

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*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

**ДИССЕРТАЦИЯ**  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук,  
профессор С.В.Сергеев

Москва 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1 Обзор и анализ существующих технологий горизонтального дренажа.....	9
1.1 Применение горизонтальных дрен для забора подземных вод .....	9
1.2 Применение горизонтальных скважин для забора подземных вод .....	12
1.3 Применение технологии лучевого дренажа для защиты застроенных территорий от подтопления .....	15
1.4 Применение горизонтальных дренажных скважин для осушения бортов карьеров .....	21
1.5 Выводы и направление дальнейших исследований .....	25
2 Разработка способов осушения открытых горных выработок .....	27
2.1 Основные направления исследований .....	29
2.2 Оценка эффективности горизонтальных скважин, закладываемых под углом к линии простирания борта карьера .....	30
2.3 Осушение бортов карьеров с помощью узлового размещения горизонтальных дренажных скважин .....	34
2.4 Способ осушения бортов карьеров с помощью многозабойных горизонтальных дренажных скважин .....	41
2.5 Способ осушения прибортового массива с помощью продольных горизонтальных дренажных скважин .....	43
2.6 Обоснование способа осушения неоднородных в разрезе трещиноватых горных пород с помощью горизонтальных скважин .....	50
3 Гидродинамическое обоснование способов осушения бортов карьеров .....	58
3.1 Структура программы GMS.....	59
3.2 Компьютерная обработка исходной информации.....	62
3.3 Построение геофильтрационной модели .....	63
3.4 Исследование на модели эффективности схем осушения для различных гидрогеологических условий.....	67
4 Опыт и перспективы применения разработанных способов осушения .....	83

4.1	Применение способа осушения с помощью многозабойных горизонтальных дренажных скважин .....	83
4.2	Осушение угольных пластов с помощью узлового размещения горизонтальных дренажных скважин .....	84
4.3	Перспективы применения разработанных способов осушения и рекомендации по их практическому использованию.....	89
	Выводы и рекомендации.....	91
	Заключение .....	94
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	96

## Введение

**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  $25-30^\circ$  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 натуральных промышленных условиях, использованием в исследованиях стандартных и апробированных методик фильтрационных расчетов, высокой сходимостью результатов прогнозных и натуральных экспериментов по дренированию прибортового массива.

**Методы исследований,** использованные в диссертационной работе: натурный эксперимент, стандартные методы замера дебита горизонтальных скважин, анализ результатов натуральных 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 «Евразийская 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 и 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.

Работа выполнена на кафедре «Прикладной геологии и горного дела» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Автор глубоко благодарен научному руководителю доктору технических наук, профессору С.В.Сергееву, заведующему лаборатории фильтрационных расчетов и дренажа ОАО «ВИОГЕМ» кандидату технических наук, профессору Ю.И.Волкову, а также консультантам: кандидату технических наук, лауреату премии Правительства РФ Ю.В.Пономаренко и кандидату технических наук, доценту А.А.Изотову за помощь и руководство во время написания работы.

# **1 Обзор и анализ существующих технологий горизонтального дренажа**

## **1.1 Применение горизонтальных дрен для забора подземных вод**

Устройства отбора подземных вод, используемые для водоснабжения, орошения (ирригации) и водопонижения, в зависимости от их пространственной ориентации водоприемной части разделяют на две группы: вертикальные и горизонтальные.

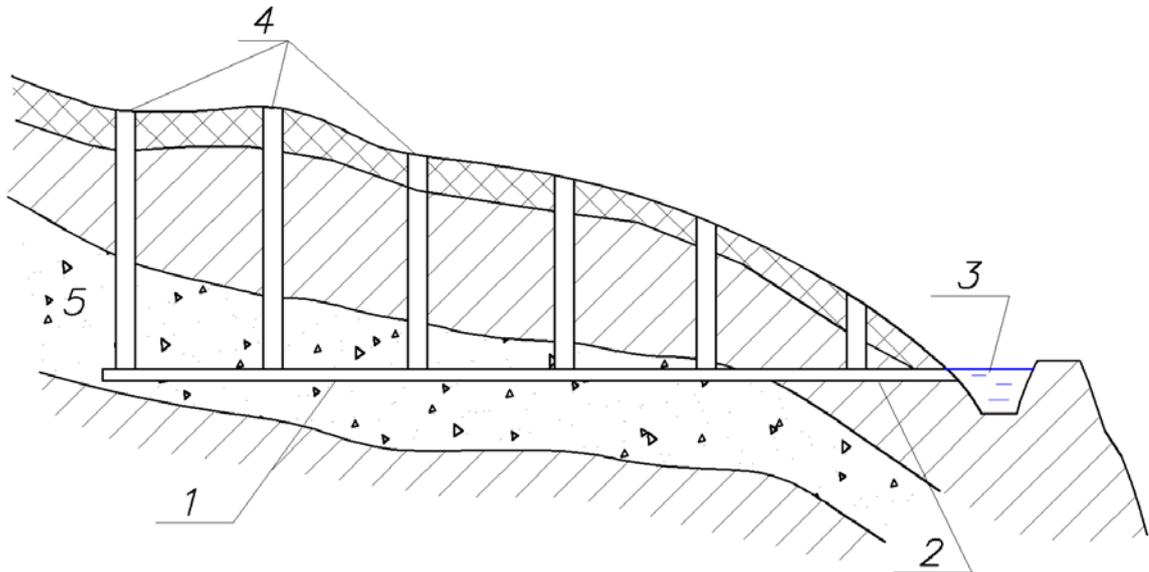
К вертикальным водозаборным устройствам относятся: вертикальные водопонижающие, водозаборные и восстающие скважины, шахтные колодцы и др., к горизонтальным водозаборным устройствам - горизонтальные и лучевые дренажные и водозаборные скважины, каменно-щебенчатые и трубчатые водозаборы, водосборные галереи, кяризы, траншеи и др. [1]

Основные отличия, они же и преимущества, горизонтальных дренажных устройств перед вертикальными состоят в том, что они работают всей своей длиной, имеют большую водозахватывающую способность и могут применяться для перехвата потоков подземных вод незначительной мощности на небольшой глубине при осушении слабопроницаемых пород. [2, 3, 4]

Следующим преимуществом устройств данного типа является их пониженная энергоемкость в процессе эксплуатации. Это связано с использованием меньшего количества водоподъемного оборудования и, как правило, применения насосов с более высоким КПД. Поэтому в настоящее время при эксплуатации предпочтение часто отдается горизонтальным дренам (защита от подтопления, осушение бортов карьеров) как наиболее эффективному и экономичному способу дренажа горных пород.

Благодаря высокой водозахватывающей способности и возможности каптажа большего количества воды, горизонтальные водозаборные устройства (выработки) в том или ином виде применяются с давних времен.

Уже в древнем Китае были распространены так называемые «пещерные колодцы». Аналогичные сооружения под названием «кяризы» широко использовались в древности для водоснабжения в Закавказье и в Средней Азии (рис.1.1). [5, 6]



1 - водосборная штольня; 2 - водоотводящая галерея; 3 - водоприемный канал (водоем); 4 - смотровые колодцы; 5 - водоносный пласт

Рисунок 1.1 – Схема сооружения кяриза.

Кяризы - это оригинальные сооружения, которые распространены в засушливых местностях и предгорных районах. С их помощью получают подземную воду и доставляют ее на поверхность со значительных глубин. В отличие от вертикальных колодцев, для отбора воды из которых требуется подъемное устройство (ведро, бурдюк, колесо, насос и т.п.), из кяризов вода поступает на поверхность самотеком.

Кяризы эффективны в условиях, когда требуется получить воду из толщи горных пород, характеризующейся трещиноватостью и переслаиванием со слабопроницаемыми отложениями.

Кяриз представляет собой систему шахтных колодцев, заглубленных в водоносные породы и соединенных между собой водосборной штольней.

В Турфане (Китай) кяризы и сегодня являются основным источником воды для орошения. Подземные штольни имеют общую протяженность

около 2500 км. [7]

В Иране число кяризных систем достигает трехсот, а общая их протяженность свыше 15 тыс. км. В Пакистане суммарная длина кяризов превышает 5 тыс. км. Суммарный расход подземной воды во всех «кяризных системах» Ирана составляет около  $560 \text{ м}^3/\text{с}$ . Максимальная глубина отдельных колодцев, через которые выдается грунт при проходке кяризов, в некоторых районах Ирана (Сабзе-вар) доходит до 250 м. Подземной водой, добываемой с помощью кяризов, в Иране в настоящее время орошается до 50% земель и снабжается водой 18 тыс. населенных пунктов. [8]

В истории русского водоснабжения применение принципа горизонтального каптажа известно с середины XVIII века. Во многих губерниях России строились вертикальные шахтные колодцы с тайниками и горизонтальными галереями (рис.1.2).

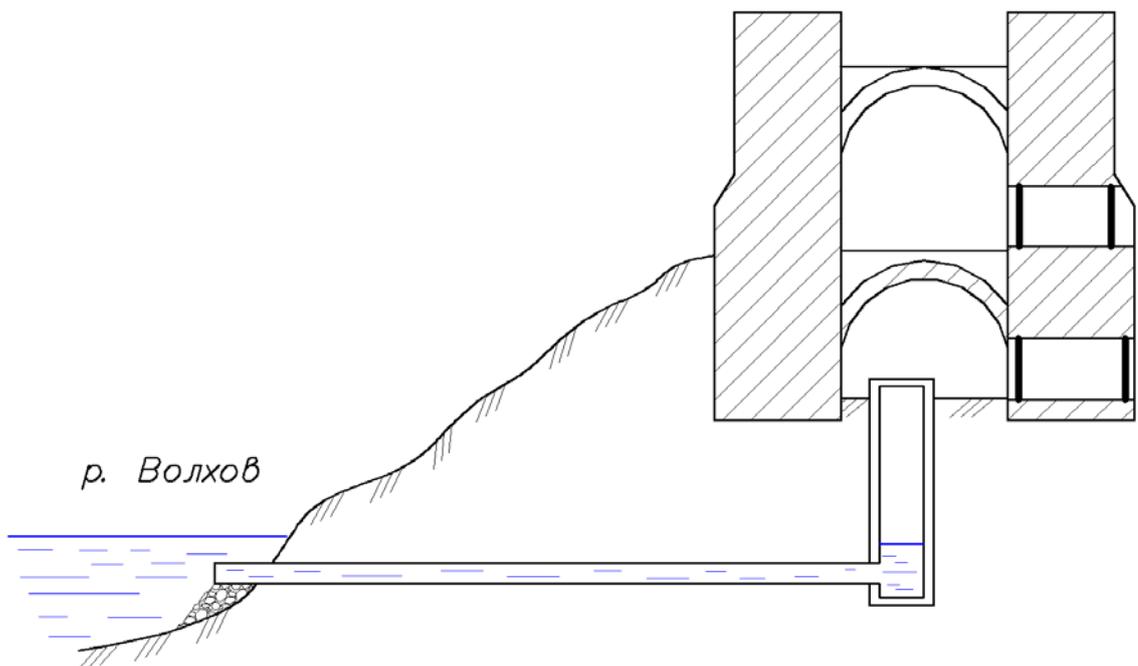


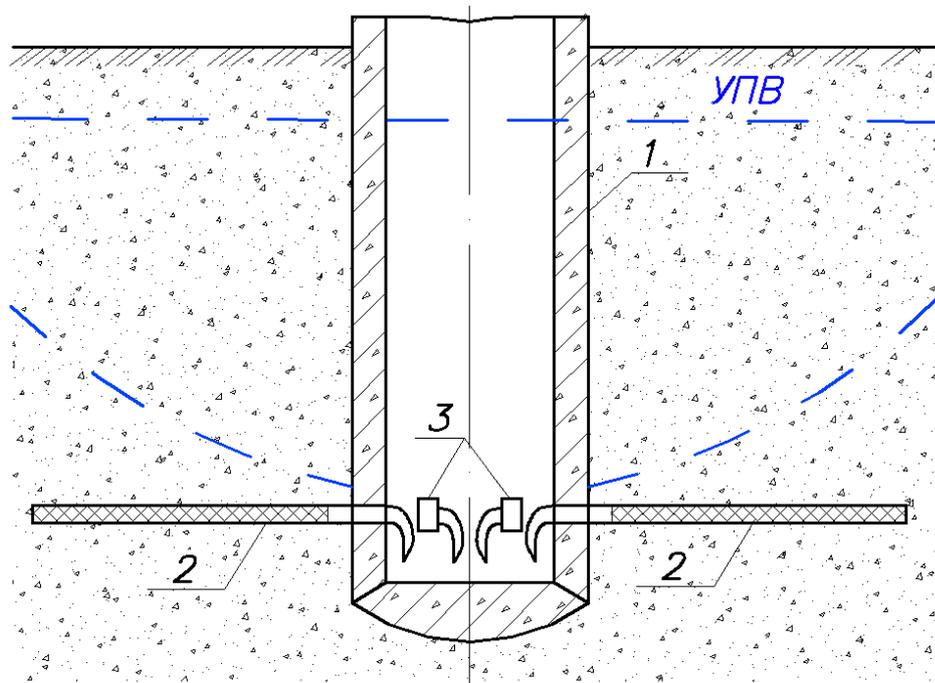
Рисунок 1.2 – Тайник г. Ладога (реконструкция)

подавляющее большинство тайников вели к скрытому под землей колодцу с грунтовыми, ключевыми, инфильтрационными водами и водами из открытого водоема. Обычно тайники устраивались из дерева, имели высоту около 2,0 м, ширину 2-5 м и длину до 200 м. Крепление выработок

выполнялось с использованием прочной древесины (дуб), камень и кирпич применяли редко. [5]

## 1.2 Применение горизонтальных скважин для забора подземных вод

В первой половине прошлого столетия, с развитием шахтостроения в практике водоснабжения появились лучевые водозаборы, представляющие собой шахтный ствол с радиально задавленными из него горизонтальными скважинами (рис.1.3).



1 - шахта; 2 - лучевые скважины; 3 - центробежные насосы

Рисунок 1.3 – Схематический разрез лучевого водозабора

Сооружение шахтного ствола выполняется одним из следующих способов:

- с помощью секущих свай;
- методом задавливания крепи;
- опускным методом с механизированной проходкой и креплением;
- методом «стена в грунте»;
- под защитой водопонижения.

Конкретный способ выбирался в зависимости от условий площадки строительства и размеров шахтного ствола.

В 1934 году Л. Раннеем построен первый лучевой водозабор в песчано-галечниковых отложениях реки Темзы.

В практике строительства лучевых водозаборов известны три основных метода устройства горизонтальных скважин-лучей: американский (Ранняя), швейцарский (Фельмана) и немецкий (Пройсаг). Известен также и венгерский метод, представляющий собой несколько измененный американский метод. [6, 9]

Общим для всех методов является то, что скважины сооружались путем задавливания фильтров из шахты в водоносный пласт. Раннеем был предложен метод задавливания непосредственно фильтров в водоносный горизонт. В данном случае фильтр скважины являлся и одновременно буровым снарядом при проходке скважины. В связи с этим фильтр изготавливали из труб с толщиной стенки не менее 8—10 мм из стали специальных марок. Метод Ранняя отличается простотой производства работ; недостатками являются небольшая скважность фильтра и длина лучей, уплотнение горных пород в прифильтровой зоне при задавливании и ограниченная область применения — только в водоносных пластах, сложенных разнозернистыми песчано-гравийными и гравийно-галечниковыми отложениями со средним размером фракций около 3 мм.

Фельманом предложен метод проходки горизонтальных скважин в рыхлых грунтах с помощью глухих обсадных труб. После достижения скважиной проектной длины в нее вводится фильтр, а обсадные трубы извлекаются. При этом методе устройства горизонтальных скважин применяют специальные толстостенные обсадные трубы. Фильтр, свободно вводимый внутрь обсадной трубы скважины, может быть изготовлен из стальных тонкостенных труб и с большей, чем при методе Ранняя, скважностью. При этом методе можно использовать металлические трубчатые каркасы-фильтры с фильтрующими поверхностями, аналогично

применяемым в вертикальных скважинах, а также неметаллические и металлические трубы с антикоррозийными покрытиями. Метод Фельмана может применяться в водоносных пластах, сложенных более мелкими фракциями водоносных пород. Недостатки метода — сложность производства работ и трудность извлечения обсадных труб.

Устройство горизонтальных скважин-лучей по методу «Пройсаг» осуществляется продавливанием в водоносный пласт обсадной трубы с последующим вводом в нее трубчатого каркаса-фильтра и намывом вокруг него гравийной обсыпки. Намыв материала обсыпки ведется последовательно от забоя скважины. При устройстве горизонтальных скважин методом Пройсаг для фильтров можно применять тонкостенные стальные трубы. Метод «Пройсаг» более сложный, но его можно применять для сооружения горизонтальных скважин-лучей в водоносных пластах, сложенных мелкозернистыми однородными песками.

Венгерский метод устройства горизонтальных скважин практически является несколько усовершенствованным методом Раннея. По этому методу внутрь шламовой трубы несколько большего диаметра, чем в методе Раннея, вводится труба диаметром 20—25 мм, по которой под большим давлением подается на забой скважины вода для размыва и рыхления грунта на забое. Венгерский метод в производстве работ несколько сложнее метода Раннея, но в сравнении с последним облегчает и ускоряет проходку горизонтальных скважин. По венгерскому методу был сооружен первый лучевой водозабор в отечественной практике строительства в 1961-1962 гг. на левобережной пойме р. Ик в Татарстане для водоснабжения системы заводнения нефтяных пластов. [9, 10]

В связи с высокой эффективностью лучевые водозаборы в рыхлых высокопроницаемых грунтах получили широкое распространение. В настоящее время в России и многих других странах мира построено и эксплуатируется более 1000 лучевых водозаборов. В ряде случаев лучевые водозаборы применялись для водопонижения и осушения мелких котлованов

в условиях ограниченной мощности водоносных горизонтов, небольших глубин их залегания и высокой водопроницаемости дренируемых пород. (В 1941 году - при строительстве метрополитена в Нью-Йорке, в 1961 - при строительстве Киевской ГЭС). [11]

Развитием технологии строительства лучевых водозаборов и методов фильтрационных расчетов их гидрогеологического обоснования в 60-х годах прошлого столетия активно занимались советские ученые: Н.Н.Веригин, Г. А., Разумов и др. [12, 13, 6, 9, 14, 15].

### **1.3 Применение технологии лучевого дренажа для защиты застроенных территорий от подтопления**

Во многих случаях инженерные особенности застроенных территорий (высокая плотность застройки, насыщенность подземного пространства многочисленными коммуникациями, низкая водопроницаемость грунтов (почти на 70 % территории России распространены суглинки), ограниченность радиуса влияния дренажей) делают устройство классических дренажей практически невозможным (дренажных траншей, трубчатых дрен, водопонижающих скважин и т.п.) и ограничивают возможности их применения. Помимо этого, трудности сооружения и эксплуатации таких дренажей на застроенной территории также связаны со сложностью организации стройплощадки, размещением оборудования и производством строительно-монтажных работ, использованием подъездных путей и т.д. В некоторых случаях на период производства работ требуется остановка цехов, выкорчевывание зеленых насаждений, отключение водоснабжения и пр. [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22].

Анализ известных классических способов и технических средств дренажа застроенных территорий (промышленных площадок, жилых массивов) показал практически полную невозможность их эффективного применения. Главными факторами, ограничивающими возможность

использования существующих способов дренажа застроенных территорий, являются:

- низкая эффективность в слабопроницаемых грунтах;
- незначительные радиусы влияния дренажных устройств;
- невозможность их сооружения под защищаемыми объектами;
- высокая плотность застройки;
- развитие густой сети подземных коммуникаций;
- сложность сооружения в плавунных грунтах.

В связи с ограниченными возможностями применения известных способов борьбы с подтоплением застроенных территорий институтом ВИОГЕМ в конце 60-х годов прошлого столетия предложен способ лучевого дренажа застроенных территорий. (Премия Правительства РФ 1998 г.)

Предложенный способ дренажа подтопленных территорий основан на применении бурового способа сооружения лучевых скважин, что исключает применение способа задавливания и его отрицательных последствий:

- уплотнения и снижения проницаемости грунтов в прифилтровой зоне;
- повреждения фильтров, затирания их поверхности связными грунтами;
- ограничение длины лучей.

Сооружение лучевых дренажей возможно в условиях плотной застройки, поскольку для проходки шахтных стволов требуется малая площадь отчуждения полезной застроенной территории. Основное преимущество применения лучевого дренажа в стесненных условиях застроенной территории в том, что при его сооружении не требуется производить демонтаж различных подземных коммуникаций и остановку производственных цехов на период строительства. [23]

Лучевой дренаж может применяться как для общего площадного дренирования застроенной территории, так и для локальной защиты зданий и сооружений от подтопления подземными (грунтовыми) и техногенными

водами.

В условиях дренирования промплощадок с высокой плотностью застройки лучевой дренаж становится единственно возможным способом инженерной защиты от подтопления.

К основным конструктивным элементам лучевого дренажа относятся шахтный ствол, лучевые скважины, оборудованные фильтрами (дренажными трубами) с защитно-фильтрующим материалом, и насосная станция с системой автоматизации. [24]

Шахтный ствол служит для сооружения из него лучевых скважин и сбора дренажных вод, поступающих из них. При сооружении лучевых скважин нижняя часть шахтного ствола выполняет роль зумпфа для накопления бурового шлама, а при эксплуатации лучевого дренажа она служит резервуаром-водосборником для дренажных вод.

К числу преимуществ лучевого дренажа относятся:

1. Горизонтальное или слабонаклонное расположение лучевых дренажных скважин позволяет эффективно осушать водоносные горизонты малой мощности.

2. Снижение уровня подземных вод можно обеспечить практически до подошвы водоносного горизонта.

3. Может быть достигнута высокая эффективность работы лучевого дренажа в слоистых толщах с различными фильтрационными свойствами грунтов в разрезе за счет их пересечения каждой скважиной.

4. Способность работать в режиме сброса дренажных вод, при котором не расходуется электроэнергия для отвода воды из лучевых скважин в шахтный ствол.

5. Малый расход электроэнергии на откачку дренажных вод из шахтного колодца за счет применения насосов с высоким КПД.

6. Высокая степень мобильности, что дает возможность сооружать дренаж на труднодоступных участках, в частности, под зданиями и сооружениями, в основании которых нередко формируется куполовидное

поднятие уровня подземных вод.

7. Сооружение лучевых скважин буровым способом дает возможность применения различных типов фильтров.

8. Простота конструкции и ремонтпригодность скважин.

9. Применение экологически чистых материалов.

10. Способность эффективно осушать слабопроницаемые грунты.

11. Высокая надежность и долговечность.

12. Возможность применения способов интенсификации работы дренажных устройств при низких значениях проницаемости осушаемых грунтов.

В 1974 году проведены опытно-промышленные испытания лучевого дренажа и технических средств его сооружения на промышленной площадке Криворожского Центрального горно-обогатительного комбината (Украина) при защите от подтопления грунтовыми водами здания цеха связи. [25]

В геологическом отношении площадка комбината сложена до глубины 10—12 м комплексом лессовидных суглинков, залегающих на водоупорных красно-бурых глинах. Уровень грунтовых вод на участке размещения здания цеха связи находится на глубине 3,5 - 4 м. По данным опытных откачек, обводненные суглинки характеризуются здесь низкими фильтрационными свойствами - коэффициент фильтрации их в среднем составляет 0,47 м/сут.

Для бурения лучевых скважин в 15 м от здания цеха связи был построен шахтный колодец глубиной 8,5 м и диаметром 2,5 м в свету, оборудованный металлическим основанием для установки бурового агрегата, предохранительной полкой и металлической лестницей.

Для откачки поступающих в шахтный колодец грунтовых вод и промывки лучевых скважин в процессе их проходки на предохранительном полке устанавливался центробежный насос.

