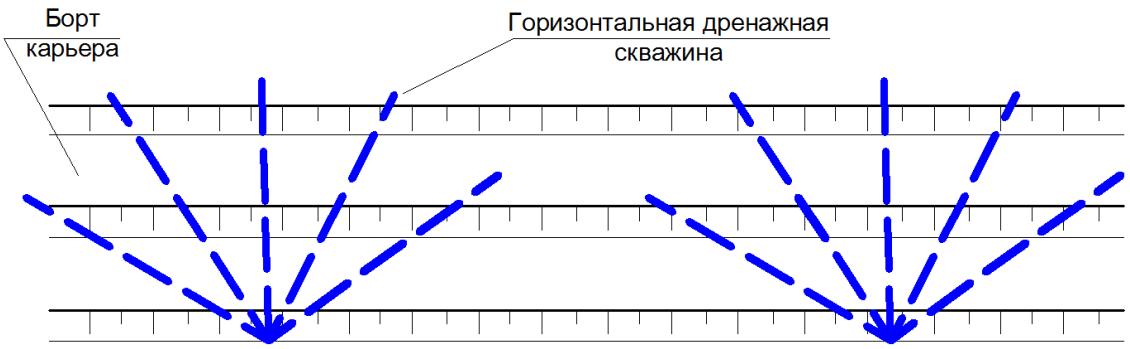
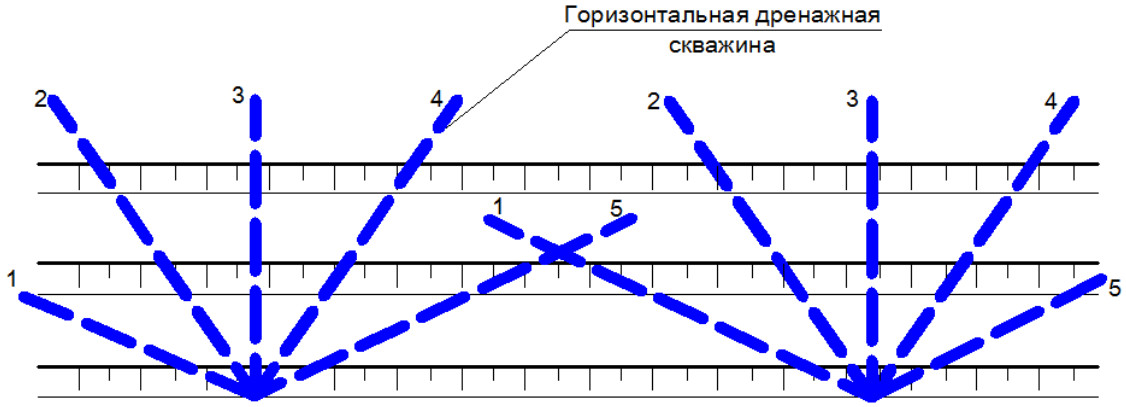


Рисунок 4 - Принципиальная схема системы осушения с помощью горизонтальных дренажных скважин на Бородинском угольном разрезе.

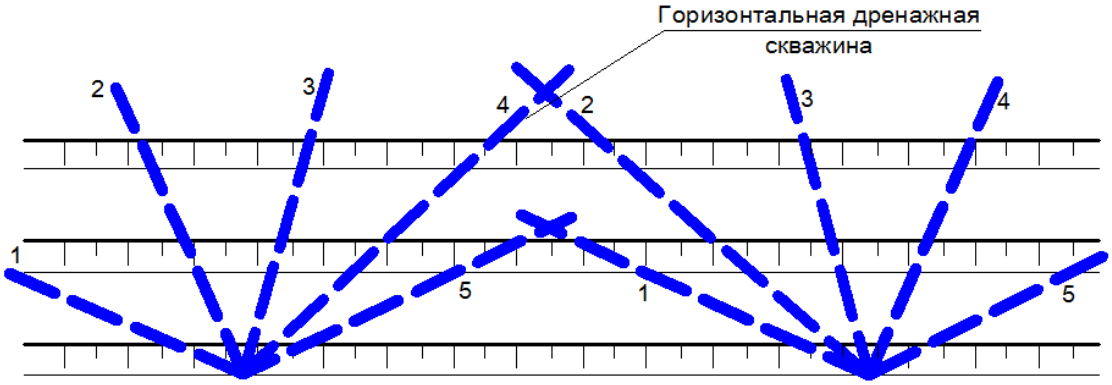
Для предотвращения «проскока» подземных вод к бортам карьеров усовершенствована существующая схема осушения с узловым расположением горизонтальных дренажных скважин. На основе результатов выполненных исследований разработана схема узлового дренажа, базирующаяся на создании вдоль осушаемого борта замкнутой дренажной системы. С этой целью предлагается боковые скважины 1 и 5 удлинять до пересечения с аналогичными скважинами смежных дренажных кустов (рис. 5).