Из шахтного колодца на глубине 6,5 м были пробурены три лучевые скважины длиной по 54 м. (рис.1.4) Бурение лучевой скважины выполнялось буровой колонной, состоящей из забойного шнека с буровым наконечником

под защитой «глухой» обсадной трубы с режущим башмаком. Буровым наконечником осуществлялось бурение скважины диаметром 150 мм, режущим башмаком лучевая скважина расширялась до диаметра 200 мм. Последовательность устройства каждой скважины была следующей: первоначально производили бурение лучевой скважины, затем извлечение из нее колонны шнеков; далее в скважине устанавливали фильтровую колонну, а затем извлекали рабочие обсадные трубы.

Лучевой дренаж эксплуатируется уже более 40 лет. К настоящему времени лучевой дренаж построен более чем на 100 объектах.

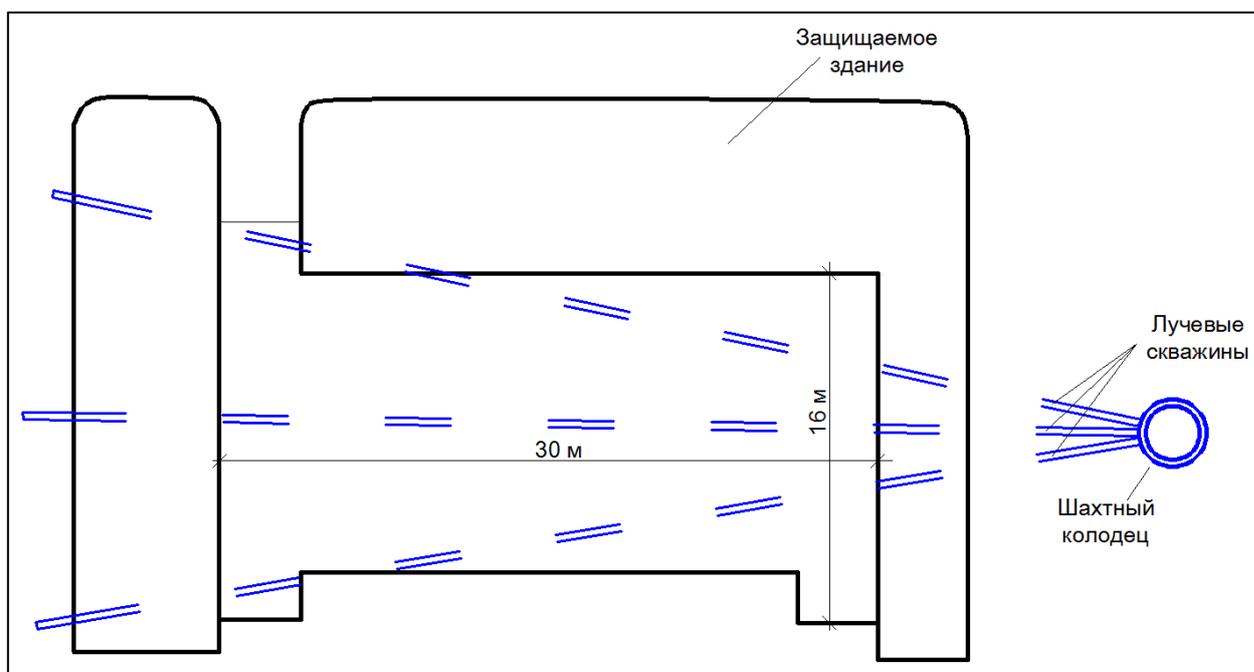


Рисунок 1.4 – Схема лучевого дренажа промышленной площадки Криворожского Центрального ГОКа

Также известны следующие схемы защиты подтопленных зданий и сооружений с применением лучевых скважин:

а) традиционная схема (рис.1.5)

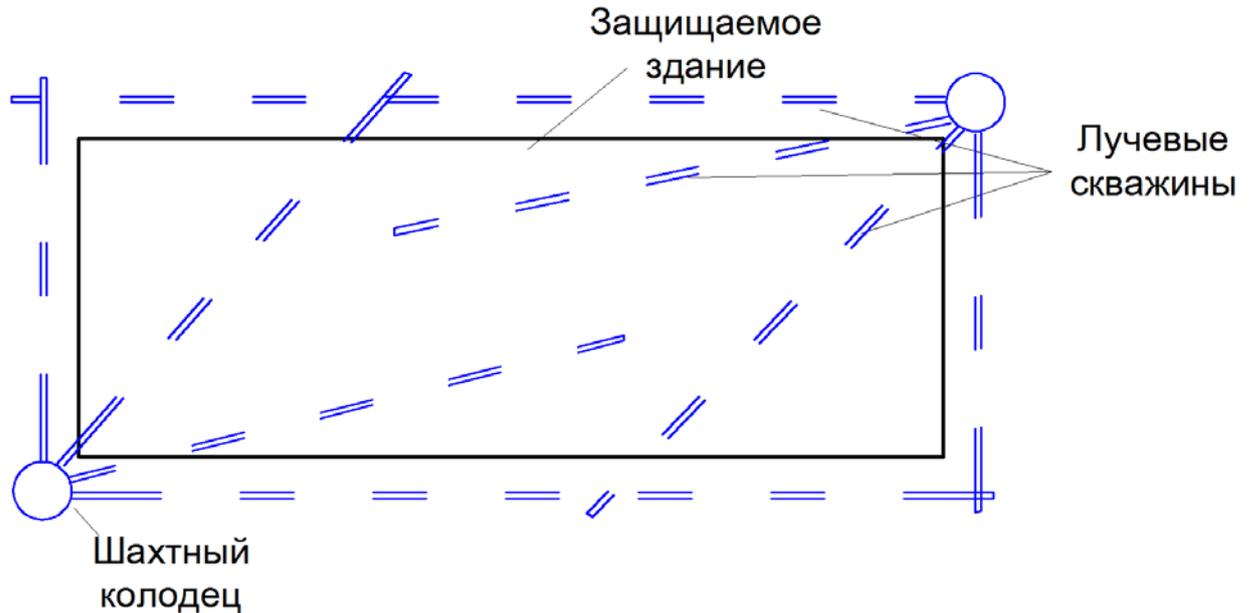


Рисунок 1.5 – Традиционная схема лучевого дренажа

б) схема с использованием скважин, пробуренных с применением техники и технологии горизонтального управляемого бурения (рис.1.6)

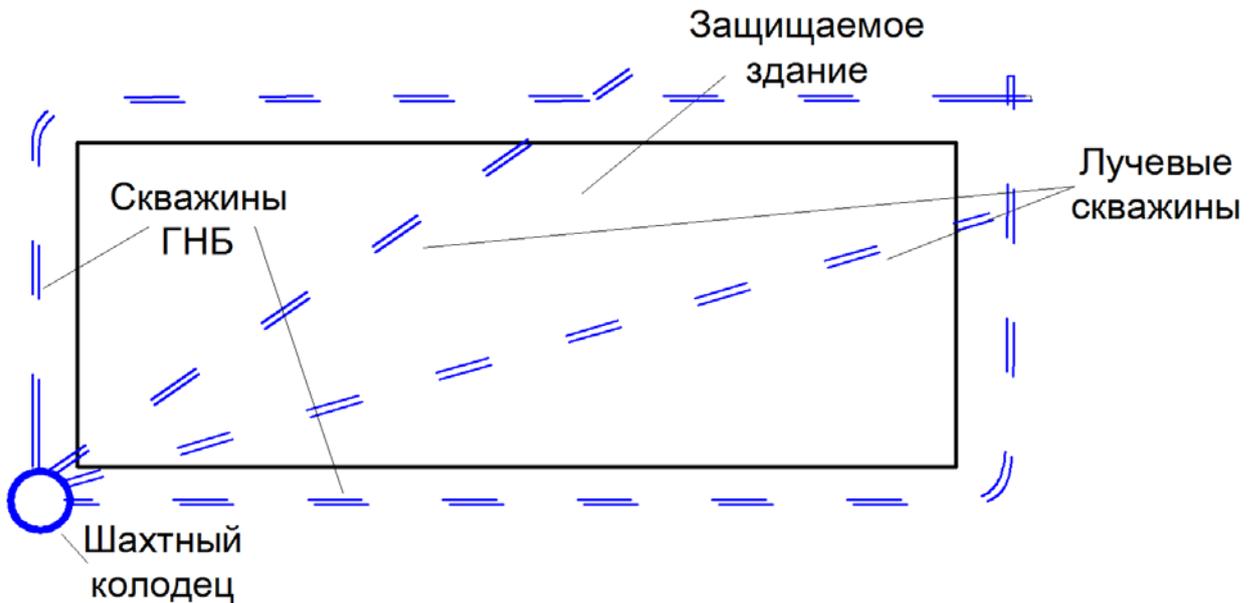


Рисунок 1.6 – Схема дренажа с использованием скважин, пробуренных с применением техники и технологии горизонтального направленного бурения

## **1.4 Применение горизонтальных дренажных скважин для осушения бортов карьеров**

Горизонтальные дренажные скважины являются, как правило, элементом двухконтурных дренажных систем и сооружаются на внутреннем дренажном контуре. [26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35].

При дренаже прибортового массива горизонтальные скважины позволяют снизить «проскок» и уровни подземных вод до безопасных величин гидродинамического давления фильтрующейся воды, вследствие чего:

- увеличивается фильтрационная устойчивость бортов карьеров,
- повышаются прочностные свойства вскрышных пород,
- снижается влажность полезного ископаемого,
- улучшается работа горнотранспортного и вскрышного оборудования,
- снижается вероятность локальных прорывов подземных вод в выработку.

С учетом всех преимуществ горизонтальных дренажных скважин они нашли широкое применение при создании систем защиты месторождений полезных ископаемых от подземных вод.

Схемы с использованием горизонтальных дренажных скважин для осушения бортов карьеров были разработаны и стали применяться в конце 30-х годов. Работы в этом направлении активно проводились В.Е. Анпиловым, И.Ф. Ампиловым, А.А. Вopilкиным, В.А.Мироненко, Е.П. Писанцом, Г.Л. Фисенко, В.М.Чуйко, Ю.И.Волковым и др. В тот период горизонтальные скважины сооружались методом задавливания фильтровой колонны в борт карьера. [36, 37]

С начала 60-х годов ЦНИИгоросушение (с 1968 г ВИОГЕМ) при участии НИИ КМА выполнили конструкторские и экспериментальные работы, промышленные испытания буровой установки С-100, предназначенной для бурения горизонтальных дренажных скважин.

Затем институтом ВИОГЕМ была создана специализированная буровая установка МГБ-2, которая позволила отказаться от задавливания и обеспечить переход на буровой способ сооружения горизонтальных дренажных скважин. Это позволило горизонтальные дренажные скважины в комбинации с водопонижающими применить на карьерах КМА в широких масштабах.

В настоящее время ОАО «ВИОГЕМ» обладает параметрическим рядом специального бурового оборудования (УКД, УЛБ-130, УЛБ-130М, УДБ-8-01М), которое позволяет успешно решать проблему осушения месторождений полезных ископаемых, сооружая горизонтальные дренажные скважины. [38]

Горизонтальные дренажные скважины закладываются с уступов бортов карьера нормально откосу, создавая вдоль всего уступа призму осушенной породы, подготовленной для отработки экскаваторами.

Внедрение горизонтальных дренажных скважин в практику осушения карьеров тесно связано также с фильтрационными расчетами, позволяющими правильно оценить работу той или иной запроектированной системы скважин. [39]

В настоящее время при осушении месторождений полезных ископаемых с применением горизонтальных дренажных скважин используют следующие схемы: [2, 4]

а) схема дискретно расположенных скважин перпендикулярно осушаемому борту карьера (рис.1.7);

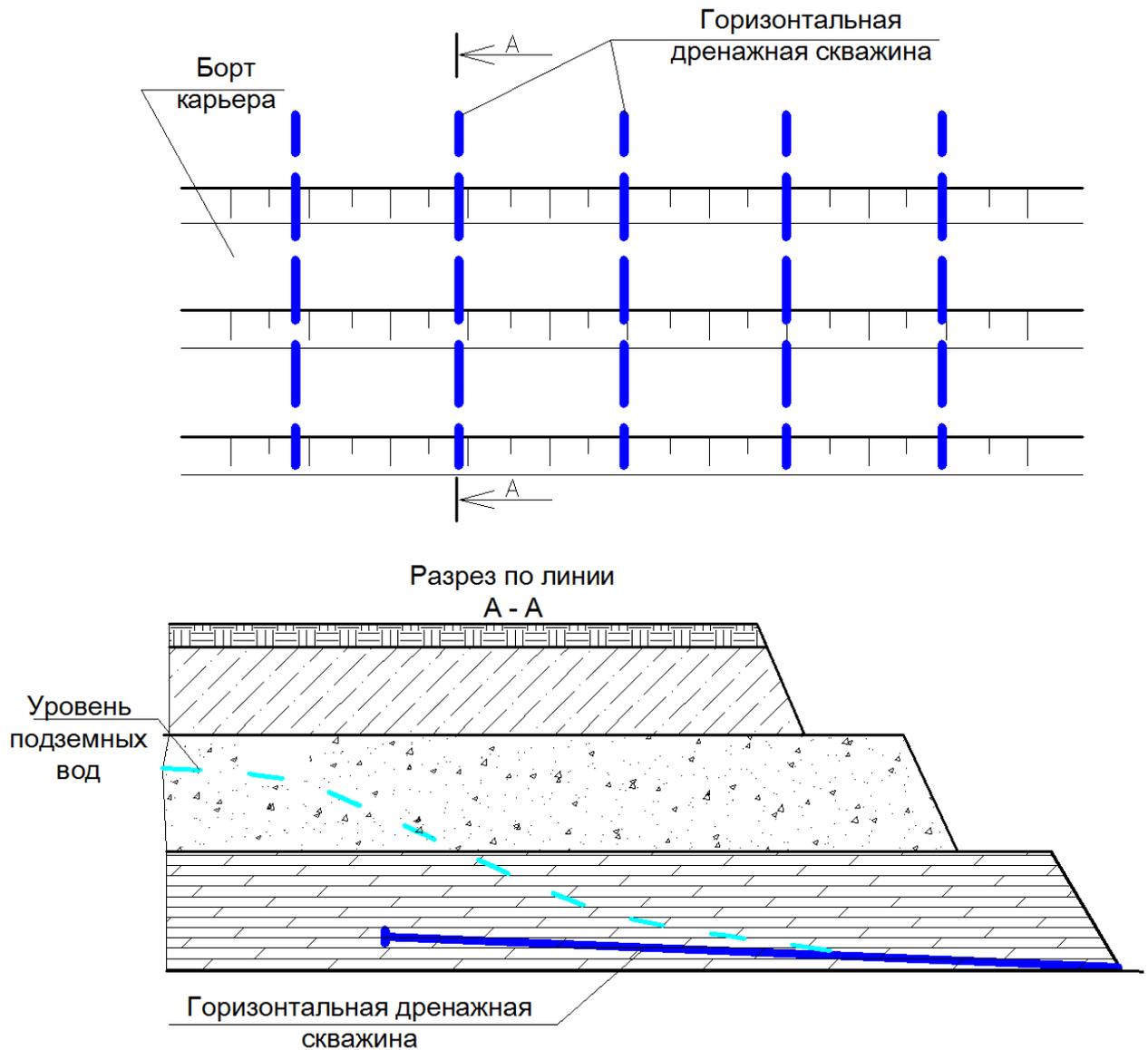


Рисунок 1.7 – Схема дискретно расположенных горизонтальных скважин, сооружаемых перпендикулярно осушаемому борту карьера

Недостатком указанной схемы является то, что в силу дискретного расположения скважин возникают условия для «проскока» подземных вод в горные выработки, который может достигать 40 % от общего расхода потока.

б) узловое - веерное расположение скважин из одной точки (ствола), скважины сооружаются под заданным углом к линии простираения борта карьера, количество и ориентация определяются по результатам компьютерного моделирования (рис. 1.8).

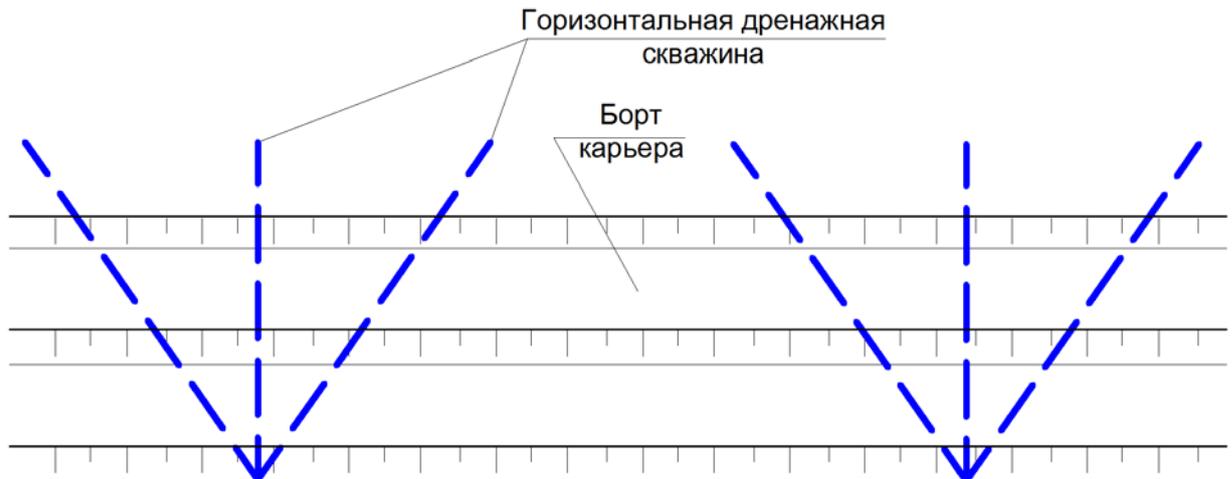


Рисунок 1.8 – Схема узлового расположения горизонтальных скважин

Недостатком указанной схемы, как и при дискретном расположении одиночных горизонтальных дренажных скважин, является наличие «проскока» подземных вод в горные выработки в промежутках между дренажными узлами.

Таким образом, задачи применения схем горизонтальных дренажных скважин для осушения бортов карьеров остаются не решенными окончательно.

Горизонтальные скважины, закладываемые нормально простиранию борта карьера у подошвы водоносного горизонта (комплекса), предназначены для перехвата «проскока» подземных вод через контурную заградительную установку вертикальных водопонижающих скважин. Учитывая все преимущества горизонтальных дренажных скважин, при определенных горно-технических и геолого-гидрогеологических условиях можно рассматривать их как основные дренажные устройства для защиты месторождения от подземных вод.

Горизонтальные дренажные скважины применяются в системах осушения Лебединского карьера, Ковдорского карьера, разреза «Восточный» (Казахстан), Бачатского угольного разреза, Бородинского угольного разреза и др. [40, 41, 42, 43]

## 1.5 Выводы и направление дальнейших исследований

На основании выполненных исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Горизонтальные дренажные скважины имеют значительные преимущества перед классическими дренажными устройствами вертикального типа.

2. Вместе с тем, способы осушения месторождений полезных ископаемых с применением горизонтальных дренажных скважин имеют недостатки, связанные с наличием условий, при которых наблюдается «проскок» подземных вод через дренажный контур.

3. В относительно простых гидрогеологических условиях горизонтальные скважины применяются как основные дренажные устройства для осушения месторождений полезных ископаемых.

4. Горизонтальные дренажные скважины имеют большие перспективы их применения при осушении бортов карьеров.

На основе результатов анализа состояния вопроса для достижения цели работы автором были поставлены и решены задачи:

– оценка 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;

– определение дренажной эффективности различных схем осушения с помощью горизонтальных дренажных скважин для различных гидрогеологических параметров обводненной толщи, с учетом экономической целесообразности сооружения дренажного узла;

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

– разработка способа осушения прибортового массива карьера с

использованием возможностей современной техники и технологии горизонтального направленного бурения;

– разработка способа осушения с применением многозабойных горизонтальных дренажных скважин для создания замкнутого дренажного контура, минимизирующего «проскок» подземных вод;

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

## 2 Разработка способов осушения открытых горных выработок

При решении практических задач и оценки применимости разработанных способов осушения бортов карьеров необходимо многообразные природные условия систематизировать и представить в виде нескольких типовых групп, облегчающих решение практических задач.

Применительно к осушению месторождений в настоящее время известно несколько классификаций обводненных месторождений, разработанных с учетом широкой гаммы природных условий (ВНИМИ, ВСЕГИНГЕО, О.Б.Скиргелло, С.В.Кравчук, Мироненко В.А. и др.).

Применительно к рассматриваемой задаче осушения бортов карьеров горизонтальными дренажными скважинами целесообразно выделить три типа обводненных бортов карьеров в зависимости от инженерно-геологических и гидрогеологических условий:

1. Простые;
2. Средней сложности;
3. Сложные.

К первой группе следует отнести борта, сложенные однородными устойчивыми скальными и полускальными породами, слабообводненные, не требующие проведения дренажных мероприятий.

Ко второй группе можно отнести борта карьеров, сложенные однородными песчано-глинистыми породами, характеризующиеся пологим залеганием, однородными гидрогеологическими характеристиками в плане и разрезе, повышенной обводненностью, неустойчивые в условиях обводненности.

К третьей группе относятся борта, сложенные неоднородными по проницаемости породами как в плане, так и в разрезе. Для них характерна высокая водопроницаемость (более 5 м/сут) и обводненность, сложные условия залегания, слоистое строение массива, трещиноватость различной интенсивности, осложненные формы гипсометрии водоупорных пластов,

имеющие гидравлическую связь слоистых отложений.

К числу основных факторов, которые необходимо учитывать при разработке схем осушения, относятся:

– сложность геологического строения – литология пород, мощность обводненной толщи, слоистость разреза, распространение литологических разностей по площади, тектонические особенности месторождения, глубины и условия залегания полезного ископаемого;

– гидрогеологические условия осваиваемого месторождения: количество водоносных горизонтов и зон, их положение в разрезе и распространение в плане, характер питания и разгрузки, гидравлическая связь водоносных горизонтов, связь с поверхностными водоемами и водотоками, гидрогеологические параметры каждого водоносного горизонта, коэффициенты фильтрации, уровнепроводности, пьезопроводности, водоотдача, фильтрационная характеристика разделяющих слоев и покровных отложений, льдистость, величина инфильтрационного питания, положение уровней и напоров подземных вод до начала разработки месторождения, гидродинамическое состояние подземных вод, химический состав вод и агрессивность среды;

– инженерно-геологические условия месторождения: гранулометрический состав пород, коэффициент сцепления, угол внутреннего трения, их устойчивость в обводненных условиях, выветрелость, закарстованность и трещиноватость, пористость, удельный вес, растворимость пород и набухаемость, водные и физико-механические свойства пород, изменчивость характеристик во времени и др.;

– орогидрографические факторы: характер рельефа (расчлененность оврагами и балками, уклоны поверхности), гидрографическая сеть района, наличие водоемов, заболоченность территории, режим поверхностных водоисточников;

– климатические условия: температурный режим, количество и интенсивность атмосферных осадков, испарение, толщина снежного покрова,

глубина промерзания, наличие и мощность многолетнемерзлых пород. [39]

## 2.1 Основные направления исследований

Горизонтальные дренажные скважины во второй половине прошлого столетия нашли широкое применение. При открытой разработке месторождений в сложных геолого-гидрогеологических условиях горизонтальные скважины применяются на втором внутреннем дренажном контуре и закладываются нормально к линии простирания борта у подошвы дренируемого водоносного горизонта. Горизонтальные дренажные скважины предназначаются для перехвата проскока подземных вод через линию заградительной установки вертикальных водопонижающих скважин.

В относительно простых условиях горизонтальные скважины используются как самостоятельный способ осушения бортов карьеров.

В работе [4] отмечается, что горизонтальные дренажные скважины закладываются перпендикулярно или под некоторым углом к линии откоса, при этом подчеркивается, что угол заложения скважин к линии простирания откоса не оказывает заметного влияния на их дебит и величину высачивания воды на откос, поэтому рекомендуется горизонтальные скважины закладывать нормально к линии простирания откоса, что обеспечивает максимальную ширину зоны осушения.

В настоящее время последнее утверждение потеряло свою однозначность, поскольку буровые установки отечественного производства позволяют проходить горизонтальные скважины протяженностью до 300 метров и более и обеспечивать необходимую ширину зоны осушения, а установки горизонтального направленного бурения позволяют создавать дренажные скважины заданной конфигурации.

Существенным недостатком известных схем осушения с применением горизонтальных скважин является наличие проскока, обусловленного дискретным их расположением. Остаточные проскоки обводняют откосы

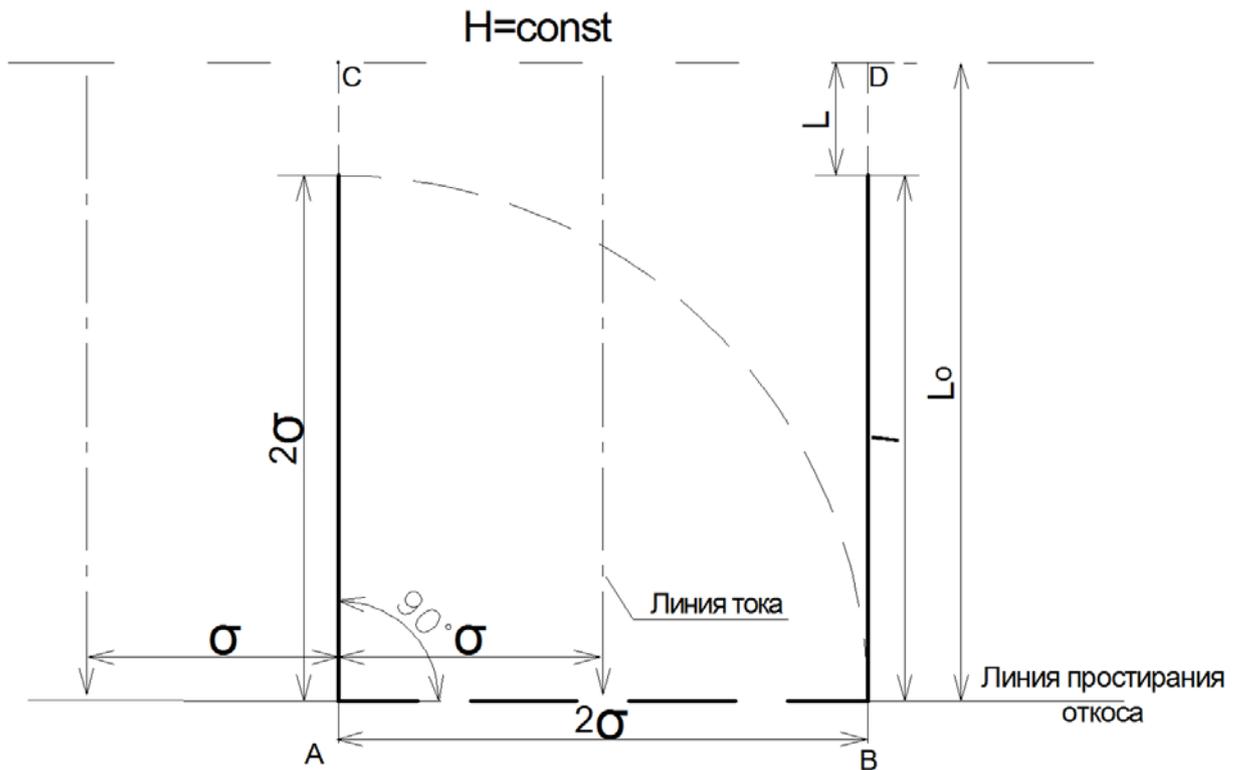
бортов карьеров, что приводит к снижению их устойчивости, развитию эрозионных явлений и других известных осложнений.

Исследования автора выполнялись в двух направлениях. Одно из них включало изучение влияния угла заложения горизонтальных скважин к линии простирания борта карьера. Второе направление состояло в разработке способов осушения бортов карьеров с применением горизонтальных скважин с целью создания замкнутого дренажного контура и минимизации «проскока» подземных вод.

## **2.2 Оценка эффективности горизонтальных скважин, закладываемых под углом к линии простирания борта карьера**

Задача решалась аналитическим способом, посредством рассмотрения двух схем фильтрации. [42] 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 посередине между смежными скважинами и самой скважиной. Горизонтальные скважины длиной  $2\sigma$  располагались на расстоянии одна от другой также на расстоянии  $2\sigma$ . Первая расчетная схема по существу практически соответствовала известной применяемой схеме дренажа. Вторая расчетная схема была получена путем поворота горизонтальной скважины вокруг вертикальной оси на  $90^\circ$  (в плоскости водоупорной подошвы осушаемого пласта) и совмещения ее с линией простирания борта карьера. На этой границе пласта-полосы задавалось условие  $Q=0$ ; на второй границе – контуре питания выполнялось условие  $H=\text{const}$ .

Таким образом, приходим к схеме, изображенной на рис. 2.1.



AC и BD – направления бурения горизонтальных дренажных скважин нормально линии простириания борта карьера; AB – горизонтальная дренажная скважина, совмещенная с линией простириания борта;  $H$  – постоянный напор подземных вод на контуре питания;  $\sigma$  – 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 2.1 – Схемы заложения горизонтальных дренажных скважин

Далее скважина, совмещенная с линией простириания откоса, заменялась гидродинамически совершенной эквивалентной дреной, что вполне допустимо, поскольку горизонтальные дренажные скважины всегда 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. При этом односторонний приток к эквивалентной дрене вычисляется по

известной формуле:

$$Q = 2k\sigma \frac{H_0^2 - h_1^2}{2L} \quad (2.1).$$

Приток к одной взаимодействующей скважине определяется по зависимости. [4]

$$Q_c = kC(h_l^2 + h_1^2) \quad (2.2),$$

$$h_l = \sqrt{\frac{H_0^2 + \frac{L}{\sigma} N h_1^2}{\frac{L}{\sigma} M + 1}} \quad (2.3),$$

где

$h_l$  – глубина потока между горизонтальными скважинами;

$H_0$  – глубина потока на контуре питания;

$L$  – расстояние от забоя скважины до контура питания;

$\sigma$  – половина расстояния между горизонтальными скважинами, м;

$h_1$  – допустимая высота участка высачивания;

$C, N, M$  – коэффициенты, зависящие от отношения  $l/\sigma$ .

В формулах (2.1–2.3, 2.7) значения коэффициентов  $C, N, M$  набираются по таблице в зависимости от отношения  $l/\sigma$ . [4]

Уравнение баланса подземного потока, движущегося к борту карьера следует записать в виде:

$$q = q_{np} + Q_c \quad (2.4)$$

или

$$2k\sigma \frac{h_l^2 - h_1^2}{2L} = q_{np} + kc(h_l^2 - h_1^2) \quad (2.5),$$

где  $q_{np}$  – величина проскока подземных вод через линию горизонтальных скважин.

Разделив почленно слагаемые уравнения (2.5) на  $q$  по формуле (2.1), осуществляем переход к уравнению (2.5) в безразмерной форме:

$$1 = \frac{q_{np}}{q} + \frac{CL}{\sigma} \quad (2.6),$$

в котором

$\bar{q}_{np}$  – приведенное значение величины проскока.

Из полученного уравнения (2.6) следует, что приток к горизонтальной дренажной скважине является частью общего притока, который складывается из притока к скважине  $Q_c$  и проскока  $q_{np}$ .

Величину «проскока» между взаимодействующими горизонтальными скважинами найдем по формуле

$$q_{np} = k(Dh_l^2 + Eh_1^2) \quad (2.7).$$

где  $D$  и  $E$  – коэффициенты, зависящие от отношения  $l/\sigma$ .

Для проведения вычислений и численного анализа результатов, параметры грунтового потока принимались следующими:

$k$  – коэффициент фильтрации водоносных песков – 30 м/сут;

$l$  – длина горизонтальной скважины – 55 м;

$L$  – расстояние от забоя скважины до контура питания – 200 м;

$L_0$  – расстояние от основания откоса до контура питания – 255 м;

$h_1$  – допустимая высота участка высачивания – 0,01 м (уровень на устье горизонтальной скважины);

$H_0$  – глубина потока на контуре питания – 11 м.

Значения коэффициентов  $C$ ,  $N$  и  $M$  равны:  $C=1$ ;  $N=0,321$  и  $M= 1,108$ .

Глубина потока грунтовых вод между горизонтальными скважинами вычисляется по формуле (2.3) и равна 3,65 м.

Установившийся дебит одной взаимодействующей скважины согласно зависимости (2.2) составил 400,8 м<sup>3</sup>/сут (16,7 м<sup>3</sup>/ч), при этом в промежутке между скважинами «проскок» подземных вод на борт карьера определим по (2.6) и он составит 43,27 м<sup>3</sup>/сут (1,8 м<sup>3</sup>/ч).

Дебит горизонтальной дрены, совпадающей с линией простирания откоса, определяется по формуле (2.1) и равен 391,47 м<sup>3</sup>/сут (16,31 м<sup>3</sup>/ч).

Главный вывод из анализа уравнения (2.6) состоит в том, что по мере уменьшения угла заложения горизонтальной скважины относительно линии простирания борта карьера 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. Отсюда также следует, что расстояние между скважинами

целесообразно принимать равным длине скважине.

При решении практических задач рекомендуется горизонтальные дренажные скважины задавать под углом около  $60^\circ$  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.2.2.

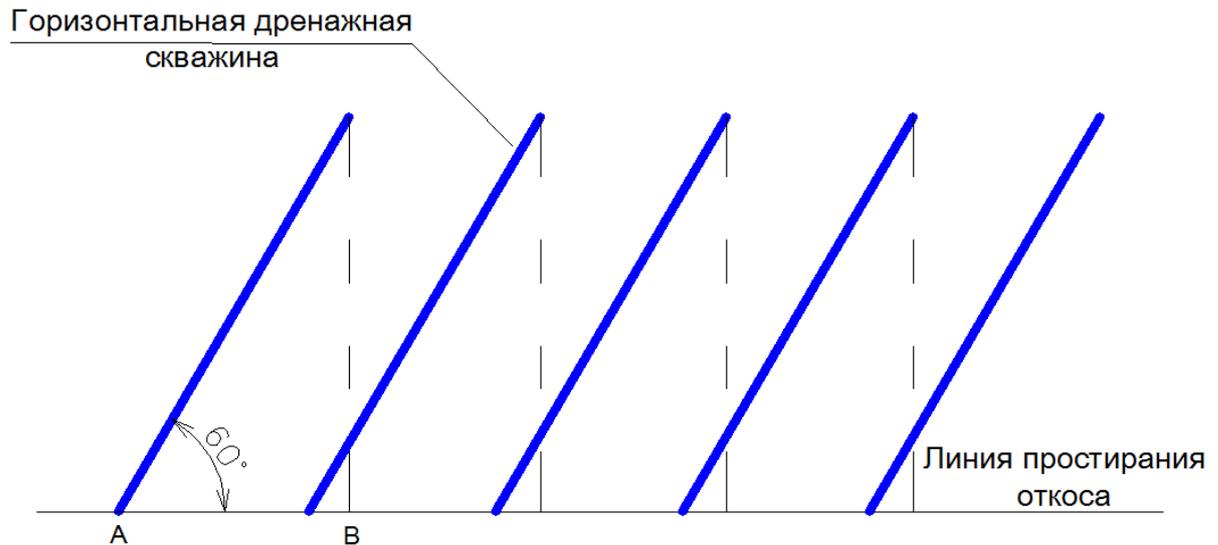


Рисунок 2.2 – Схема расположения горизонтальных дренажных скважин под углом к линии простирания откоса

При разработке конкретной схемы осушения проектируемого карьера угол наклона горизонтальных дренажных скважин и величину перекрытия рекомендуется уточнять с применением методов математического компьютерного моделирования

### **2.3 Осушение бортов карьеров с помощью узлового размещения горизонтальных дренажных скважин**

В настоящее время горизонтальные дренажные скважины широко применяются в системах осушения карьеров и угольных разрезов. Горизонтальные скважины закладываются нормально линии простирания борта карьера или под некоторым углом к ней. Также применяют схемы, в

которых горизонтальные скважины бурятся в виде узлов с различной ориентацией и углами между скважинами.

Узловая схема расположения горизонтальных скважин имеет преимущества перед дискретной схемой расположения одиночных скважин, связанные с возможностью сооружения скважин из одной точки, что значительно упрощает подготовительные, буровые и эксплуатационные работы в условиях карьера или угольного разреза. Указанное преимущество позволяет рассматривать применение горизонтальных дренажных скважин в качестве основного средства дренажа обводненных пород при отработке месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Однако для узловой схемы расположения горизонтальных дренажных скважин отсутствуют параметры их дренажной эффективности в различных фильтрационных условиях, а также количества дренажных скважин в узле, величины оптимальных углов между скважинами, применение которых обеспечивает максимальный водоотбор.

В связи с этим исследования автора были направлены на определение дренажной эффективности узловой схемы заложения горизонтальных скважин для различных гидрогеологических параметров обводненной толщи, влияния угла заложения их в веере с учетом степени взаимодействия друг с другом, а также экономической целесообразности сооружения дренажного узла с определенным количеством скважин. Результаты исследований описаны в подразделе 3.4.

На основании выполненных исследований и анализа технических средств сооружения горизонтальных скважин обоснована оптимальная схема дренажного узла, параметры которой использованы при разработке схемы осушения с помощью узлового размещения горизонтальных дренажных скважин. Данная схема предусматривает сооружение узлов горизонтальных дренажных скважины вдоль защищаемого борта непосредственно с уступов, для чего в точке размещения буровой установки сооружается приямок-зумпф с целью обеспечения забуривания

горизонтальной скважины у подошвы дренируемого водоносного горизонта.

Новизна указанной схемы заключается в применении для осушения бортов карьеров обоснованной оптимальной конфигурации дренажного узла из 5-ти горизонтальных скважин, ориентированных в направлении осушаемого борта, с углом между ними в интервале 25-30°. Оптимально подобранный угол между горизонтальными скважинами обеспечивает максимальный водоотбор при долговременной и эффективной их работе. Данная схема дренажного куста позволяет снизить уровень подземных вод в осушаемой толще на площади около 1,8 га.

Схема дренажного узла показана на рис.2.3.

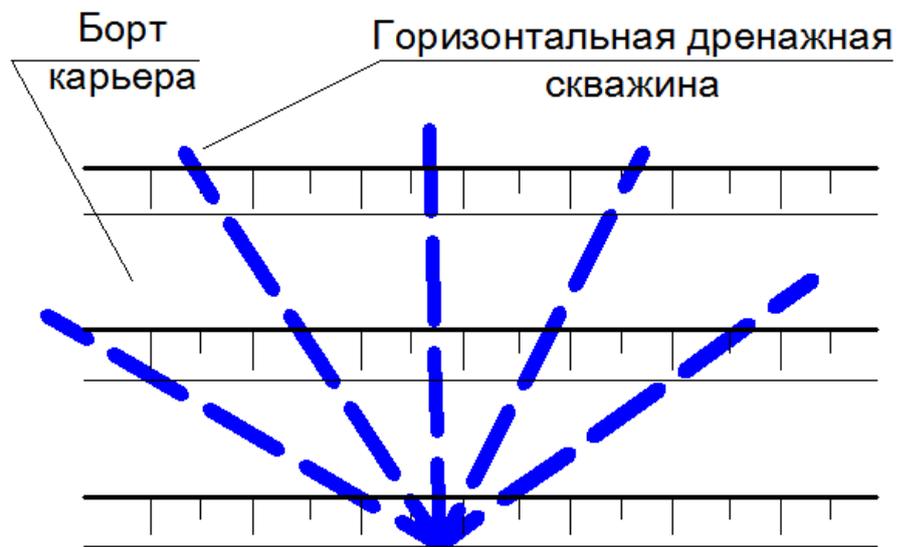


Рисунок 2.3 – Схема дренажного узла

Бурение горизонтальных скважин предусматривается с применением бурового станка типа УДБ 8-01М конструкции ОАО «ВИОГЕМ». Существенной особенностью технологии бурения указанным станком является возможность сооружения дренажных скважин как в устойчивых, так и в несвязных обводнённых породах, пересечение нескольких обводнённых зон, насыпных и карстовых пород. Длина скважин может достигать 300 м.

Общий вид буровой установки УДБ 8-01М показан на рис.2.4.

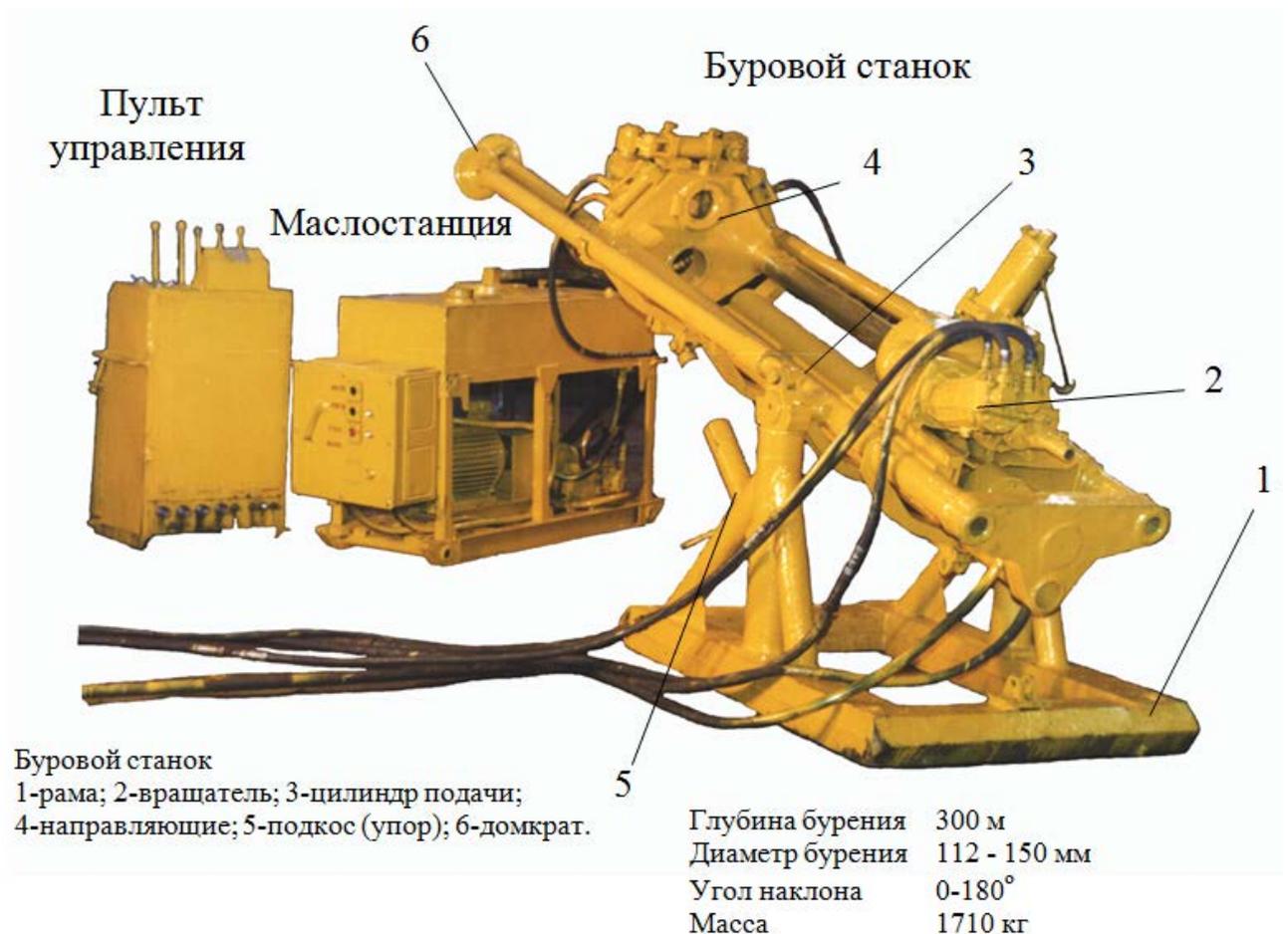


Рисунок 2.4 – Общий вид буровой установки УДБ 8-01М.

Длину горизонтальных скважин с учетом возможностей применяемой буровой установки, назначения скважин и мощности осушаемого пласта целесообразно ограничить в пределах 250-300 м.

Интервал расположения дренажных узлов вдоль защищаемого борта рекомендуется определять с применением методов компьютерного моделирования с целью минимизации проскока между дренажными кустами.

Система водоотведения дренажных вод от горизонтальных скважин осуществляется с помощью водоотводных канав. В случае заглубления зумпфа-водосборника ниже водоотводных канав, применяются погружные насосы типа ГНОМ.

Схема осушения с узловым расположением горизонтальных скважин представляет практический интерес для осушения бортов карьеров и угольных разрезов. В зависимости от сложности гидрогеологических условий может применяться как в качестве вспомогательного, так и в

качестве основного элемента системы осушения. Применение данного способа возможно для осушения как рабочих, так и постоянных бортов карьеров и угольных разрезов. При дренировании устойчивых пород возможно сооружение горизонтальных скважин без установки фильтра, что существенно увеличит привлекательность способа за счет увеличения скорости сооружения системы осушения и снижения финансовых затрат.

Основные преимущества схемы осушения бортов карьеров с помощью узлового размещения горизонтальных дренажных скважин перед традиционными схемами:

- большая площадь осушения;
- высокая скорость сооружения системы осушения;
- эффективное осушение слабопроницаемых и трещиноватых пород;
- пониженный расход электроэнергии;
- меньшие эксплуатационные затраты.