1-5 – номера горизонтальных дренажных скважин в кусте.

Рисунок 5 - Кустовое расположение горизонтальных дренажных скважин с пересечением боковых скважин смежных кустов

При значительной мощности дренируемого горизонта и недостаточном дренажном эффекте рекомендуется создавать второй замкнутый дренажный контур путем увеличения протяженности двух боковых горизонтальных скважин куста 2 и 4 до их взаимного пересечения со скважинами смежного дренажного куста (рис. 6)



1-5– номера горизонтальных дренажных скважин в кусте.

Рисунок 6 - Кустовое расположение горизонтальных дренажных скважин с пересечением двух боковых скважин смежных кустов

Исследования, направленные на создание замкнутого дренажного контура, завершились разработкой нового способа осушения бортов карьеров с помощью продольных горизонтальных дренажных скважин, сооружаемых каскадом вдоль защищаемого борта. Суть разработанного решения заключается в проходке вдоль линии простирания борта карьера каскада параллельных продольных дренажных скважин у подошвы дренируемого водоносного горизонта. Забуривание скважины осуществляется под некоторым углом к откосу; затем, при достижении заданной глубины, скважина меняет направление и бурение выполняется параллельно борту, а начальный участок используется для отведения дренажной воды.

Новизна технического решения заключается в сооружении не менее двух параллельных продольных скважин с шириной между ними не более одной экскаваторной заходки, чтобы при разносе бортов разрушалась только одна продольная скважина за одну проходку. В этом случае, при разрушении одной скважины, вторая сохраняется и обеспечивает выполнение водозащитной функции (рис. 7).

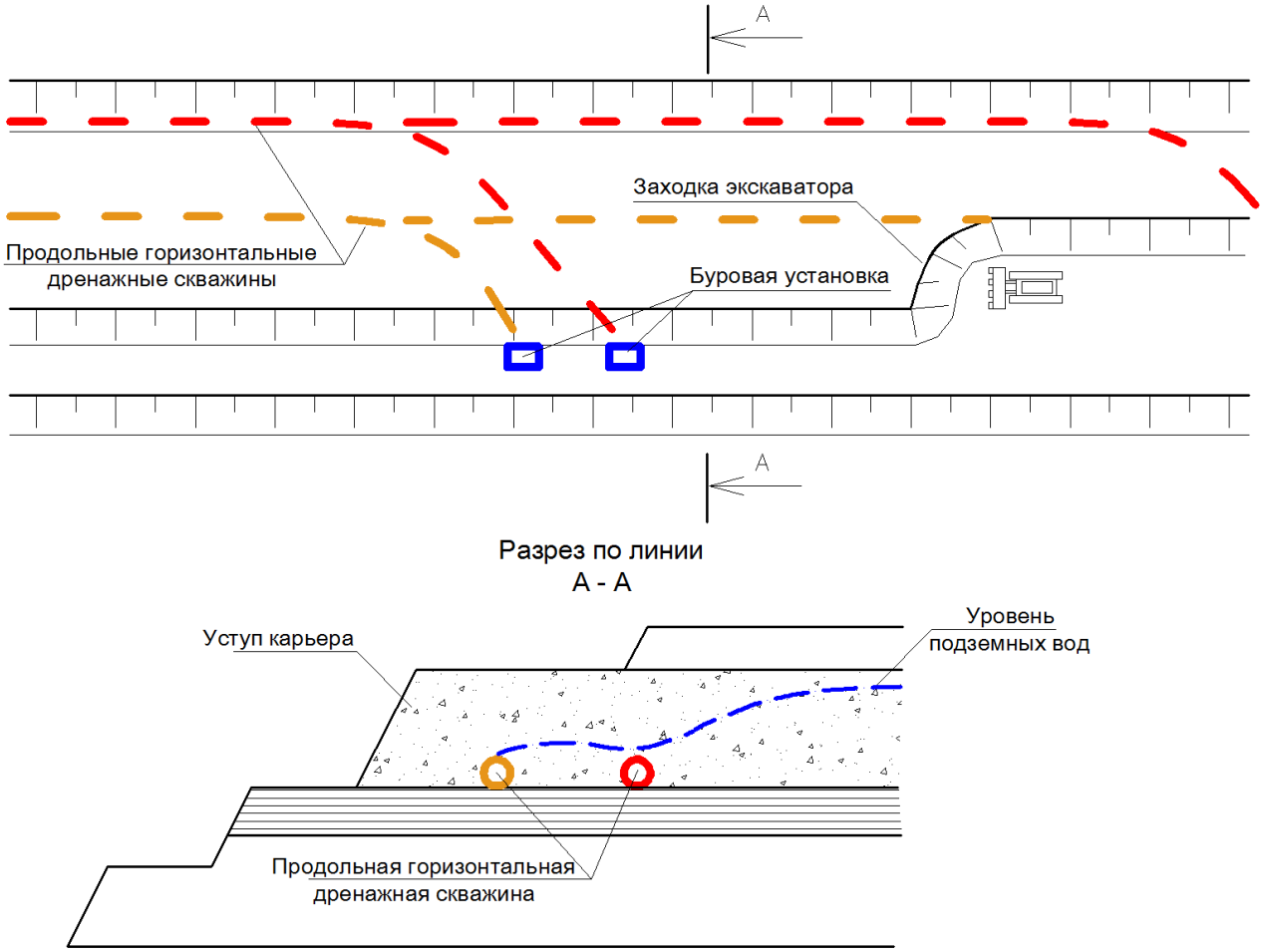


Рисунок 7 - Схема осушения с помощью продольных горизонтальных дренажных скважин.

Для бурения продольных горизонтальных дренажных скважин применяются установки горизонтального направленного бурения.

Решение задачи осушения трещиноватого массива горных пород стало возможным с помощью способа многоярусного дренажа горизонтальными скважинами, при этом параметры дренажа, длина скважин, размещаемых в каждом слое, и их количество определяются по разработанной методике, учитывающей фильтрационные особенности трещиноватого массива.

Для достижения равновеликих осушенных зон по глубине необходимо длину горизонтальных скважин назначать с учетом зависимости водопроницаемости пород от вертикальной координаты. Для этого, учитывая обратно пропорциональную связь длины горизонтальных скважин с коэффициентом фильтрации k(z) (рис. 8), кривую 1, описывающую изменение

водопроницаемости в разрезе пласта, надлежит обернуть на 180^0 вокруг горизонтальной оси, проведенной через середину пласта мощностью m (точка (z = m/2) и получить кривую 2.