Практическую реализацию результаты выполненных исследований по определению оптимальных параметров дренажного куста нашли при разработке системы осушения Бородинского угольного разреза с помощью горизонтальных скважин. На Бородинском угольном разрезе применяется узловая схема расположения горизонтальных дренажных скважин (рис.2.5-2.6). [44]

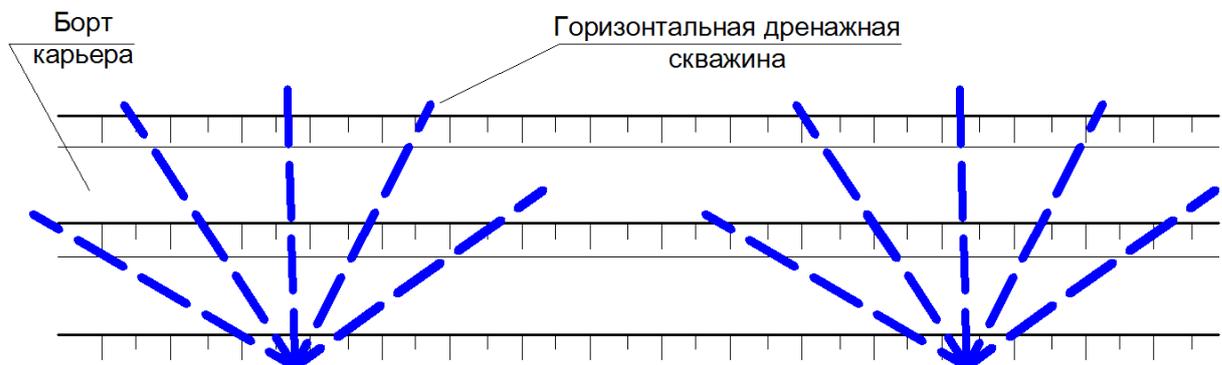


Рисунок 2.5 – Схема с узловым расположением горизонтальных дренажных скважин

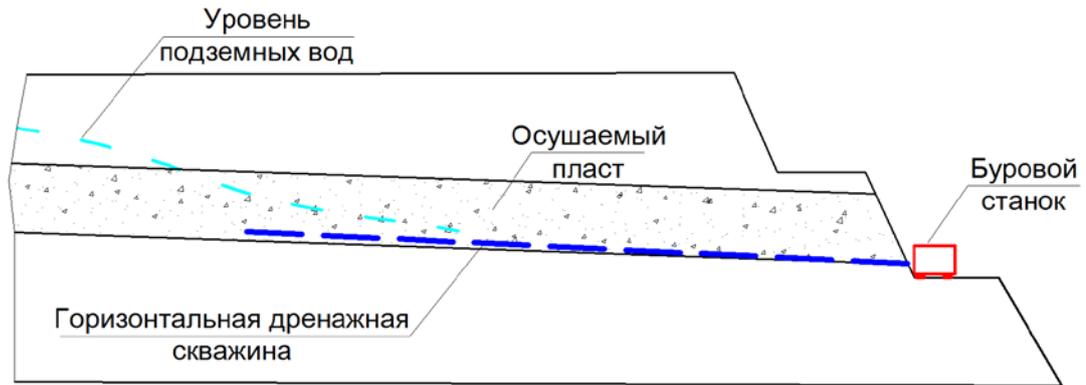


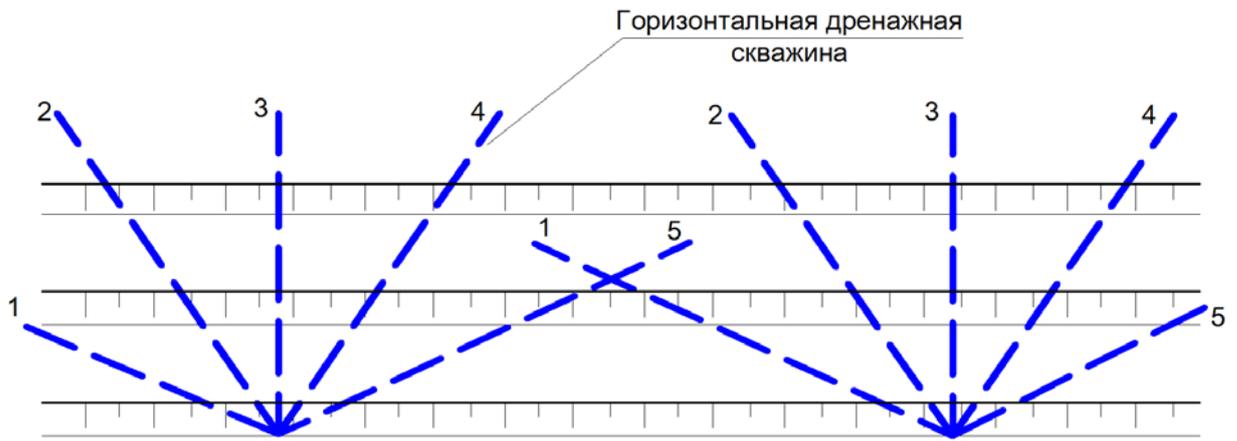
Рисунок 2.6 – Схема бурения горизонтальных дренажных скважин

Указанная схема осушения бортов карьеров характеризуется рядом преимуществ:

- простота и технологичность;
- мобильность;
- эффективность;
- относительная дешевизна строительства.

В условиях Бородинского угольного разреза после сработки горными работами старой дренажной шахты данному способу осушения альтернативы не было. [45]

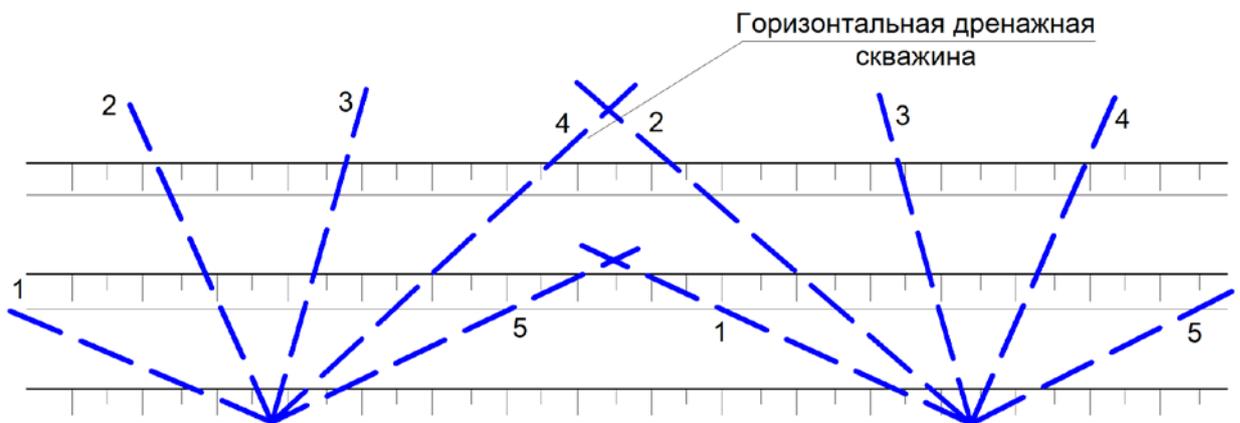
Вместе с тем, рассматриваемая схема защиты бортов карьеров от обводнения сохраняет существенный недостаток, заключающийся в проскоке подземных вод между смежными узлами скважин, отстоящими один от другого иногда на значительном расстоянии. Для устранения указанного недостатка автором на основе результатов выполненных исследований разработана усовершенствованная схема дренажа, базирующаяся на создании вдоль осушаемого борта замкнутого дренажного контура с помощью узлов горизонтальных скважин. С этой целью предлагается боковые скважины 1 и 5 удлинять до пересечения с аналогичными скважинами смежных дренажных узлов (рис.2.7).



1-5 – номера горизонтальных дренажных скважин в узле.

Рисунок 2.7 – Узловое расположение горизонтальных дренажных скважин с пересечением боковых скважин смежных узлов

На сегодняшний день отечественные буровые установки позволяют сооружать горизонтальные дренажные скважины длиной до 130 м в плавунных песках и до 300 м и более в устойчивых обводненных породах. При значительной мощности дренируемого горизонта и недостаточном дренажном эффекте рекомендуется создавать второй замкнутый дренажный контур путем увеличения протяженности двух боковых горизонтальных скважин узла 2 и 4 до их взаимного пересечения со скважинами смежного дренажного узла (рис.2.8).



1-5– номера горизонтальных дренажных скважин в узле.

Рисунок 2.8 – Узловое расположение горизонтальных дренажных скважин с пересечением двух боковых скважин смежных узлов

Одиночные узлы дренажных скважин рекомендуется применять в понижениях подошвы дренируемых водоносных горизонтов, в эрозионных врезках и других понижениях.

Усовершенствованная схема обладает всеми преимуществами узлового заложения горизонтальных скважин и дополнительно обеспечивает максимальный перехват потока подземных вод, движущегося в горные выработки.

## **2.4 Способ осушения бортов карьеров с помощью многозабойных горизонтальных дренажных скважин**

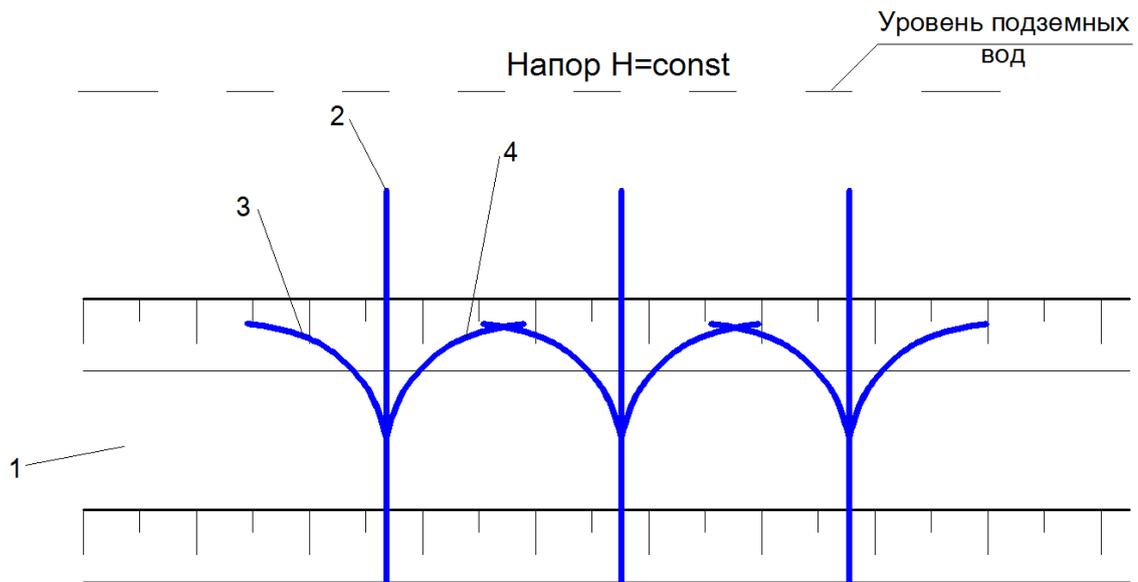
Недостатком известного способа осушения горизонтальными дренажными скважинами является неполный перехват потока подземных вод к бортам карьера в связи с дискретным расположением скважин в дренируемом пласте, что решалось путем увеличения длины и числа горизонтальных скважин для снижения величины проскока вод. Для повышения дренажного эффекта требуется также уменьшение расстояния между скважинами или снижение угла их заложения. Отмеченное приводит к существенному увеличению объемов бурения [1].

Задачей исследований является разработка схемы, при которой будет осуществляться максимальный перехват проскока подземных вод к бортам карьеров.

Как известно, проскок подземных вод может быть существенно снижен путем создания замкнутого дренажного контура. Анализ возможных вариантов замкнутого дренажного контура привел автора к выводу о целесообразности применения многозабойных горизонтальных скважин.

Решение указанной задачи и достижение вышеперечисленных результатов стало возможным благодаря тому, что в известном способе защиты карьера от притока подземных вод, включающем сооружение основных горизонтальных дренажных скважин нормально борту карьера, из

каждой основной горизонтальной дренажной скважины сооружаются по две противоположные дополнительные горизонтальные боковые дренажные скважины, которые направлены в стороны смежных горизонтальных дренажных скважин до пересечения с аналогичными дополнительными горизонтальными боковыми дренажными скважинами, сооруженными из основных смежных скважин для формирования замкнутого дренажного контура (рис.2.9).



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

Рисунок 2.9 – Схема осушения с применением многозабойных горизонтальных дренажных скважин

Способ защиты карьера от притока подземных вод предусматривается 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.

Разработанный способ представляет практический интерес для осушения бортов карьеров, обрабатываемых в сложных гидрогеологических условиях, сложенных породами различного геологического состава и структуры, водопроницаемость которых характеризуется коэффициентами фильтрации не менее 0,5-1,0 м/сут.

Практическую применимость способ осушения с применением многозабойных горизонтальных дренажных скважин нашел при разработке проектно-сметной документации системы осушения Адамовского месторождения строительных известняков в Калужской области.

Новизна предлагаемого технического решения подтверждена патентом РФ № 2531913. [46]

## **2.5 Способ осушения прибортового массива с помощью продольных горизонтальных дренажных скважин**

Во второй половине прошлого века при разработке месторождений, как правило, отдавалось предпочтение открытому способу разработки. Соответственно большое практическое значение приобретали способы защиты бортов карьеров от обводнения. В большинстве случаев для этих целей, помимо горизонтальных прибортовых дрен, применялись горизонтальные дренажные скважины, закладываемые в борта карьеров нормально линии их простирания или под некоторым углом к ней. Для осушения прибортового массива длина горизонтальных скважин устанавливалась равной не менее расстояния до плоскости скольжения, то есть примерно соответствующей 2-3 экскаваторным заходкам.

С целью изучения влияния угла заложения горизонтальной скважины относительно линии простирания борта карьера выполнены исследования, в процессе которых установлено, что наименее эффективным является

положение скважины, заданной перпендикулярно простиранию откоса, при котором проскоки принимают максимальные значения и достигают 40 % от общего потока подземных вод. Соответственно максимальной эффективностью характеризуется схема заложения скважины параллельно линии простирания откоса.

Поэтому исследования автора были направлены на создание мобильного способа сооружения дренажного устройства указанного типа. Результаты исследования предельных схем расположения скважин удалось использовать при разработке способа осушения бортов карьеров с помощью продольных горизонтальных дренажных скважин, сооружаемых каскадом вдоль защищаемого борта. Поток подземных вод к борту карьера носит плоскопараллельный характер, поэтому для предотвращения выхода подземных вод на откос необходимо, чтобы дренажное устройство по всей длине борта пересекало водный поток.

В 2013 году исследования автора в этом направлении завершились разработкой нового способа осушения бортов карьеров с помощью продольных горизонтальных дренажных скважин, сооружаемых каскадом вдоль защищаемого борта. Реализация способа осуществляется с помощью современной техники и технологии управляемого бурения.

В настоящее время в мировой практике техника и технология горизонтального бурения все чаще применяется для строительства наклонно-горизонтальных скважин с установкой фильтров. Такие скважины применяют для осушения месторождений полезных ископаемых, защиты сооружений от подтопления, стабилизации оползневых склонов, защиты подземных вод от загрязнения и т.п. [47, 48, 49, 50, 51, 52, 53]

Суть разработанного решения заключается в сооружении параллельно линии простирания борта и друг другу каскада 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. [54]

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

При относительно небольшой мощности обводненных пород (около 5 м) дренажная система может состоять из двух продольных скважин, протяженность которых целесообразно ограничить 500 метрами. При значительной мощности обводненных пород, их низкой водопроницаемости или нависания подземных вод необходимо сооружать 3 и более продольных скважины, располагаемых в обводненном массиве параллельно друг другу и борту карьера, то есть создается каскад дренажных скважин. Обоснование необходимого количества дренажных скважин рекомендуется выполнять методом математического компьютерного моделирования.

Принципиальная схема осушения с помощью продольных горизонтальных дренажных скважин показана на рис.2.10.

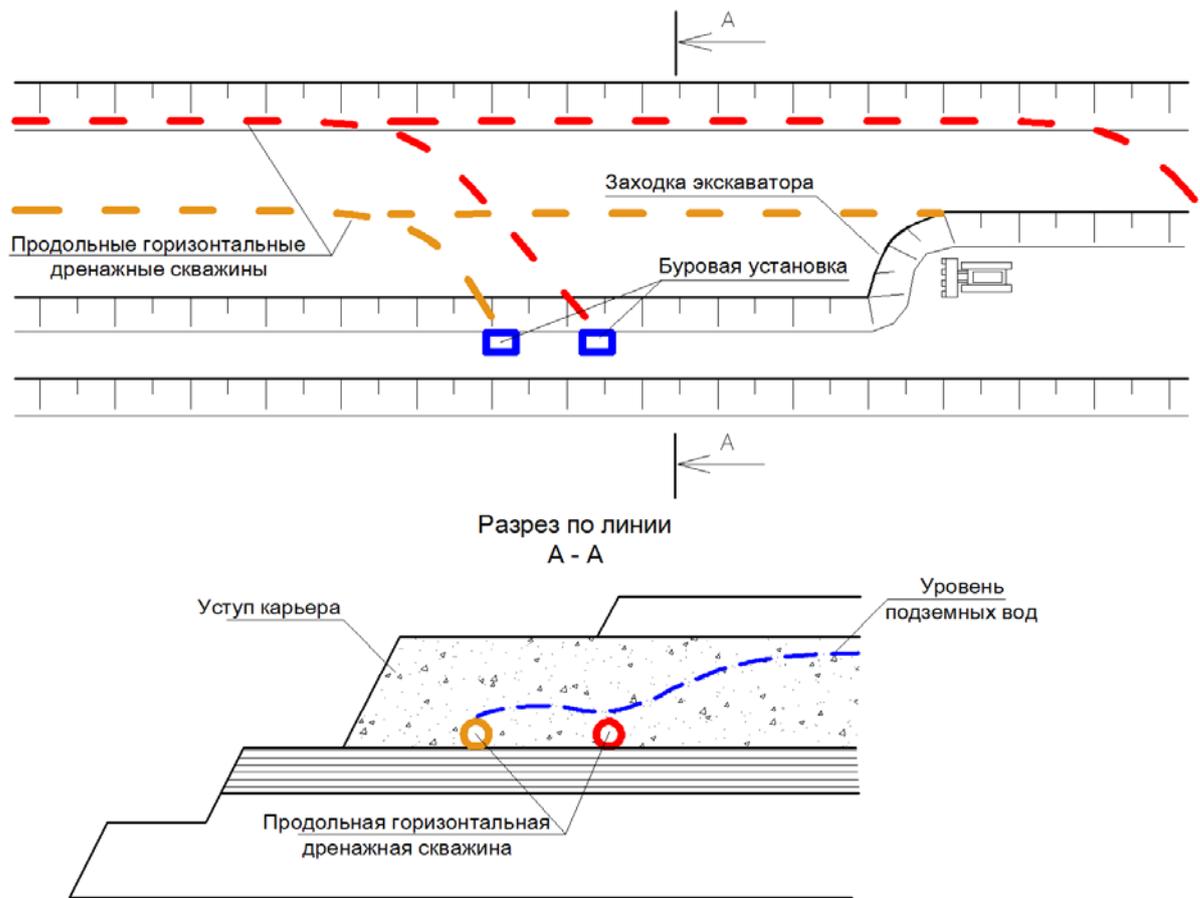


Рисунок 2.10 – Принципиальная схема осушения с помощью продольных горизонтальных дренажных скважин

Возможности современной буровой техники позволяют эффективно управлять направлением проходки скважины и в процессе бурения надежно удерживать ее положение у подошвы уступа (водоносного горизонта) при заданном уклоне к ее устью. Протяженность продольной горизонтальной дренажной скважины целесообразно ограничивать 450-500 м, поскольку даже при уклоне 0,001 забой скважины оказывается приподнятым над подошвой водоносного горизонта на 0,5 м, что приведет к проскокам воды. При сооружении следующей продольной скважины все операции повторяются.

Диаметр скважин определяется на основе геолого-гидрогеологического разреза, длины скважины, глубины установки обсадных и фильтровых колонн и выбранного способа бурения. Рекомендуемые диаметры основного ствола продольных скважин 112 – 215,9 мм.

Закладка очередной скважины выполняется с некоторым отступом (30-50 м) от забоя выполненной скважины, т.е. небольшим перекрытием, что позволяет избежать проскока подземных вод в зоне стыковки продольных дренажных скважин.

При дренировании мощных водоносных горизонтов, а также водовмещающих толщ с низкими значениями фильтрационных характеристик над дренажной скважиной возможно формирование нависания. В этом случае необходимо прибегнуть к проходке дополнительных продольных скважин (рис.2.11).

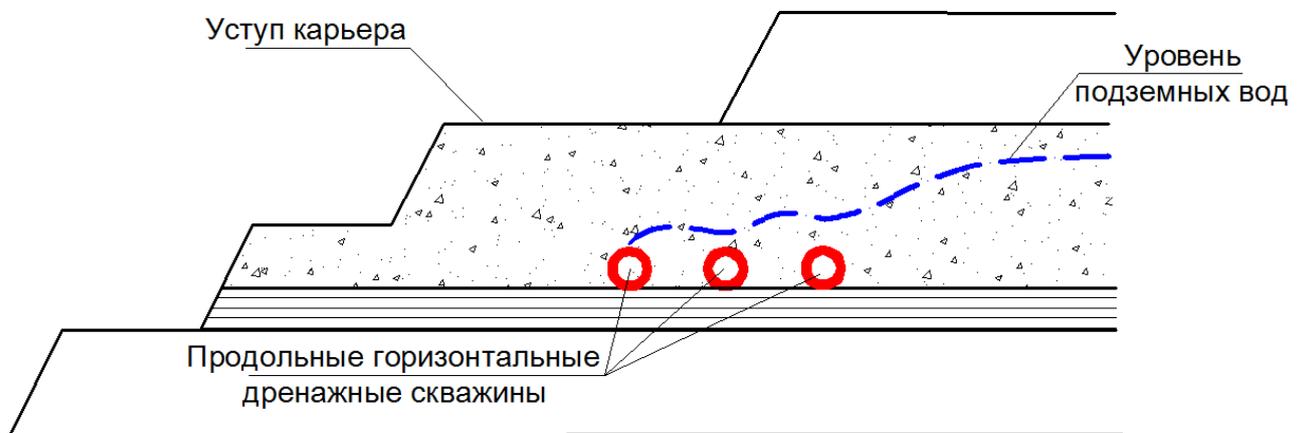


Рисунок 2.11 – Каскад продольных горизонтальных дренажных скважин при дренировании мощных обводненных толщ

При использовании предлагаемой схемы осушения прибортового массива система водоотведения остается в общепринятом виде. Дренажная вода из скважины поступает в прибортовую канаву и далее к водосборнику карьерного водоотлива.

Для бурения продольных горизонтальных дренажных скважин возможно применение установок горизонтального направленного бурения типа МНБУ-100 производства компании PrimeDrilling (Германия). [55] Общий вид буровой установки МНБУ-100 показан на рис.2.12.



Рисунок 2.12 – Общий вид буровой установки МНБУ-100.

Сооружение скважин выполняется в несколько этапов:

1. Подготовка площадки для бурения.
2. Размещение бурового и вспомогательного оборудования.
2. Бурение скважины.
3. Установка фильтра и освоение скважины.

Применение современной техники и технологии горизонтального направленного бурения, а также буровых самораспадающихся растворов позволяет выполнять строительство скважин как в крепких устойчивых, так и рыхлых породах с максимальным сохранением естественной водопроницаемости прискважинного породного массива.

При создании предлагаемой дренажной схемы необходимо учитывать технологию ведения вскрышных работ. Направление бурения дренажных скважин должно совпадать с направлением продвижения заходки экскаватора. В этом случае разрушение хвостовой части скважины не будет приводить к прекращению работы оставшейся части дренажной скважины. Необходимо также учитывать, чтобы дренажные работы выполнялись с

опережением вскрышных (добычных) работ, поэтому при проектировании необходимо выполнять расчет оптимального заглубления скважины, относительно борта карьера, с учетом эффективного времени работы скважины и максимального количества заходов.

Основные преимущества разработанной технологии осушения:

1. Способ осушения с применением продольных горизонтальных дренажных скважин достаточно мобильный и позволяет проводить осушительные мероприятия в зоне ведения вскрышных и добычных работ.

2. Предлагаемый способ может применяться для осушения как рабочих, так и постоянных бортов карьеров (разрезов).

3. Технология сооружения продольных горизонтальных дренажных скважин позволяет существенно сократить сроки сооружения дренажной системы.

4. Поскольку продольные дрены работают всей длиной, предложенный способ характеризуется высокой дренажной эффективностью.

5. При использовании предложенного технического решения гидродинамика подземного потока в прибортовом массиве позволяет ускорить получение требуемого дренажного эффекта и достичь установившегося режима фильтрации.

6. В сложных гидрогеологических условиях для достижения требуемого дренажного эффекта возможно увеличение количества продольных горизонтальных дренажных скважин.

7. Характер размещения дренажных скважин, форма и количество, особенности гидродинамики подземного потока заметно упрощают фильтрационные расчеты и моделирование проектируемых дренажных скважин.

В связи с указанными преимуществами, применение техники и технологии ГНБ для создания систем защиты месторождений полезных ископаемых от притока подземных вод имеет большие перспективы уже в ближайшем будущем и открывает новые возможности в данной области.

## 2.6 Обоснование способа осушения неоднородных в разрезе трещиноватых горных пород с помощью горизонтальных скважин

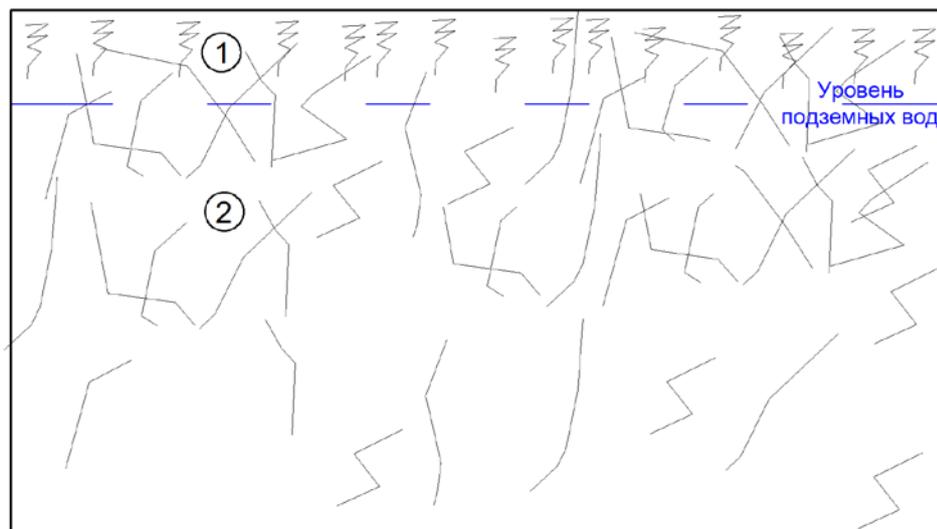
С освоением глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых все чаще возникают задачи по осушению породных массивов неоднородных в разрезе, в том числе трещиноватых.

Развитие трещиноватых пород характерно для большинства эксплуатируемых и перспективных месторождений. [56, 57, 58, 59, 60]

При этом важно подчеркнуть, что для трещиноватого массива, как правило, характерно интенсивное затухание его проницаемости с глубиной (рис.2.13), которое описывается экспоненциальной функцией вертикальной координаты, имеющей вид: [61]

$$\kappa(z) = \kappa_0 e^{-\beta z / m}, \quad (2.7)$$

где  $\kappa_0$  - значение коэффициента фильтрации у кровли трещиноватого пласта ( $z=0$ ), м/сут;  $e$  - основание натурального логарифма;  $m$  (или  $h$ ) – мощность трещиноватых пород (или глубина подземного потока), м;  $z$  – вертикальная координата, м;  $\beta$  - безразмерная постоянная, характеризующая интенсивность снижения коэффициента фильтрации пород по глубине.



1 – почвенно-растительный слой; 2 – трещиноватые породы.

Рисунок 2.13 – Расчетная схема для трещиноватой толщи обводненных пород с убывающей по глубине водопроницаемостью

Осушение трещиноватого массива горных пород - достаточно сложная задача. Проблема состоит в том, что применение дренажных устройств вертикального типа, вскрывающих полную мощность трещиноватого пласта, не позволяет осушить нижнюю, менее проницаемую часть пласта за одинаковые временные периоды. В этих условиях всегда наблюдается существенное отставание снижения уровней в нижней зоне пласта.

В связи с этим автором выполнены исследования, в результате которых разработан и гидродинамически обоснован способ осушения неоднородных в разрезе трещиноватых горных пород. [62]

При решении практических задач трещиноватую толщу целесообразно представить в виде трех или более слоев со средними значениями водопроницаемости. Разбивку трещиноватого массива на слои необходимо выполнить в соответствии известными в гидрогеологии правилами осреднения фильтрационных характеристик.

Очевидно, чтобы получить одинаковые размеры осушенных зон на всех глубинах одновременно, необходимо применять многоярусные дренажи с применением горизонтальных скважин. С этой целью трещиноватый массив представляют в виде слоистой толщи, включающей, обычно, три однородных слоя со средней проницаемостью.

Выделение слоев выполняют в соответствии с требованиями осреднения проницаемости горных пород в разрезе, то есть соотношение проницаемости на верхней и нижней границах каждого слоя не должно превышать 10. [63]

Средневзвешенное значение коэффициента фильтрации по пласту определяется интегралом:

$$K_{cp} = \frac{1}{m} \int_0^m k(z) dz \quad (2.8)$$

Поскольку изменение проницаемости трещиноватых пород с глубиной описывается экспоненциальной функцией вида (2.7)

$$K_{cp} = \frac{K_0}{\beta} (1 - e^{-\beta}) \quad (2.9)$$

Среднее значение коэффициента фильтрации для каждой из выделенных зон рассчитывается по формуле:

$$K_{cp} = \frac{1}{c-b} \int_l^b k(z) dz \quad (2.10)$$

В (2.10) обозначены:

$b$  – вертикальная ордината кровли выделенного слоя;

$c$  – вертикальная ордината подошвы выделенного слоя.

Соответственно мощность выделенного слоя будет равна

$$m_i = c_i - b_i, \quad (2.11)$$

где  $i$  – номер слоя  $i = 1, 2, 3$ .

Положение кровли ( $b_i$ ) и подошвы ( $c_i$ ) выделенных слоев назначаются в соответствии с кривой  $K(z)$ . При этом параметры, длина горизонтальных скважин и их количество, размещаемых в каждом слое, определяются по предлагаемой ниже методике, учитывающей фильтрационные особенности трещиноватого массива.

В общем случае размеры в плане осушенной зоны трещиноватого пласта определяются длиной горизонтальных скважин  $l$  и радиусом их влияния  $R(t)$ , то есть радиус осушенного участка пласта на момент времени  $t$  будет равен  $l+R(t)$ ,

$$\text{где } R(t) = 1.5 \sqrt{at} \quad (2.12)$$

Для напорного пласта

$$a = \frac{k(z)}{\beta^*} \quad (2.13)$$

$$\beta^* = n \beta_{ж} + \beta_{с}, \quad (2.14)$$

для безнапорного потока

$$a_y = \frac{k(z)h_{cp}}{\mu}, \quad (2.15)$$

$\beta$  – коэффициент упругости пласта;

$n$  – трещинная пористость горных пород;

$\beta_{ж}$  – коэффициент сжимаемости жидкости;

$\beta_c$  – коэффициент объемной упругости среды (горной породы);

$h_{cp}$  – среднее значение глубины подземного потока;

$\mu$  – коэффициент водоотдачи.

Из (2.13) – (2.15) следует, что  $R(t)$  является функцией вертикальной координаты, то есть коэффициента фильтрации выделенных слоев. Последнее означает, что радиус влияния  $R(t)$  в верхней части трещиноватого пласта будет иметь максимальные значения и минимальные у подошвы пласта – в нижнем выделенном нами слое.

В работе [64] показано, что с уменьшением по глубине водопроницаемости пород длину горизонтальных дренажных скважин следует увеличивать, в то время как в верхней, наиболее проницаемой зоне, для достижения такого же дренажного эффекта потребуется сооружение горизонтальных скважин меньшей длины. Поэтому для достижения равновеликих осушенных зон по глубине необходимо длину горизонтальных скважин назначать с учетом функциональной зависимости водопроницаемости пород от вертикальной координаты.

Для этого, учитывая обратно пропорциональную связь длины горизонтальных скважин с коэффициентом фильтрации  $k(z)$ , кривую 1, описывающую изменение водопроницаемости в разрезе пласта, надлежит обернуть на  $180^\circ$  вокруг горизонтальной оси, проведенной через середину пласта мощностью  $m$  (точку  $z = m / 2$ ) и получить кривую 2 (см.рис.2.14).

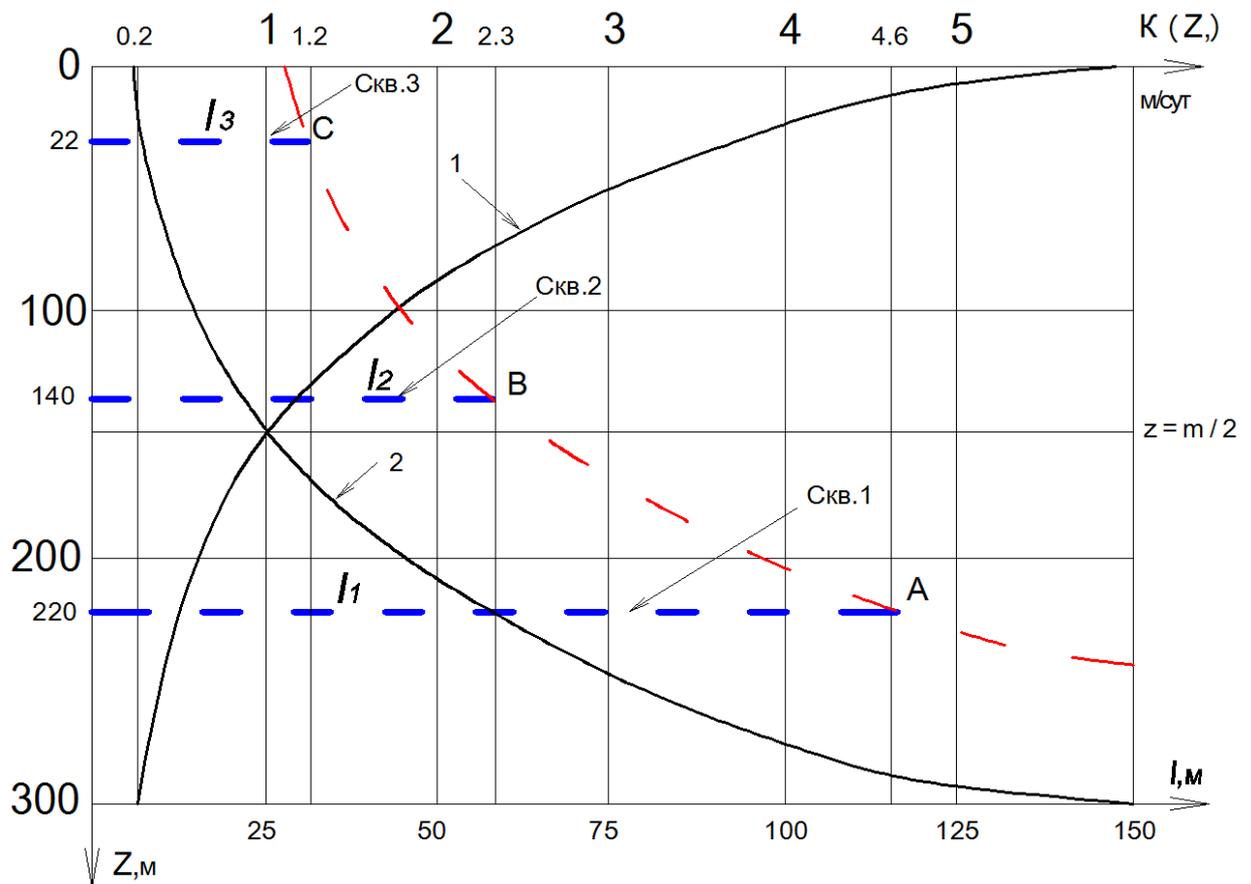


Рисунок 2.14 – Кривая для определения длины горизонтальных скважин

В первую очередь устанавливают длину горизонтальной скважины в самом нижнем слое пласта, где она должна иметь максимальную протяженность, которая в большинстве случаев определяется проектными данными и технической возможностью применяемого бурового оборудования.

Для назначения длины горизонтальных скважин на верхних ярусах кривую 2 перемещают вдоль горизонтальной оси ( $z = m / 2$ ) параллельно самой себе, до пересечения с первой скважиной в точке А (забой). В этом случае длина горизонтальных скважин выше расположенных ярусов ограничивается перемещенной кривой 2 (точки В и С на рис.2.14)

Радиусы влияния скважин в каждом слое вычисляются по формуле (2.12). Дренажные скважины для получения максимального снижения уровней вод закладываются у подошвы дренируемых слоев.

Дальнейший расчет дренажа для каждого слоя выполняется в

следующем порядке.

По соотношению (2.11) находят мощности выделенных слоев;

$$m_1 = c_1 - b_1 = c_1 - 0;$$

$$m_2 = c_2 - b_2 \quad (b_2 = c_1);$$

$$m_3 = c_3 - b_3 \quad (b_3 = c_2).$$

Средневзвешенные значения коэффициентов фильтрации пород каждого слоя вычисляют по формуле (2.10).

Дебит дренажных скважин по каждому слою рассчитывают по формуле «большого колодца»:

$$Q = \frac{2\pi TS}{\ln \frac{R+r}{r}}, \quad (2.16)$$

где  $T$  – проводимость выделенного водоносного слоя ( $k_i m_i$ );

$S$  – понижение уровня вод над дренаей;

$r$  – приведенный радиус «большого колодца», равный  $r = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$ ,

$F$  – площадь, ограниченная крайними горизонтальными скважинами и линиями, соединяющими их забои;

$r$  – радиус питания, равный  $r = \sqrt{\frac{T}{a}}$ .

При проведении фильтрационных расчетов каждую горизонтальную скважину разбивают на 5 равных отрезков длиной  $\Delta l_i$  с заменой каждого из них эквивалентной вертикальной скважиной, располагаемой в середине отрезка.

Затем вычисляют дебит каждой эквивалентной скважины с учетом, что приток воды на один метр длины горизонтальной скважины с удалением от ее устья увеличивается по линейному закону, то есть:

$$Q'_1 = 0.1 \times 2q \Delta l_i;$$

$$Q'_2 = 0.3 \times 2q \Delta l_i;$$

$$Q'_3 = 0.5 \times 2q \Delta l_i;$$

$$Q'_4 = 0.7 \times 2q \Delta l_i;$$

$$Q'_5 = 0.9 \times 2q \Delta l_i,$$

где  $q$  – дебит, приходящийся на 1 м длины скважины.

После выполнения этих операций вычисление понижения уровня подземных вод в любой произвольной точке слоя вычисляется по зависимости:

$$S = \frac{1}{4\pi T} \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^5 Q_i W_i \left( u_i, \frac{\rho_i}{B_i} \right), \quad (2.17)$$

где  $u_i = r_i^2 / 4at$ ;

$\rho_i$  – расстояние от вертикальной скважины до произвольной точки пласта;

$B_i$  – радиус влияния дренажа;

$W(u, \rho_i, B)$  – табулированная функция. [61]

В силу принятых общеизвестных допущений о гидродинамической независимости выделенных слоев, о приведенном радиусе «большого колодца» и др., изложенная методика расчета многоярусного дренажа с помощью горизонтальных скважин является приближенной, но приемлемой для проведения практических расчетов.

В рассматриваемом случае эффективно также применение полого-восстающих скважин, пересекающих мощность выделенного интервала.

В рассматриваемом случае с некоторым приближением получим

$$l_1 + R(t)_1 = l_2 + R(t)_2 = l_3 + R(t)_3 = l_i + R(t)_i, \quad (2.18)$$

то есть размеры осушенных зон в плане в каждом выделенном слое трещиноватого пласта окажутся практически близкими.

Положительные результаты исследования эффективности

многоярусных дренажей в различных пластовых условиях позволяют определить параметры комплексных систем осушения, обеспечить необходимый уровень и равномерность осушения трещиноватых массивов горных пород. Гидродинамическое обоснование многоярусного дренажа в связи с известными математическими трудностями рекомендуется выполнять методами математического моделирования.

#### Выводы:

1. Разработка способа осушения бортов карьеров с помощью горизонтальных дренажных скважин в виде замкнутого контура позволяет минимизировать «проскок» подземных вод к бортам карьеров за счет устранения влияния техногенного фактора дискретности размещения дренажных устройств в водоносном горизонте.

2. Результатами выполненных исследований установлена оптимальная эффективная конфигурация дренажного узла для дренирования мощных и проницаемых обводненных пластов, которая состоит из 5-ти горизонтальных скважин, ориентированных в направлении осушаемого борта, с углом между ними в интервале 25-30°.

3. Способ осушения бортов карьеров с помощью продольных горизонтальных дренажных скважин, сооружаемых каскадом и пробуренных с помощью современной техники и технологии горизонтального направленного бурения, обеспечивает требуемые параметры осушения борта карьера при его отработке.

4. Осушение массива трещиноватых пород, характеризующихся закономерным затуханием водопроницаемости с глубиной, достигается с применением многоярусного дренажа с помощью горизонтальных скважин.

### **3 Гидродинамическое обоснование способов осушения бортов карьеров**

При проектировании систем осушения месторождений полезных ископаемых выполняются гидрогеологические расчеты дренажных устройств. На основе этих расчетов разрабатывают принципиальные схемы осушения, выбирают их тип, количество и параметры дренажных устройств, определяют водопритоки к ним, на основании которых выполняют подбор водоотливного оборудования.

В условиях, когда для расчета водопритоков в горные выработки и к дренажным устройствам необходимо учесть множество природных и техногенных факторов, а проектируемая система осушения имеет сложную конфигурацию, традиционные методы расчетов (метод аналогий, водного баланса, аналитический) могут давать значительные погрешности.

Погрешности в результатах аналитических расчетов являются следствием схематизации реальных природных условий, осреднения гидрогеологических параметров, приближенности аналитических решений и др. Решения, полученные В.И.Аравиным, П.А. Анатольевским, Б.В. Боровским, В.А.Мироненко, П.Я. Полубариновой-Кочиной, Ю.В. Пономаренко, Г.А. Разумовым, В.М. Чуйко и др., в достаточной мере способны охарактеризовать только относительно простые схемы осушения. [65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 1, 39, 34]

Для рассматриваемых в работе способов осушения пространственный характер фильтрационного потока и сложная конфигурация дренажных устройств не позволяют преодолеть математические трудности и получить строгие аналитические решения. В случае многовариантности возможных схем осушения выполнение расчетов указанными способами процесс длительный и трудоемкий. Поэтому 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. [72, 73, 74, 75, 76, 39, 77, 78, 79]

В 1994 году ОАО «ВАОГЕМ» приобрел в США лицензионную программу 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. Программа GMS разработана лабораторией Инженерной компьютерной графики Брикхемского Университета США с целью обеспечения пользователя эффективным инструментом моделирования в области гидрогеологии. В настоящее время в институте используется версии 5.1 программы GMS.

С помощью программы GMS ОАО «ВАОГЕМ» обосновал и разработал системы осушения месторождений полезных ископаемых на многих объектах России, Украины, Казахстана, Белоруссии, Нигерии, Вьетнама, и др.

### **3.1 Структура программы GMS**

Комплексная программа GMS объединяет ряд самостоятельных программ - Modflow, Modpath, MT3D, Femwater и SEEP2D, с помощью которых возможно смоделировать практически все природные и техногенные условия фильтрации и массопереноса в трехмерных средах с неограниченным количеством пластов, а также профильную фильтрацию. В таблице 3.1 приведен список основных программ системы GMS и их назначение. [80]

Таблица 3.1. Список основных программ системы GMS (версии 5.1.) и их назначение

Программа	Назначение
<i>MODFLOW</i>	Построение трехмерной модели фильтрации подземных вод с использованием метода конечных разностей. Программа MODFLOW разделена на серию пакетов, каждый из которых моделирует определенные граничные условия, отражающие питание и разгрузку водоносных горизонтов. Всего в этой программе реализовано 8 пакетов, позволяющих моделировать реки, водоемы, работу дренажей, скважин и противофильтрационных завес, а также учитывать инфильтрационное питание и испарение в зоне аэрации.
<i>MODPATH</i>	Позволяет отслеживать траекторию движения набора частиц из определенного пользователем начального расположения, используя при этом решение MODFLOW для поля потока. Решения по отслеживанию частиц имеют множество применений, включая определение зон влияния скважин.
<i>FEMWATER</i>	Построение трехмерных моделей потока и массопереноса методом конечных элементов.
<i>SEEP2D</i>	Построение двумерной конечно-элементной модели потока для решения профильных задач фильтрации.
<i>MT3D</i>	Для создания трехмерных моделей массопереноса в потоке подземных вод. MT3D состоит из основной программы и достаточно независимых подпрограмм (пакетов), каждая из которых позволяет учесть один из аспектов моделирования миграции (конвективный перенос, дисперсию, смешивание, молекулярную диффузию и т.д.). MT3D используется совместно с MODFLOW.

Все эти программы, будучи самостоятельными, тесно взаимосвязаны и имеют общий модульный интерфейс, обеспечивающий обмен данными внутри системы на единой методической основе.

Интерфейс GMS включает 11 модулей, представленных в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Список модулей программы GMS (версии 5.1.) и их назначение

Модуль	Назначение
<i>TIN</i>	Моделирование поверхности с помощью триангуляционной нерегулярной сети (TINs). Отметки высот или другие значения, связанные с TINs, могут отображаться с помощью контуров. TINs используются для построения геологических моделей территории и трехмерной сетки конечных элементов.
<i>Borehole</i>	Визуализация и редактирование данных буровых скважин.
<i>Solid</i>	Для построения трехмерных геологических моделей. Возможно создание разрезов по выбранным направлениям. Геологическая модель может быть использована для определения данных по мощности слоя для численных моделей, таких как MODFLOW.
<i>2D Mesh</i>	Для создания двумерной сетки конечных элементов. Этот модуль также содержит интерфейс SEEP2D.
<i>2D Grid</i>	Для создания и редактирования двумерных прямоугольных сеток. Этот модуль используется для визуализации поверхности и оконтуривания при интерполяции данных из модуля 2DScatterPoint. Данные из 2DGrid могут быть затем перенесены в численные модели, такие как MODFLOW.
<i>2D Scatter Point</i>	Инструмент двумерной геостатистики. Этот модуль используется для интерполяции из двумерного набора рассеянных отметок к другим типам объектов (таким как сетки Mesh или Grid, TIN).
<i>3D Mesh</i>	Для создания и редактирования трехмерной сетки конечных элементов. Также содержит интерфейс FEMWATER и др. программ.
<i>3D Grid</i>	Для создания трехмерных прямоугольных сеток. Эти сетки могут использоваться для трехмерной интерполяции, представления разрезов, изоповерхностей и моделирования методом конечных разностей. Модуль содержит интерфейс программ MODFLOW, MT3D, MODPATH и др.
<i>3D Scatter Point</i>	Инструмент трехмерной геостатистики. Этот модуль используется для интерполяции из трехмерного набора рассеянных точек в другой тип данных (3DMesh, 3DGrid).
<i>Map</i>	Построение концептуальных моделей. Возможность добавления примечаний к чертежу, представления цифровых карт и рисунков

	AutoCAD.
<i>GIS</i>	Отображение данных из базы данных ГИС. Возможность перевода их в типы данных GMS для дальнейшего использования в построении модели потока подземных вод.

При гидрогеологических расчетах, разработанных автором способов осушения, применялась программа *MODFLOW* с использованием модулей *2D Grid, 2D Scatter Point, 3D Grid, Map*.

Обоснование способа осушения методом математического моделирования выполняется в несколько этапов:

- компьютерная обработка первичной исходной информации;
- построение геофильтрационной модели;
- многовариантные прогнозные расчеты схем осушения.

### **3.2 Компьютерная обработка исходной информации**

На первом этапе моделирования выполняется анализ и обработка исходной гидрогеологической, геологической и гидрологической информации исследуемого района. Выполняется схематизация природных и техногенных условий, отстраиваются карты подошвы и кровли водоносных горизонтов и водоупорных пластов, уровней подземных вод, которые будут использованы при построении геофильтрационной модели исследуемого района. Анализируются фильтрационные свойства горных пород по площади и в вертикальном разрезе согласно результатам гидрогеологических, инженерно-геологических и геофизических исследований.

Обработка исходной информации осуществляется с использованием модулей программного комплекса GMS (см. табл. 3.2).

### 3.3 Построение геофильтрационной модели

После обработки необходимого набора исходных данных строится региональная объемная модель геофильтрации, охватывающая все объекты, попадающие в зону влияния проектируемой системы осушения и оказывающие то или иное воздействие на процесс осушения (замедление или ускорение снижения уровней подземных вод, увеличение или уменьшение водопритоков и др.).

Геофильтрационная модель разрабатывается на основе программы Modflow, которая позволяет реализовать нестационарную трехмерную фильтрацию подземных вод в неоднородных водоносных горизонтах. Данная программа допускает моделирование напорных, безнапорных и напорно-безнапорных водоносных пластов, позволяет обрабатывать ситуации полного осушения блоков и восстановления уровня подземных вод в сухих блоках.

Программа основана на методе конечных разностей с разбивкой области фильтрации на прямоугольные блоки в плане и переменной высоты в разрезе. Эта программа является наиболее используемой при решении широкого спектра фильтрационных задач в США, Западной Европе и России.