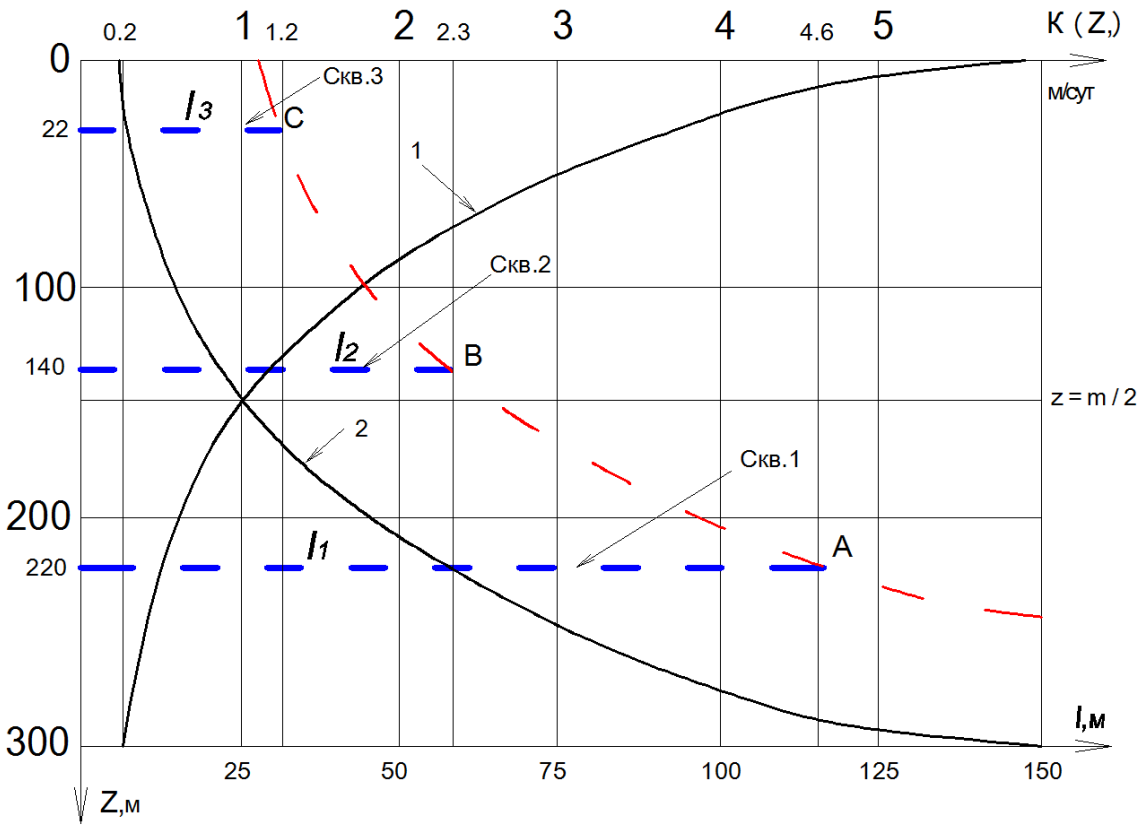


Рисунок 8 - Кривая для определения длины горизонтальных скважин

После этого устанавливается длина горизонтальной скважины в нижнем слое пласта (скв.1), которая определяется проектными данными. Для назначения длины горизонтальных скважин на верхних ярусах (скв.2-3) кривую 2 перемещают вдоль горизонтальной оси (z = m/2) до пересечения с забоем скважины 1 (точка А). Длина горизонтальных скважин выше расположенных ярусов ограничивается перемещенной кривой 2 (точки В и С).

В **третьей главе** работы освещаются сложности при гидродинамическом обосновании систем осушения месторождений полезных ископаемых и современные методы решения этих проблем с помощью компьютерного моделирования и современных программных комплексов. Исследуются результаты гидродинамического обоснования разработанных способов осушения бортов карьеров.

Для рассмотренных в работе способов осушения пространственный характер фильтрационного потока не позволяет преодолеть математические трудности и получить строгие аналитические решения, поэтому целесообразно применять методы компьютерного математического моделирования.

Моделирование выполнено с использованием лицензионной программы GMS - Groundwater Modeling System, которая позволяет относительно быстро и с высокой степенью точности создавать реалистичные трехмерные модели фильтрации подземных вод и решать задачи по проектированию систем осушения практически для любых гидрогеологических и горнотехнических условий отработки месторождения. Для исследования эффективности предлагаемых способов осушения использовался модуль GMS программа Modflow. Дифференциальное уравнение для трехмерного движения подземных вод, используемое в Modflow, записывается как:

$$\frac{\partial}{\partial x}(Kx\ \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(Ky\ \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(Kz\ \frac{\partial h}{\partial z}) \pm W = \eta\ \frac{\partial h}{\partial t},$$

где K_x, K_y, K_z - коэффициенты фильтрации пород по координатным осям x, y, z, м/сут;

h - уровень (или напор) подземных вод, м;

W - расход, приведенный к единице объема и представляющий внешние источники поступления или отбора воды, 1/сут;

η - коэффициент упругоемкости породы, 1/м;

t - время, сут.

Исследование эффективности схем дренажных устройств в различных гидрогеологических условиях выполнено для условий однородного неограниченного безнапорного пласта.

В работе выполнялись исследования влияния угла заложения горизонтальных скважин относительно линии простирания борта карьера, многовариантное прогнозное моделирование количества скважин в узле с учетом их степени взаимодействия друг с другом с целью поиска оптимального

варианта расположения скважин, а также экономической целесообразности сооружения дренажного узла.

Анализ выполненных исследований позволил выявить следующие закономерности:

1) снижение уровня подземных вод пропорционально коэффициенту фильтрации обводненных пород; по мере увеличения коэффициента фильтрации обводненной толщи удается добиться более полного снижения уровня подземных вод;

2) при увеличении дренажных скважин в кусте повышается эффективность дренажа, особенно в мощных обводненных толщах.

В результате выполненных исследований определено, что оптимальная конфигурация дренажного узла представляет собой веер из 5 горизонтальных скважин, ориентированных в сторону осушаемого борта. Оптимальный угол между скважинами, при котором выполняется условие их эффективной работы и максимального водоотбора в условиях взаимного влияния смежных скважин одной на другую, находится в диапазоне 25-30°.

Уменьшение количества скважин создает условия для дополнительного «проскока» подземных вод в горную выработку и показывает меньшее снижение уровня подземных вод в условиях мощной (m=10 м) и хорошо проницаемой обводнённой толщи (Кф=5м/сут). Увеличение количества скважин в узле делает дренажную схему экономически нецелесообразной.

При вводе дренажного узла в эксплуатацию притоки будут иметь максимальные значения, что представляет практический интерес для установления мощности насосной станции и предотвращения переполнения водосборника. В последующем притоки по мере приближения к установившимся значениям будут снижаться, что можно будет использовать для описания режима работы дренажного устройства.

Результаты выполненных исследований явились основой для обоснования и разработки способа осушения угольных пластов на Бородинском угольном разрезе.

В работе выполнены сравнительные гидродинамические расчеты схем осушения с узловым расположением горизонтальных дренажных скважин и ее усовершенствованного варианта с замкнутым дренажным контуром.

После анализа полученных результатов сделаны выводы:

1) на начальном периоде, при сооружении узлов скважин, разница в эффективности схем минимальна и составляет 6-8 % при расстоянии между кустами соответственно 250 и 150 м;

2) по мере сработки статических запасов подземных вод при реализации усовершенствованной схемы осушения с узловым расположением горизонтальных дренажных скважин «проскок» подземных вод в карьер существенно снижается; через два месяца работы скважин «проскок» снижается на 58-61 % и со временем степень перехвата потока подземных вод увеличивается;

3) схема осушения с узловым расположением дренажных узлов, а также с пересечением боковых скважин смежных кустов по результатам расчетов показала высокую эффективность в части перехвата потока подземных вод, направленного к бортам карьера.

На основании выполненных исследований можно сделать вывод, что компьютерное геофильтрационное моделирование систем осушения месторождений полезных ископаемых, состоящих из нескольких контуров и большого количества дренажных устройств различных типов, в сложных природных и техногенных условиях позволяет обосновать оптимальную структуру и технологические параметры дренажной системы за счет всестороннего учета влияющих факторов.

В **четвертой главе** описывается опыт и анализируются результаты внедрения предлагаемых способов при защите от обводнения открытых горных выработок, перспективы их применения и рекомендации по практическому использованию.