В практике осушения месторождений чаще приходится рассматривать трехмерное движение подземных потоков в напорных пластах конечной мощности неограниченных в плане.

Для исследования эффективности предлагаемых способов осушения, в частности узловой схемы размещения горизонтальных скважин, образующей замкнутый дренажный контур, использовалась программа Modflow.

Дифференциальное уравнение для трехмерного движения подземных вод, используемое в Modflow, записывается как:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) \pm W = \eta \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (3.1)$$

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;

$\eta$  - коэффициент упругоэластичности породы, 1/м;

$t$  - время, сут.

Уравнение в совокупности с заданными граничными и начальными условиями дает математическое представление системы фильтрации подземных вод. Программа Modflow в качестве расчетного алгоритма использует метод конечных разностей, в рамках которого уравнение сводится к системе линейных алгебраических уравнений. Моделируемый водонасыщенный массив представляется совокупностью элементарных прямоугольных блоков, между которыми фиксируется баланс расходов подземных вод при заданных фильтрационных параметрах.

В данной программе предусмотрено 3 способа решения: SIP (преобладающий неявный метод), PCG (метод сопряженных градиентов) и SOR (метод последовательных средств при избыточной релаксации).

Построение модели включает следующие этапы:

- определение площади и границ моделирования;
- разбивка модели в плане и в разрезе на элементы согласно схематизации;
- определение граничных условий;
- задание исходных массивов моделирования;
- первичные расчеты;
- калибровка модели.

Последний этап построения модели (калибровка численной модели геофильтрации) выполняется путем решения "обратной задачи" (эпигнозное моделирование). Она заключается в поиске оптимальных параметров, соответствующих минимальному расхождению модельных и фактических

значений уровней подземных вод и притоков воды в горные выработки. Результаты решения «обратной задачи» отображают распределение фактических и модельных уровней и водопритокков и свидетельствуют о том, что разработанная фильтрационная модель адекватно отражает фактическую ситуацию в исследуемом районе.

В настоящее время обоснование систем осушения с применением компьютерного моделирования предусматривается во всех проектных работах. Это дает возможность достаточно быстро прорабатывать многие десятки вариантов параметров дренажных устройств, их размещения и плотности, а также определять водопритокки дренажных вод к отдельным элементам дренажной системы, и, в конечном счете, выбирать оптимальный и наиболее эффективный вариант защиты горных выработок от обводнения.

Изучение эффективности осушения обводненной толщи с заданными фильтрационными параметрами выполнялось посредством исследования определенных дренажных схем. Из теоретических предпосылок вытекало, что варианты расположения дренажных скважин относительно обводнённого борта карьера могут обеспечивать существенно разный эффект осушения.

Схема осушения с минимальным дренажным эффектом включала одну дренажную скважину, заложенную нормально линии простирания борта карьера (схема А) (рис.3.1).



Рисунок 3.1 – Схема А

Вторая схема состоит из как минимум двух горизонтальных скважин, пройденных у подошвы дренируемого водоносного горизонта и расположенных близко к линии простирания борта карьера (схема Б1).  
Рис.3.2.



Рисунок 3.2 – Схема Б1

Эта схема характеризуется максимальными притоками к скважинам, поскольку полностью пересекает поток подземных вод, движущийся к борту карьера.

Учитывая предложения автора по созданию замкнутого дренажного контура, вторая схема должна выглядеть как показано на рис.3.3, которая практически близка к схеме Б1, поскольку запасы воды в части водоносного пласта, в границах треугольника ABC очень ограничены и притоки за их счет к борту карьера также будут минимальными и кратковременными.

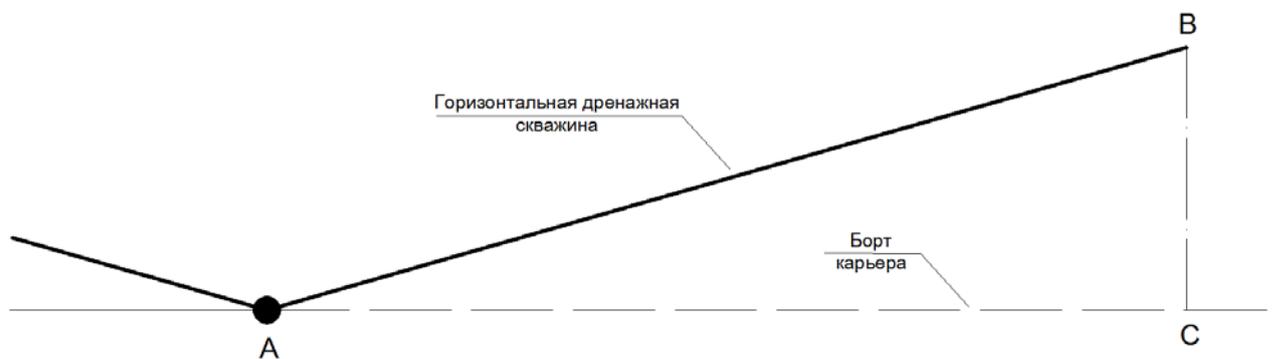


Рисунок 3.3 – Схема Б2.

### 3.4 Исследование на модели эффективности схем осушения для различных гидрогеологических условий

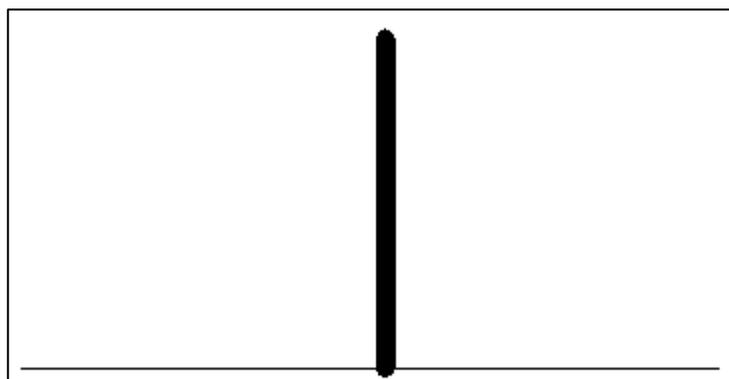
Выбору схем осушения, которые исследовались для оценки эффективности для различных гидрогеологических параметрах обводненной толщи, предшествовали исследования влияния угла заложения горизонтальных скважин относительно линии простирания борта карьера (см.п.2.2), многовариантное прогнозное моделирование 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.

Исследование эффективности схем осушения для различных гидрогеологических условий выполнено с использованием комплексной программы GMS (версии 5.1) в условиях однородного неограниченного безнапорного пласта.

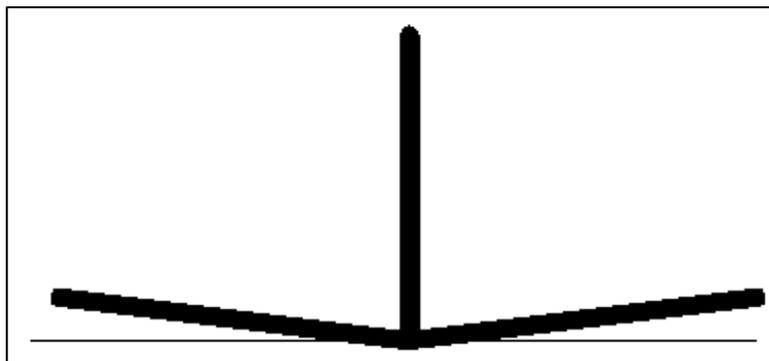
Из анализа теоретических решений следует, что эффективность дренажных мероприятий является функцией нескольких независимых параметров, поэтому исследования выполнялись по принципу поочередного изучения влияния каждого фактора. Однофакторные опыты позволяли всесторонне изучить влияния каждого из них на эффективность дренажа. Для каждого из перечисленных факторов ставилась отдельная серия экспериментов.

Исследования выполнены для следующих схем:

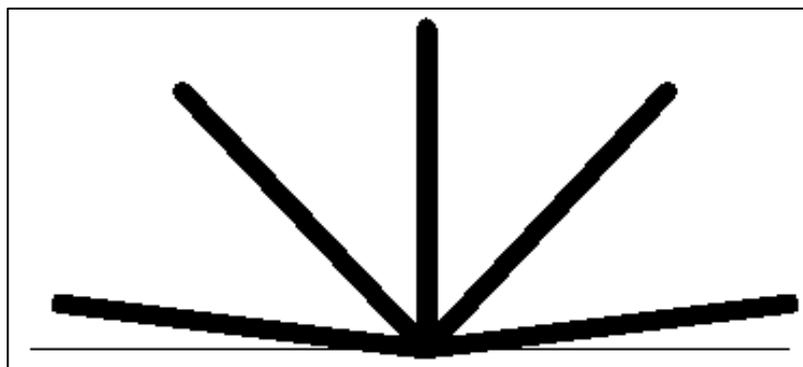
А) единичная горизонтальная дренажная скважина;



Б) узел из трех горизонтальных дренажных скважин;



В) узел из пяти горизонтальных дренажных скважин;



Для каждой из исследуемых схем задавались следующие параметры водоносного пласта:

1) коэффициент фильтрации (Кф):

- 0,3 м/сут;

- 1 м/сут;

- 2 м/сут;

- 5 м/сут.

2) обводненная мощность (m):

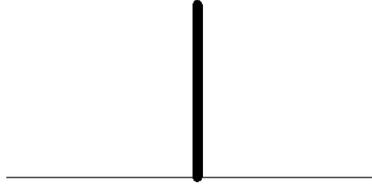
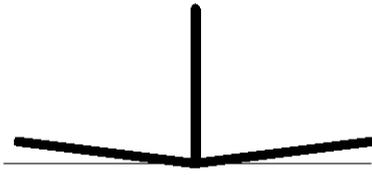
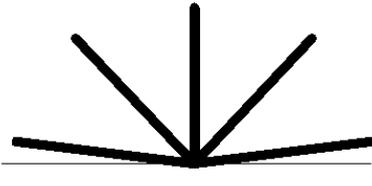
- 2 м;

- 10 м.

Показателем эффективности дренажа служила величина остаточного напора в зоне влияния дренажных скважин. Показатели остаточного напора снимались на расстоянии 5, 50 и 100 м от забоя скважины.

Результаты моделирования исследуемых дренажных схем приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Результаты моделирования исследуемых дренажных схем

Схема	Мощность обводненного пласта, м	Коэф. фильтрации, м/сут	Длина скважины, м	Остаточный напор на удалении от скважины, м			
				на 5 м	на 50 м	на 100 м	
А) 	2	0,3	100	1,16	1,49	1,69	
		1		1,11	1,41	1,61	
		2		1,07	1,37	1,56	
		5		1,06	1,35	1,54	
	10	0,3		6,80	7,65	8,28	
		1		6,49	7,33	7,96	
		2		6,30	7,14	7,76	
		5		6,22	7,06	7,68	
	Б) 	2		0,3	1,05	1,38	1,61
				1	1,00	1,29	1,51
				2	0,96	1,25	1,46
				5	0,95	1,23	1,44
10		0,3	5,48	6,53	7,41		
		1	5,12	6,14	7,00		
		2	4,92	5,92	6,76		
		5	4,83	5,82	6,66		
В) 		2	0,3	0,88	1,21	1,49	
			1	0,83	1,13	1,39	
			2	0,8	1,09	1,34	
			5	0,79	1,07	1,32	
	10	0,3	4,14	5,45	6,64		
		1	3,84	5,09	6,23		
		2	3,67	4,89	6,00		
		5	3,60	4,80	5,90		

Графики, характеризующие величину остаточного напора на определенном удалении от забоя горизонтальной дренажной скважины в зависимости от заданных параметров обводненной толщи, показаны на рис.3.4-3.9.

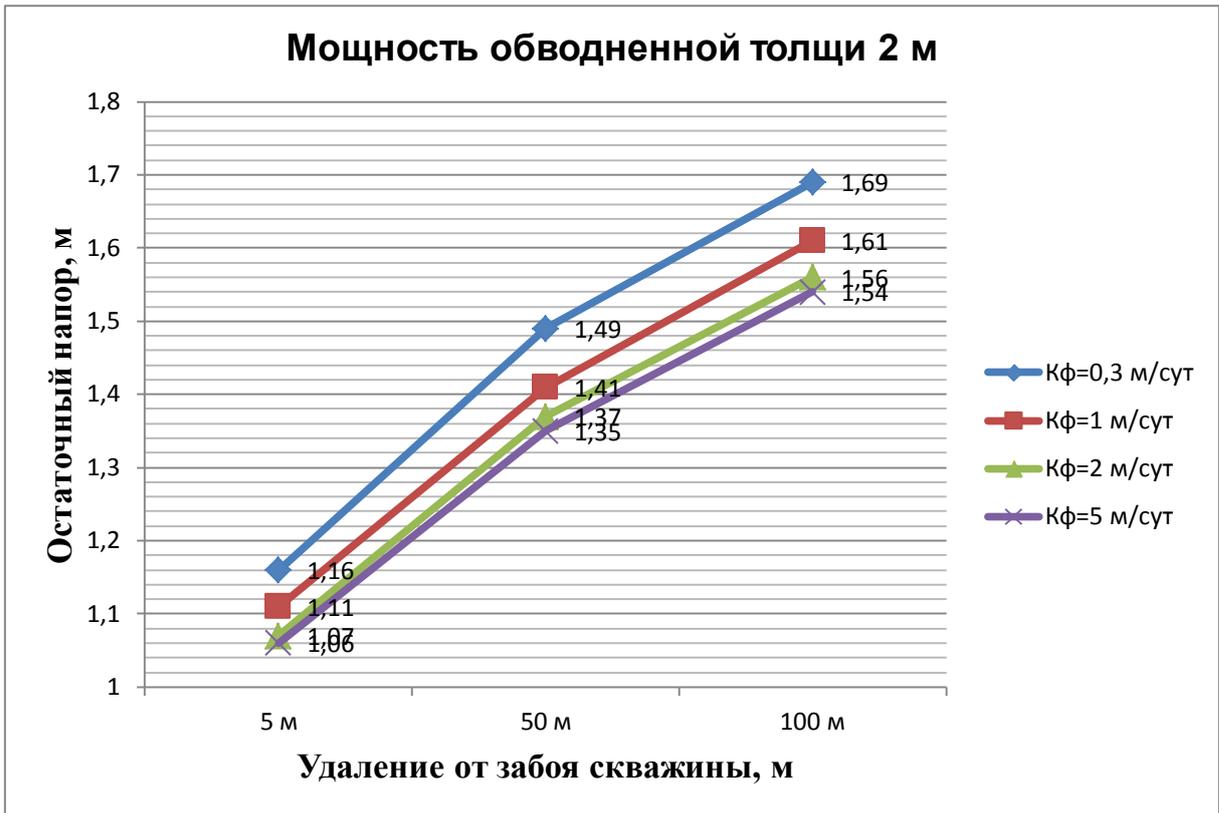


Рисунок 3.4 – График изменения величины остаточного напора при дренаже обводненной толщи мощностью 2 метра (Схема А)

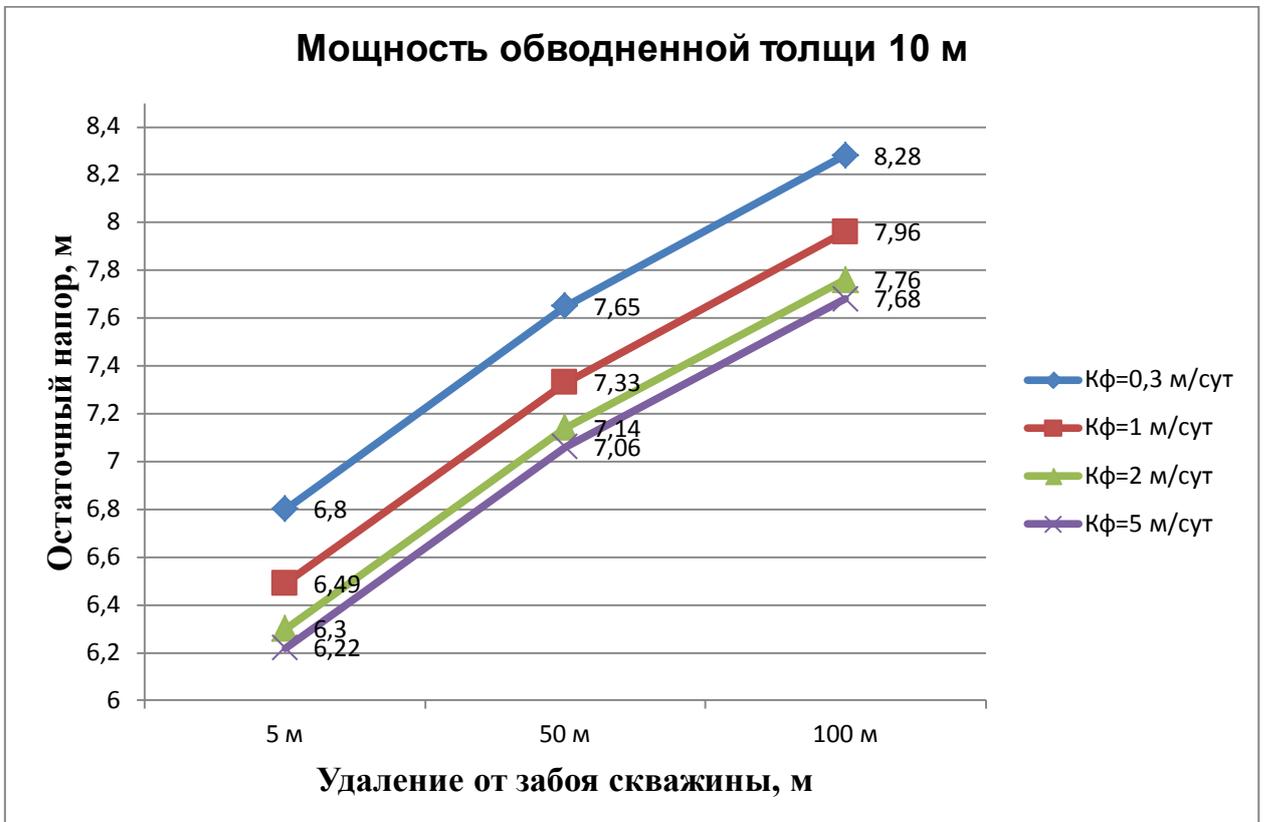


Рисунок 3.5 – График изменения величины остаточного напора при дренаже обводненной толщи мощностью 10 метров (Схема А)

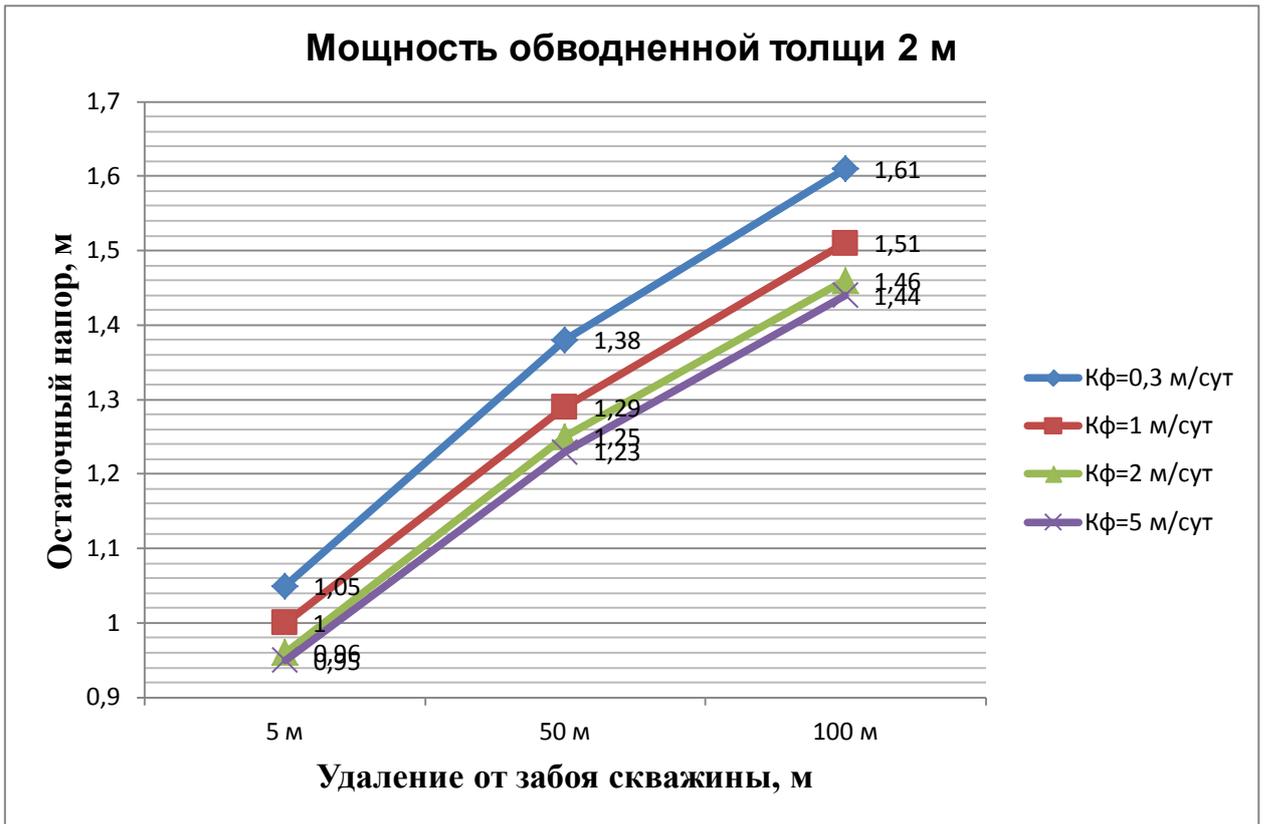


Рисунок 3.6 – График изменения величины остаточного напора при дренаже обводненной толщи мощностью 2 метра (Схема Б)

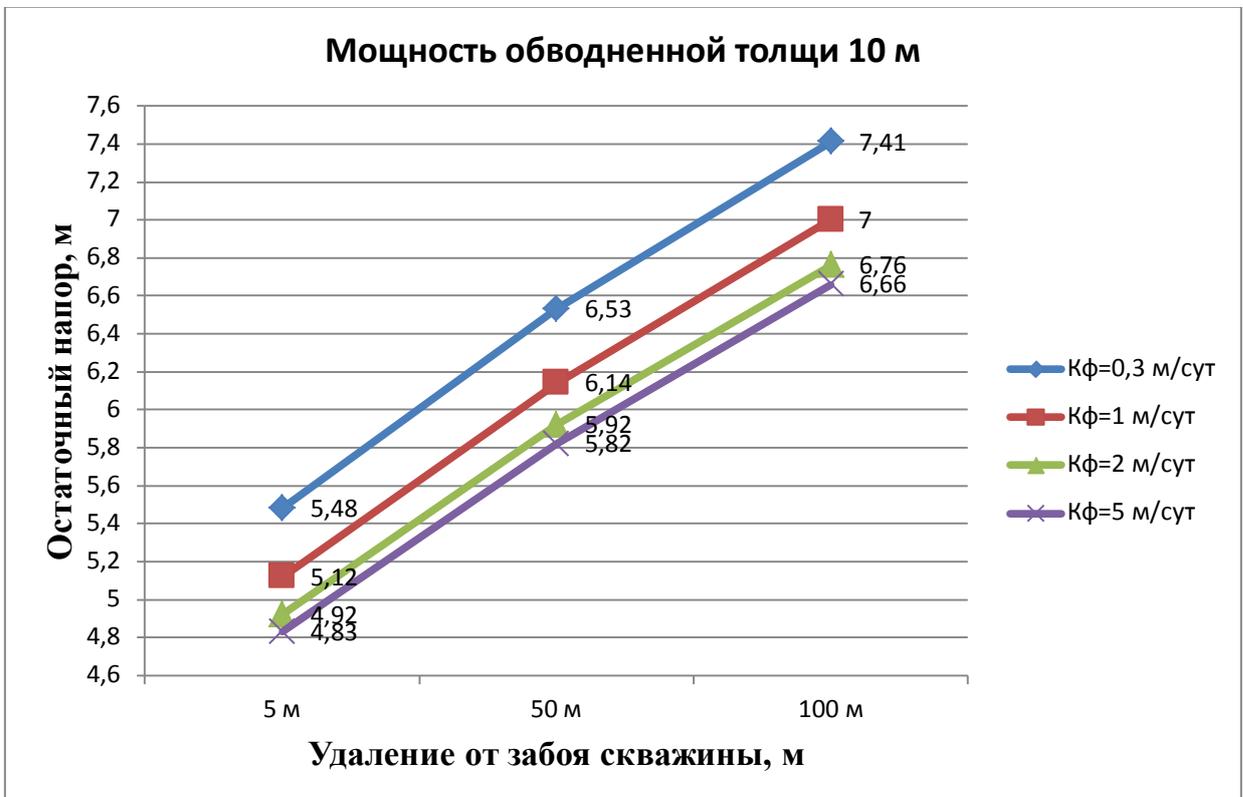


Рисунок 3.7 – График изменения величины остаточного напора при дренаже обводненной толщи мощностью 10 метров (Схема Б)