Практическую применимость способ осушения с применением многозабойных дренажных скважин нашел при разработке системы осушения

Адамовского месторождения строительных известняков в Калужской области. Применение многозабойных скважин позволяет решить поставленную задачу по снижению «проскока» подземных вод к бортам до 5-10 %.

Полученная в результате исследований оптимальная конфигурация дренажного узла использована при разработке системы осушения Бородинского угольного разреза, где применяется система осушения с бурением узлов горизонтальных дренажных скважин с рабочих уступов непосредственно в основание угольных пластов из выемок в подошве водоносного горизонта. В настоящее время разрез полностью перешел на осушение угольных пластов с помощью горизонтальных дренажных скважин. Показатель общей влаги угля в 2012 г. по сравнению с 2008 г. (начало внедрения) уменьшился по пласту «Бородинский-I» на 0,4 %, по пласту «Бородинский-II» - на 0,1 % и по пластам «Рыбинский - I, II» - на 0,2 %. Внедрение дренажных горизонтальных скважин по пласту «Рыбинский-II» позволило снять проблему обводненности нижней части пласта мощностью 1,5-2,0 м. Расчетный экономический эффект от перехода с подземного способа осушения на систему осушения с помощью горизонтальных дренажных скважин составляет около 635 млн. рублей.

Новый способ осушения прибортового массива продольными горизонтальными дренажными скважинами, пробуренными с применением техники и технологии горизонтального направленного бурения, представляет практический интерес для защиты горных выработок от подземных вод в горнотехнических условиях практически любой сложности. В связи с широким распространением буровых установок горизонтального направленного бурения открываются новые возможности для построения более совершенных и эффективных специальных способов и схем осушения бортов карьеров.

Создание замкнутого дренажного контура путем совершенствования схемы осушения с помощью узлового размещения горизонтальных скважин может быть применено при корректировке проектных решений по осушению Бородинского угольного разреза.

В зависимости от сложности гидрогеологических условий отрабатываемого месторождения применение разработанных способов осушения возможно как в качестве вспомогательного, так и в качестве основного способа дренажа горных пород.

Полученные в процессе выполнения диссертационной работы результаты позволяют определить параметры комплексных систем осушения, обеспечить необходимый уровень и равномерность осушения трещиноватых массивов горных пород.

Заключение

В диссертации, представляющей собой научно-квалификационную работу, на основе выполненных автором экспериментальных и теоретических исследований решена актуальная задача научного обоснования и разработки новых эффективных способов защиты бортов карьеров от негативного влияния подземных вод с помощью горизонтальных скважин, что имеет существенное значение для горнорудной отрасли Российской Федерации.

Лично автором получены следующие результаты и выводы:

1. Разработан способ осушения с применением многозабойных горизонтальных дренажных скважин для создания замкнутого дренажного контура, позволяющий снизить «проскок» подземных вод в горную выработку за счет устранения влияния дискретности размещения дренажных устройств в водоносном горизонте (использован при разработке проектно-сметной документации системы осушения Адамовского карьера известняков).

2. Получены закономерности изменения водопритока к горизонтальным скважинам и снижения уровня подземных вод в зависимости от параметров обводненной толщи и схемы осушения.

3. Определена оптимальная конфигурация дренажного узла для осушения мощных и проницаемых пластов, которая состоит из 5-ти горизонтальных скважин с углом между смежными дренами в интервале 25-30° (использована при разработке системы осушения Бородинского угольного разреза с помощью горизонтальных скважин); полученная схема может стать основой для создания

замкнутого дренажного контура путем соединения боковых горизонтальных скважин смежных узлов.

4. Разработан способ осушения прибортового массива карьера продольными горизонтальными дренажными скважинами, которые сооружаются каскадом параллельно друг другу и осушаемому борту. Новизна технического решения заключается в сооружении не менее двух параллельных продольных скважин с шириной между ними не более одной экскаваторной заходки, чтобы при разносе бортов разрушалась только одна продольная скважина за одну проходку, при этом вторая сохраняется и обеспечивает выполнение водозащитной функции.

5. Предложен и теоретически обоснован способ многоярусного дренажа с помощью горизонтальных скважин для осушения массивов горных пород, характеризующихся закономерным затуханием водопроницаемости с глубиной.

6. Показано, что при разработке систем осушения месторождений полезных ископаемых, состоящих из нескольких контуров и большого количества дренажных устройств различных типов, в сложных природных и техногенных условиях целесообразно применять методы компьютерного математического моделирования для обоснования оптимального варианта способа осушения и минимизации затрат на его реализацию.

7. Выполненные расчеты с применением методов компьютерного моделирования показали, что применение способа осушения с помощью многозабойных дренажных скважин при осушении обводненных пластов Адамовского месторождения строительных известняков позволяет снизить «проскок» подземных вод в карьер до 200 $м^3$/ч, что составит около 10% от общего водопритока в горные выработки. Формирование «проскока» происходит за счет неровностей гипсометрической поверхности водоупорной подошвы дренируемого горизонта.

8. Внедрение способа осушения с полученными в результате исследований оптимальными параметрами узлов горизонтальных дренажных скважин позволило добиться следующих результатов: показатель общей влаги

угля уменьшился по пласту «Бородинский-I» на 0,4 %, по пласту «Бородинский-II» - на 0,1 % и по пластам «Рыбинский - I, II» - на 0,2 %, по пласту «Рыбинский-II» снята проблема обводненности нижней части пласта мощностью 1,5-2,0 м.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих печатных работах:

1. Воронин, А.А. Об эффективности горизонтальных дренажных скважин при осушении бортов карьеров / А.А.Воронин, Ю.В.Пономаренко // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. – 2011. – Вып.17, № 21 (116). – С.179-182.

2. Воронин, А.А. Применение лучевых дренажей для осушения неоднородных в разрезе толщ горных пород / А.А.Воронин, Ю.В.Пономаренко // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. – 2013. – Вып.25, № 24 (167). – С.162-168.

3. Патент 2531913 Российская Федерация, МПК51 E 02 B 11/00, E 02 B 3/16, E 02 D 19/00, E 02 D 31/02. Способ защиты карьера от притока подземных вод / А.А.Воронин, Ю.В.Пономаренко, А.Я.Приходько; заявитель и патентообладатель А.А.Воронин. – № 2012151797/13; заявл. 03.12.2012; опубл. 27.10.2014, Бюл. № 30. – 6 с.: ил.

4. Воронин, А.А. Перспективы осушения Бородинского углеразреза горизонтальными дренажными скважинами. / Ю.И.Волков, А.А.Воронин, А.А.Изотов, М.В.Ряжских, Г.Б.Шабер, Н.И.Лалетин, А.Т. Радченко, Т.В .Попова // Материалы IX Международного симпозиума «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях». – Белгород. – 2007. – С. 28-35.

5. Воронин, А.А. Опыт внедрения системы осушения угольных пластов с применением энергосберегающих технологий на Бородинском угольном разрезе. / А.А.Воронин, А.А.Изотов, А.Т.Радченко, Т.В.Попова // Материалы XI Международного симпозиума «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях». – Белгород. – 2011. – С. 54-61.

6. Воронин, А.А. Специальные буровые станки конструкции «ВИОГЕМ»

- надежная техника для сооружения дренажных систем на горнорудных предприятиях / Ю.И.Волков, А.А.Изотов, А.А.Воронин // Рудник будущего (научно-технический журнал). – 2011. – №4. – С. 84–86.

7. Опыт применения горизонтальных дренажных скважин для осушения угольных пластов. / А.А.Воронин, Ю.И.Волков, А.А.Изотов // Материалы XV Международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности». – Кемерово. – 2013. – С. 79-82.

8. Воронин, А.А. Новый способ осушения бортов карьеров для повышения их устойчивости / А.А.Воронин. Деп. рук. №1071/6-16 от 14 марта 2016 г. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – 12 с.