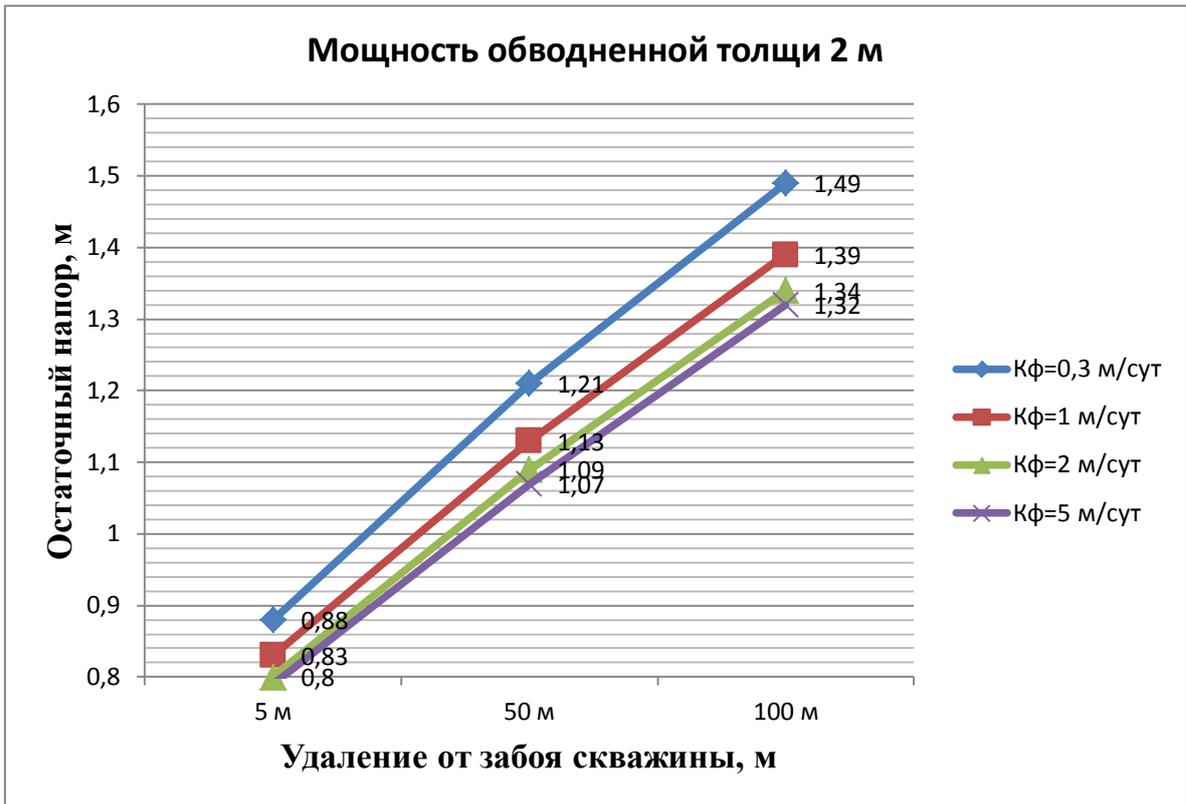


Рисунок 3.8 – График изменения величины остаточного напора при дренаже обводненной толщи мощностью 2 метра (Схема В)

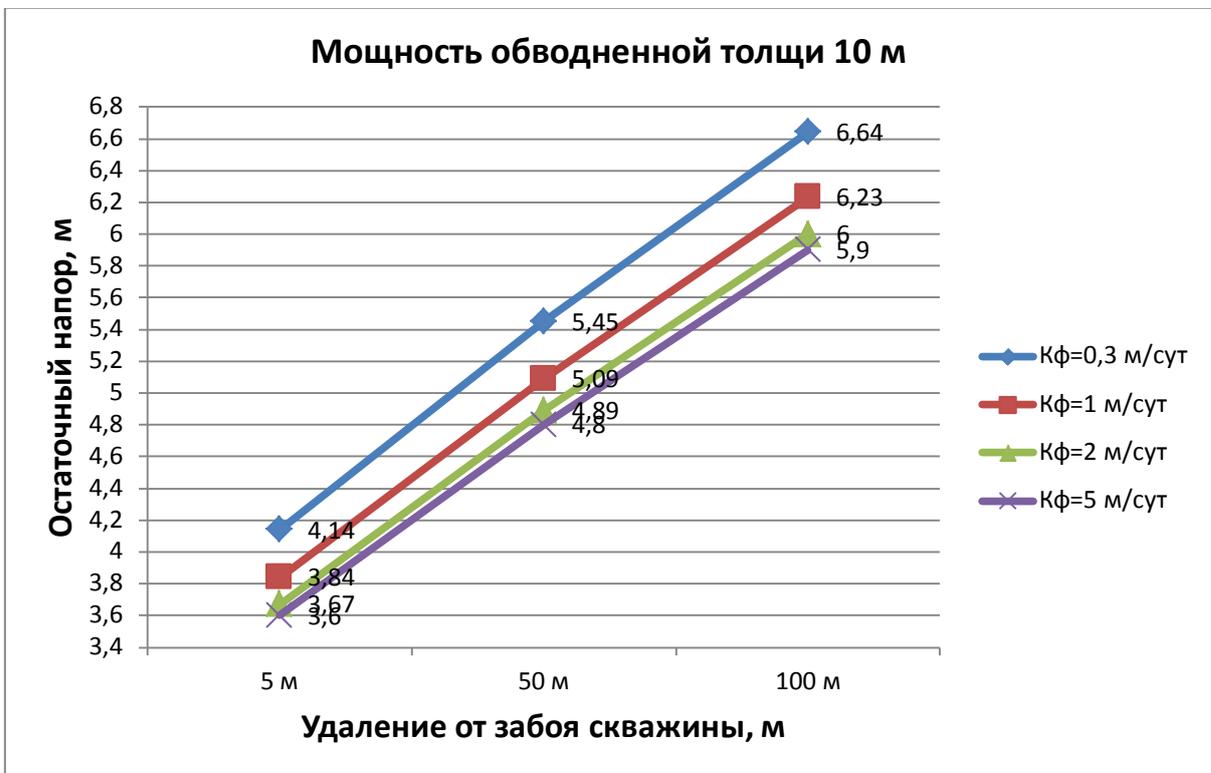
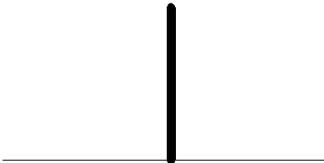
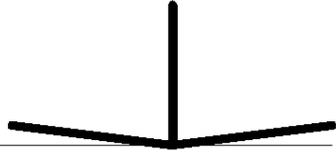


Рисунок 3.9 – График изменения величины остаточного напора при дренаже обводненной толщи мощностью 10 метров (Схема В)

Водопритоки к горизонтальным скважинам при реализации различных схем дренажа обводненной толщи приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4. Водопритоки к горизонтальным скважинам при реализации различных схем дренажа обводненной толщи

Число скважин	Мощность пласта, м	Кф, м/сут	Приток, м <sup>3</sup> /сут			
			10 день	30 день	60 день	360 день
А) 	2	0,3	3,9	3,4	3,0	2,0
		1	12,3	10,1	8,6	5,6
		2	23,2	18,4	15,5	10,4
		5	56,3	43,9	36,7	24,8
	10	0,3	30,5	28,6	27,1	23,4
		1	98,6	90,8	85,6	73,5
		2	192,5	175,4	164,5	141,4
Б) 	2	0,3	9,0	7,5	6,3	3,4
		1	27,5	21,1	16,6	8,8
		2	51,2	36,9	28,2	15,5
		5	123,1	86	65,2	36,5
	10	0,3	69,6	62,5	56,7	42,1
		1	220,5	190,1	168,9	125
		2	422,8	355,1	313,1	232,7
В) 	2	0,3	15,7	12,0	9,1	4,0
		1	46,2	30,9	21,7	10,3
		2	83,1	50,8	35,1	17,8
		5	196,1	115,3	79,8	41,9
	10	0,3	121,7	99,6	82,7	52,6
		1	369,9	280,3	228	151,1
		2	686,3	498,5	406,7	276,5
		5	1649,1	1178,4	965,7	663,9

Графики, характеризующие дебит горизонтальных дренажных скважин в зависимости от заданных параметров обводненной толщи и схем осушения, показаны на рис.3.10-3.15.

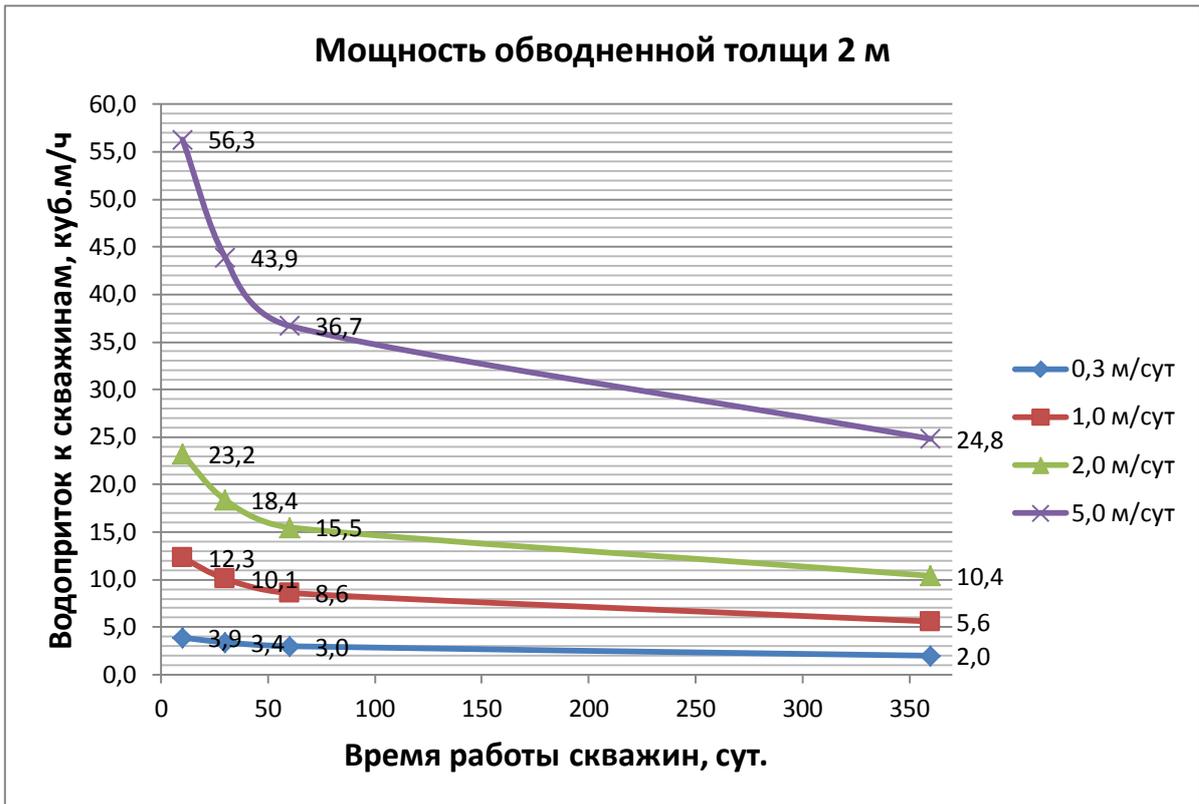


Рисунок 3.10 – Изменение дебита горизонтальных скважин при дренаже обводненной толщи мощностью 2 метра (Схема А)

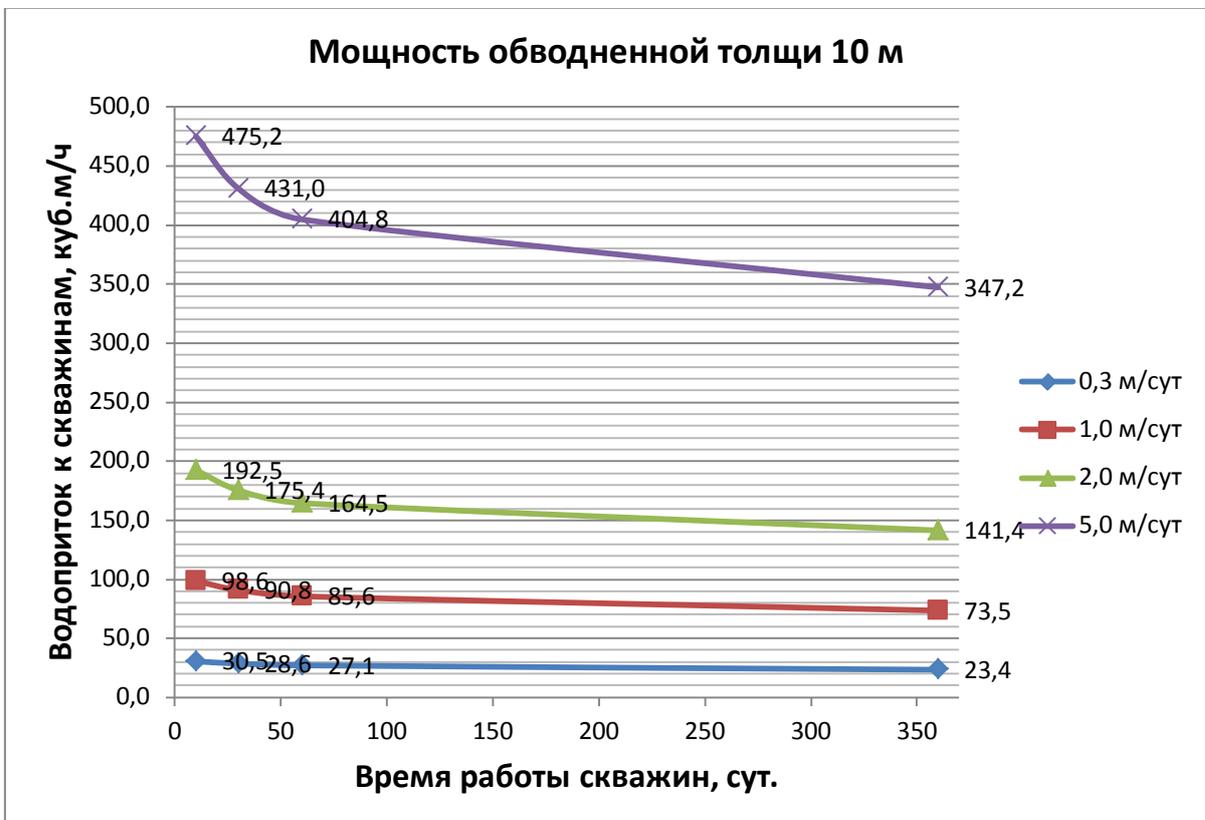


Рисунок 3.11 – Изменение дебита горизонтальных скважин при дренаже обводненной толщи мощностью 10 метров (Схема А)

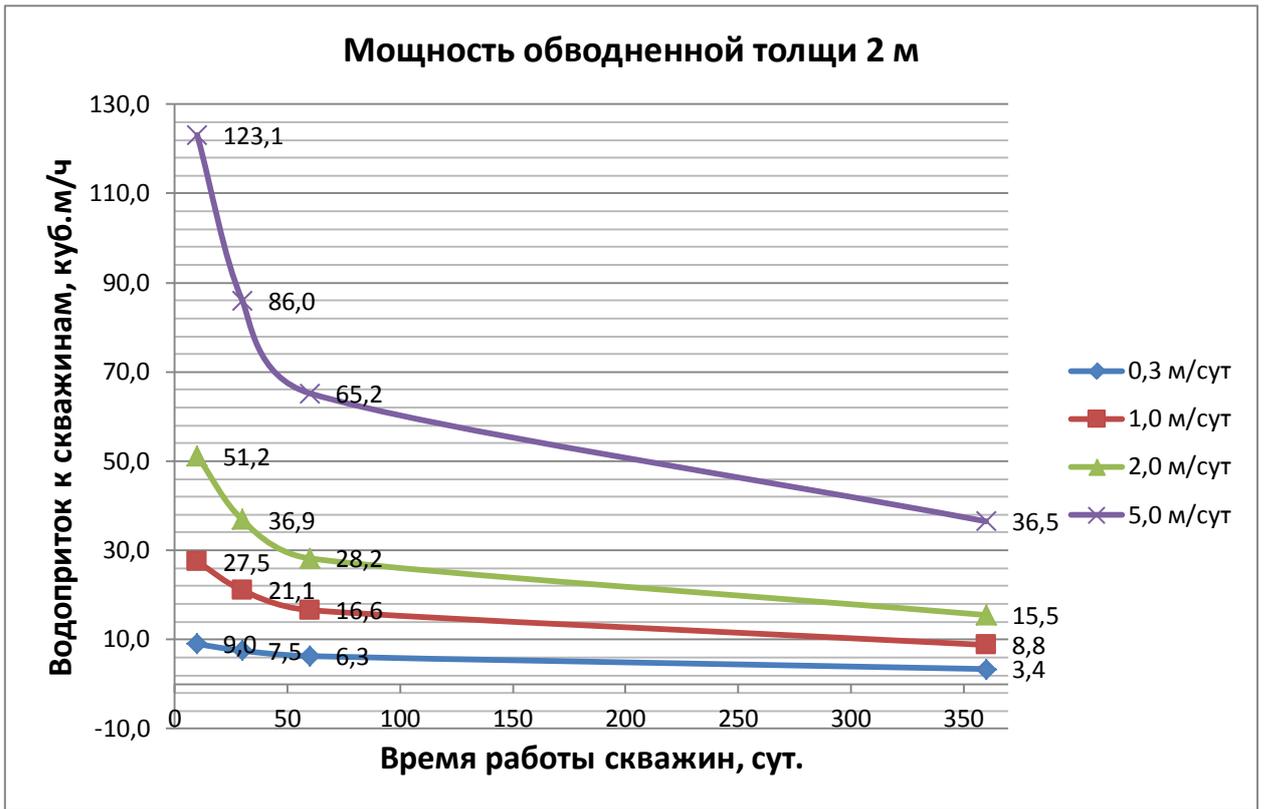


Рисунок 3.12 – Изменение дебита горизонтальных скважин при дренаже обводненной толщи мощностью 2 метра (Схема Б)

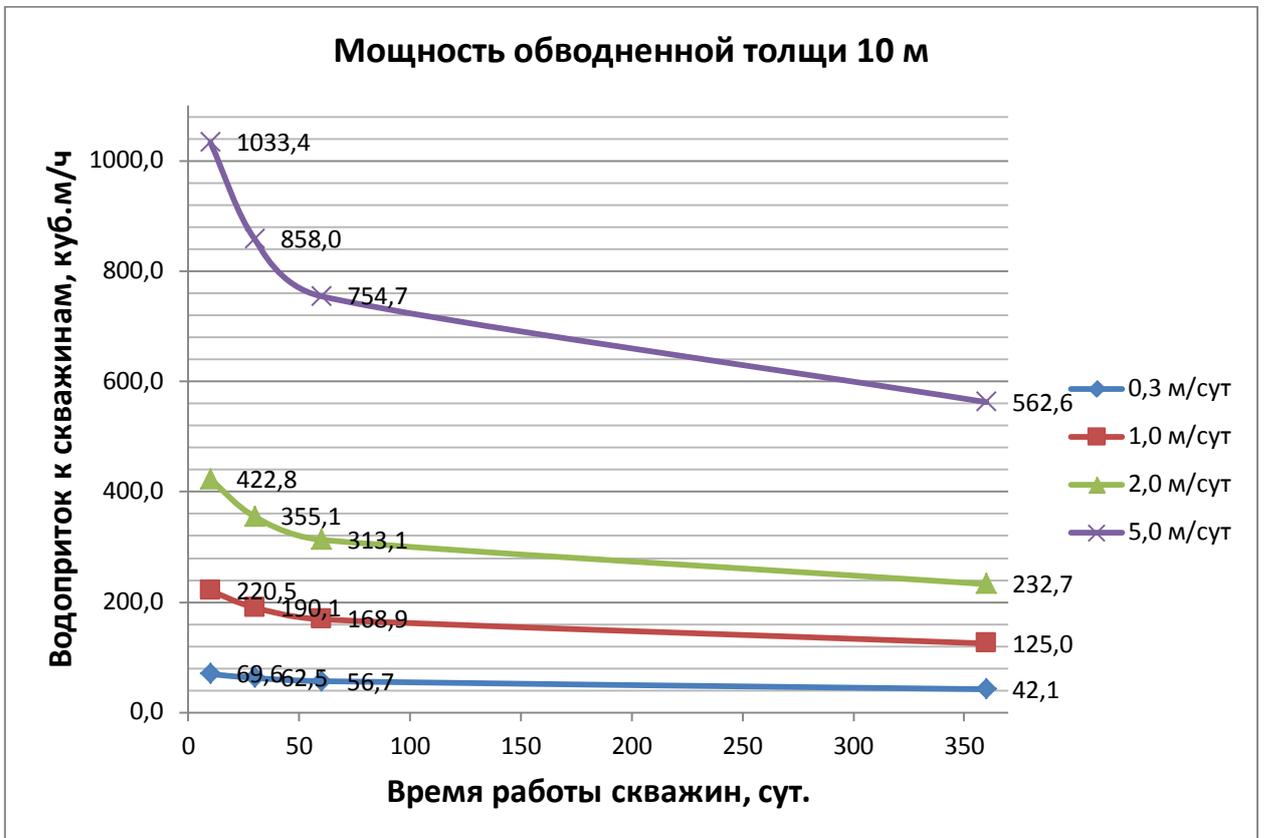


Рисунок 3.13 – Изменение дебита горизонтальных скважин при дренаже обводненной толщи мощностью 10 метров (Схема Б)

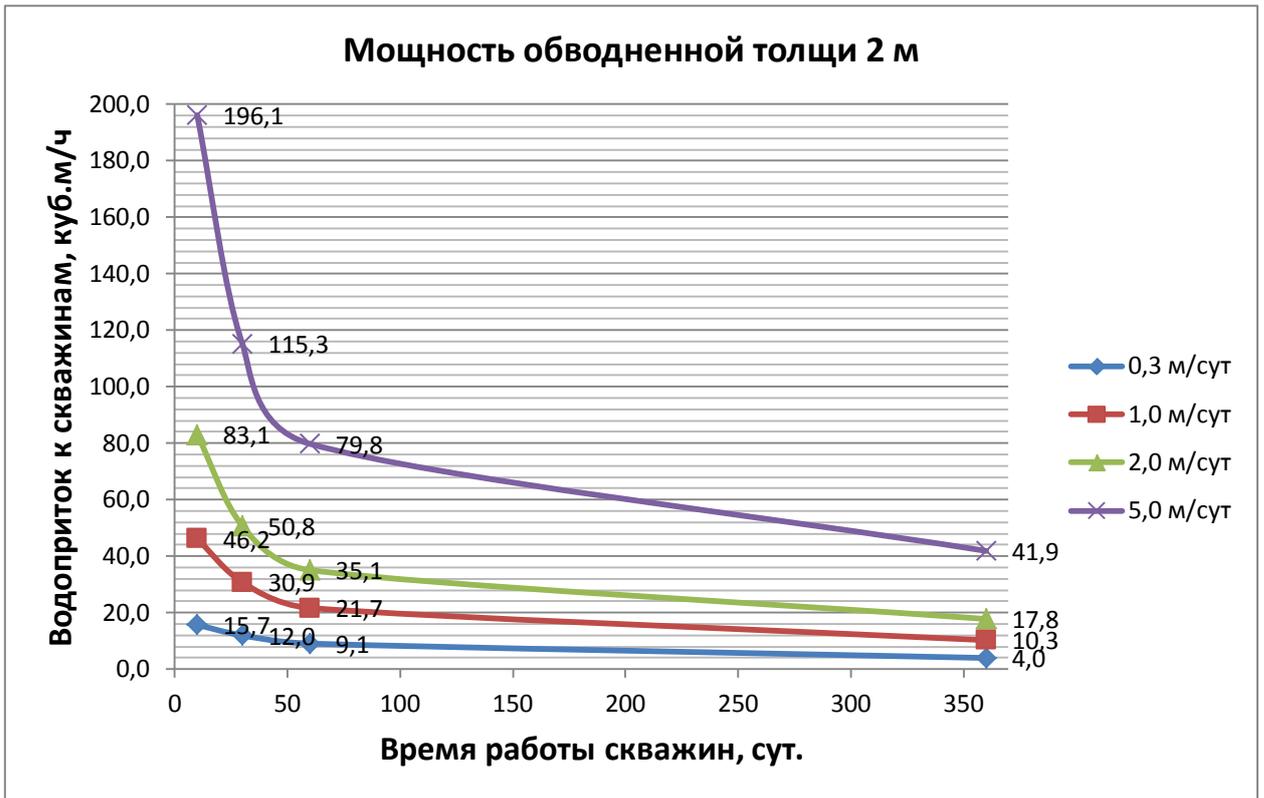


Рисунок 3.14 – Изменение дебита горизонтальных скважин при дренаже обводненной толщи мощностью 2 метра (Схема В)

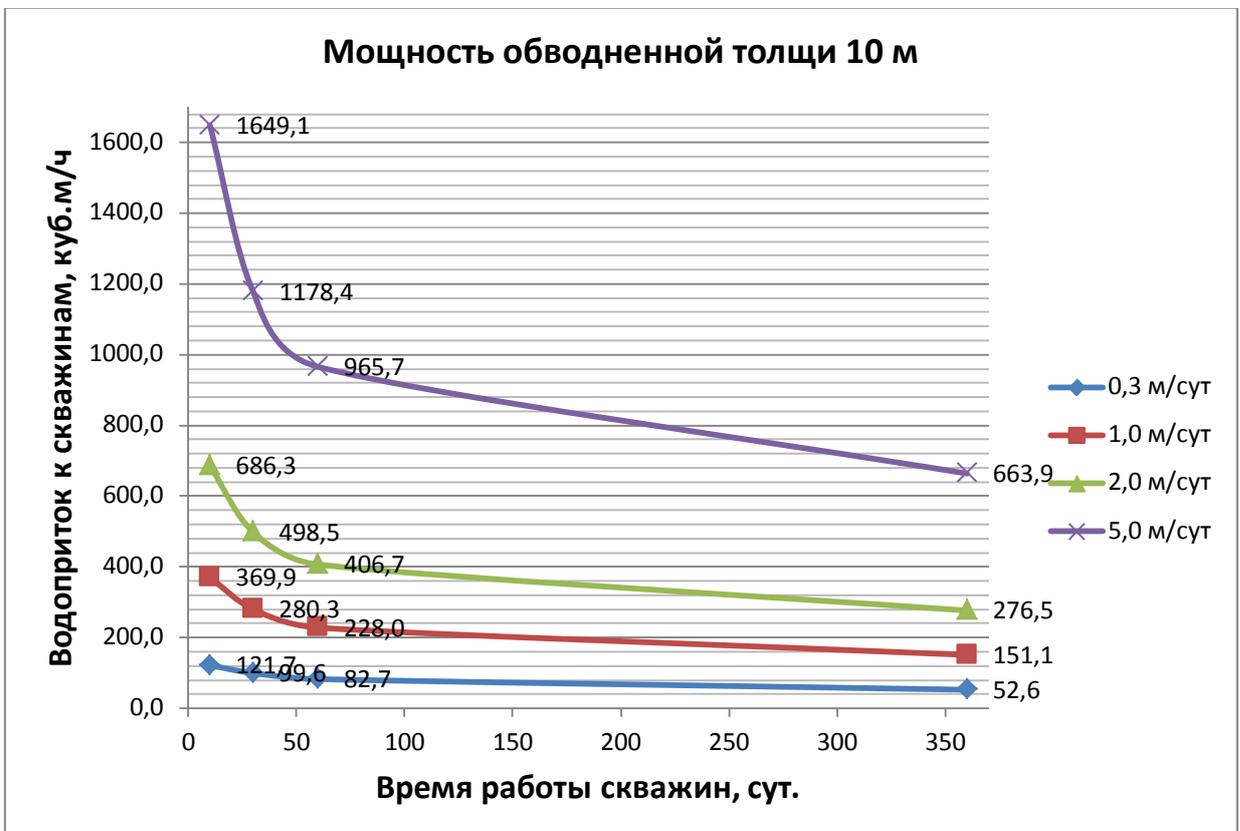


Рисунок 3.15 – Изменение дебита горизонтальных скважин при дренаже обводненной толщи мощностью 10 метров (Схема В)

Анализ проведенных 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.

Разница снижения уровня для толщ разной мощности составляет 5-6 %: при снижении в толще с  $K_f=0,3$  ( $m=2$  м) на 42 %, а в толще с  $K_f=5$  ( $m=2$  м) на 47 %.

Для обводненной толщи мощностью 10 м эти показатели равны, соответственно, 32 и 38 %. Полученные показатели сняты для схемы А на расстоянии 5 м от забоя дренажной скважины. Для схем Б и В эти показатели равны, соответственно, 4-5 % и 5 %.

2) при увеличении количества дренажных скважин (схемы Б и В) повышается дренажный эффект.

3) увеличение количества скважин в узле увеличивает дренажный эффект в мощных обводненных толщах.

4) при реализации «схемы В» оптимальный угол между горизонтальными дренажными скважинами составляет 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 обводненной толщи ( $K_f=5$  м/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, который внедрен на Бородинском угольном разрезе.

В работе автором выполнено компьютерные гидродинамические расчеты известного способа осушения с узловым расположением горизонтальных дренажных скважин (рис. 3.16) и усовершенствованного варианта указанного способа с замкнутым дренажным контуром, который образуется путем увеличения протяженности двух боковых горизонтальных скважин смежных узлов до их взаимного пересечения (рис. 3.17).

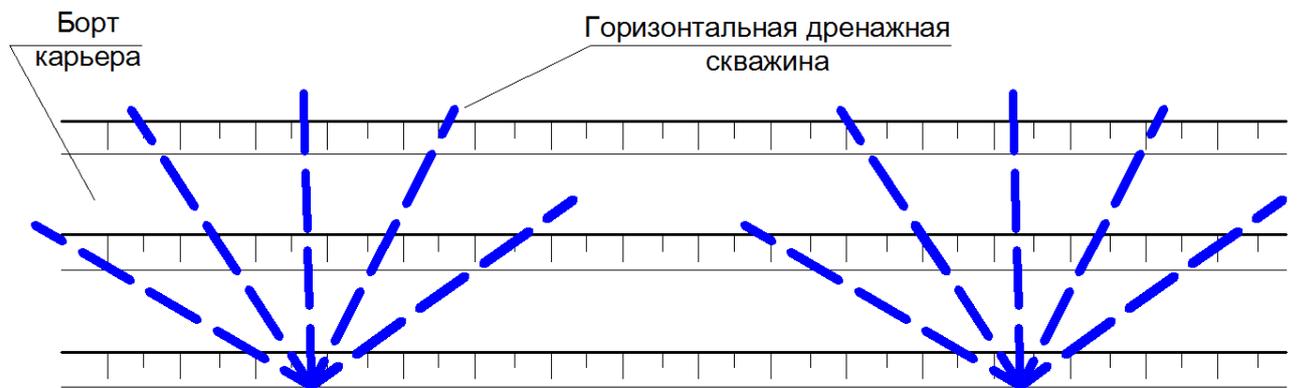


Рисунок 3.16 – Известный способ осушения с узловым расположением горизонтальных дренажных скважин (Схема 1)

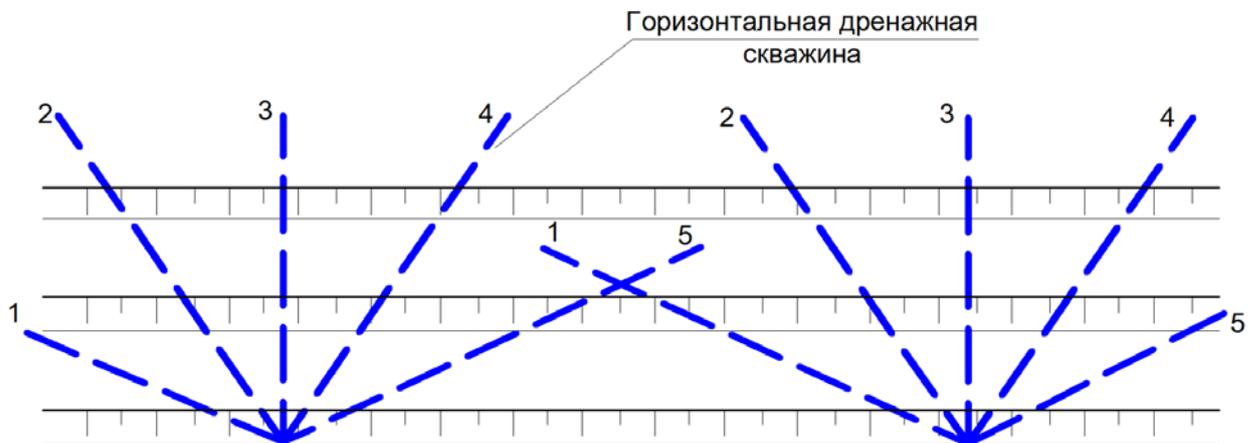


Рисунок 3.17 – Усовершенствованный вариант способа осушения с узловым расположением горизонтальных дренажных скважин (Схема 2)

Расчеты выполнены для каждой из схем при задании следующих параметров:

- 1) коэффициент фильтрации (Кф):  
- 5 м/сут;
- 2) обводненная мощность (m):  
- 10 м.
- 3) длина горизонтальных дренажных скважин (l):  
- 150 м;
- 4) расстояние между дренажными узлами (L):  
- 150 м;  
- 250 м.

Показателем эффективности дренажа служила величина «проскока» между дренажными узлами. Снятие значения «проскока» в карьере выполнялось на 10, 30, 60 и 360 сут. При снятии значений учитывался «проскок» только в промежутке между дренажными узлами.

Полученные результаты изменения «проскока» подземных вод во времени при работе горизонтальных дренажных скважин для исследуемых схем осушения приведены в таблицах 3.5-3.6.

Таблица 3.5 Показатели работы исследуемых схем осушения при L=150 м.

№ п/п	Время T, сут	Проскок, м <sup>3</sup> /ч		Разница, м <sup>3</sup> /ч / %
		Схема 1	Схема 2	
1	2	3	4	5
1	10	197	181	16/8
2	30	104	71	33/32
3	60	54	21	33/61
4	360	12	0,23	12/98

Таблица 3.6 Показатели работы исследуемых схем осушения при L=250 м.

№ п/п	Время T, сут	Проскок, м <sup>3</sup> /ч		Разница, м <sup>3</sup> /ч / %
		Схема 1	Схема 2	
1	10	207	194	13/6
2	30	127	90	37/29
3	60	78	33	45/58
4	360	21	0,66	20/97

Графики, характеризующие величину и изменение «проскока» подземных вод во времени при работе горизонтальных дренажных скважин для исследуемых схем осушения, показаны на рис.3.18-3.19.

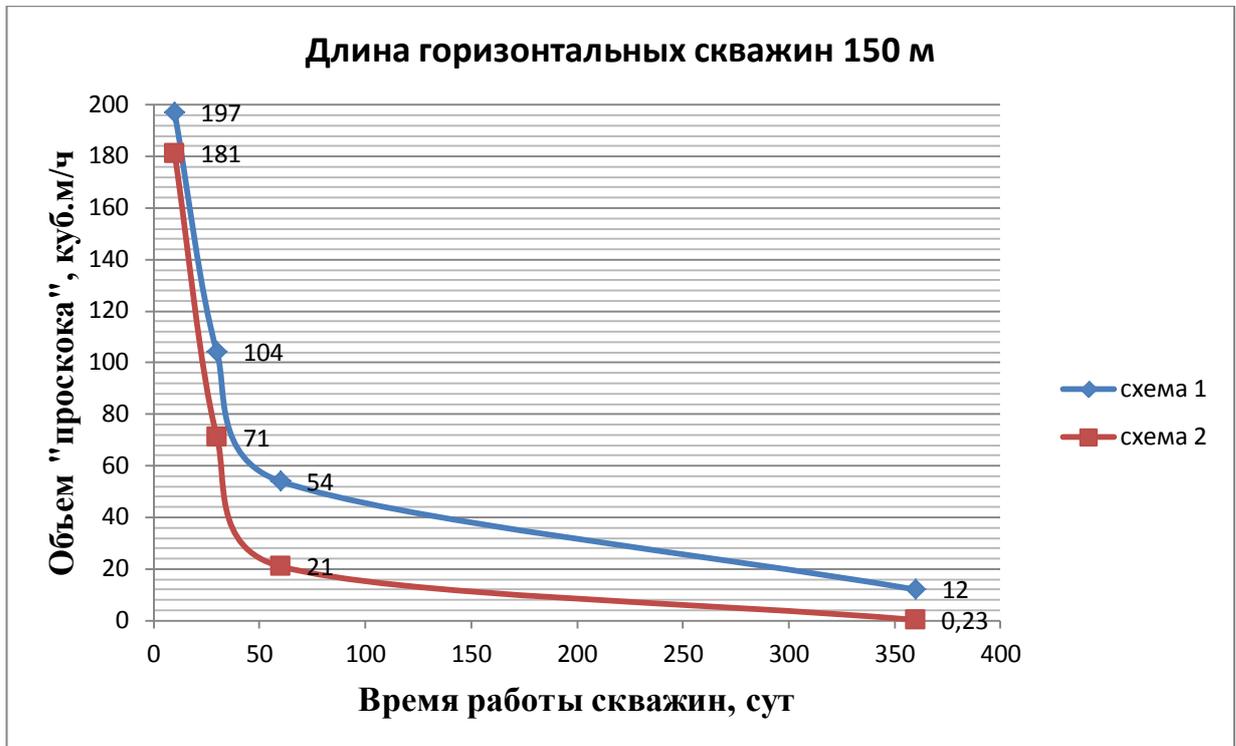


Рисунок 3.18 – Величина и изменение «проскока» подземных вод во времени при работе горизонтальных дренажных скважин длиной 150 м.

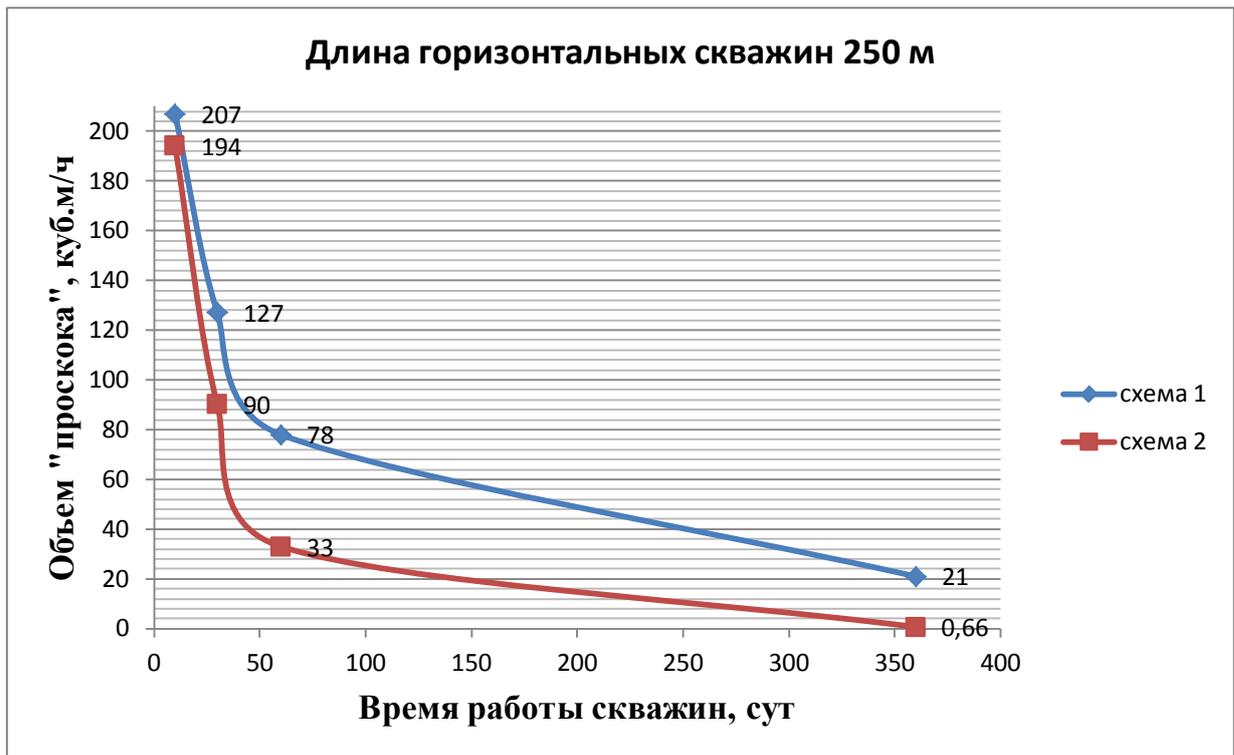


Рисунок 3.19 – Величина и изменение «проскока» подземных вод во времени при работе горизонтальных дренажных скважин длиной 250 м.

После анализа полученных результатов моделирования дренажной эффективности способа осушения с узловым расположением горизонтальных дренажных скважин и его усовершенствованного варианта, предлагаемого автором, можно сделать следующие выводы:

1) на начальном периоде, при сооружении узлов скважин, разница в эффективности схем минимальна и составляет 6-8 % при расстоянии между узлами 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 существенно снижается: через два месяца работы скважин проскок снижается – на 58-61 % и со временем степень перехвата потока подземных вод увеличивается;

3) усовершенствованный способ осушения с узловым расположением горизонтальных дренажных скважин по результатам выполненных

исследований показал более высокую дренажную эффективность в части перехвата потока подземных вод, направленного в горную выработку.

Предложенный способ осушения может применяться для защиты от обводнения бортов карьеров (разрезов), как постоянных, так и находящихся в отработке. Применение горизонтальных скважин возможно для дренирования породных массивов различного геологического состава и строения, водопроницаемость которых характеризуется коэффициентами фильтрации не менее 0,5-1,0 м/сут.

Конфигурацию схемы осушения, количество и длину дренажных скважин рекомендуется определять для каждого конкретного случая с применением методов компьютерного моделирования.

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.

## **4 Опыт и перспективы применения разработанных способов осушения**

### **4.1 Применение способа осушения с помощью многозабойных горизонтальных дренажных скважин**

Практическую применимость способ осушения с помощью многозабойных дренажных скважин нашел при разработке проектно-сметной документации системы осушения Адамовского месторождения строительных известняков в Калужской области.

Основными водоносными горизонтами, участвующими в обводнении карьера, являются веневско-тарусский и алексинский горизонты, представленные известняками. Максимальный ожидаемый приток подземных вод к системе осушения с помощью только горизонтальных дренажных скважин на конец отработки карьера составит 2000 м<sup>3</sup>/ч, при этом «проскок» подземных вод в карьер достигает 30%. Поэтому с целью повышения перехвата подземных вод в карьер рассмотрен способ осушения с помощью многозабойных горизонтальных дренажных скважин.

Реализация предложенного способа выполняется в следующем порядке: на первом этапе основные горизонтальные дренажные скважины сооружают нормально борту карьера на расчётную глубину. После из основных горизонтальных дренажных скважин сооружают по две дополнительные боковые горизонтальные дренажные скважины в направлении смежных основных горизонтальных дренажных скважин. Дополнительные боковые горизонтальные дренажные скважины сооружаются таким образом, чтобы они в плане пересекались с дополнительными боковыми горизонтальными дренажными скважинами, пробуренными из соседних основных горизонтальных дренажных скважин, что позволяет создать вдоль борта карьера замкнутый дренажный контур.

По результатам решения прогнозных задач с применением методов компьютерного моделирования «проскок» подземных вод в карьер при этом варианте составит около 10 % или около 200 м<sup>3</sup>/ч. Формирование «проскока» происходит за счет неровностей гипсометрической поверхности водоупорной подошвы дренируемого горизонта. Как видно из приведенных данных, схема с применением многозабойных скважин позволяет решить поставленную задачу по снижению проскока подземных вод к бортам до 5-10 %.

Новизна предлагаемого технического решения подтверждена патентом РФ № 2531913.

#### **4.2 Осушение угольных пластов с помощью узлового размещения горизонтальных дренажных скважин**

Результаты выполненных исследований влияния угла заложения горизонтальных скважин в узле с учетом степени их взаимодействия друг с другом, а также экономическая целесообразность сооружения дренажного узла с определенным количеством скважин использованы при разработке системы осушения Бородинского угольного разреза.

На Бородинском разрезе применяется схема осушения с бурением узлов горизонтальных дренажных скважин с рабочих уступов непосредственно в основание угольных пластов из неглубоких выемок в подошве водоносного горизонта.

Принципиальная схема осушения угольных пластов с помощью горизонтальных дренажных скважин, применяющаяся на Бородинском угольном разрезе, показана на рис.4.1 и 4.2.

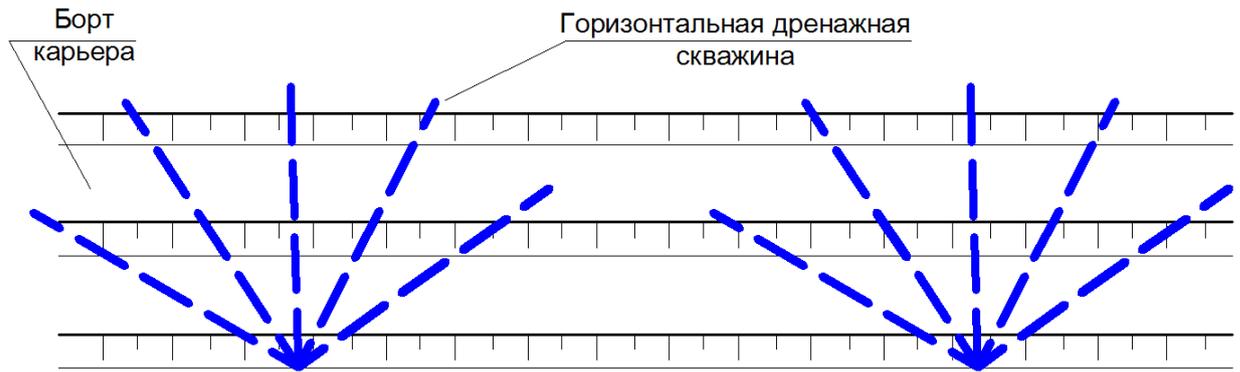


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема осушения с помощью горизонтальных дренажных скважин на Бородинском угольном разрезе.

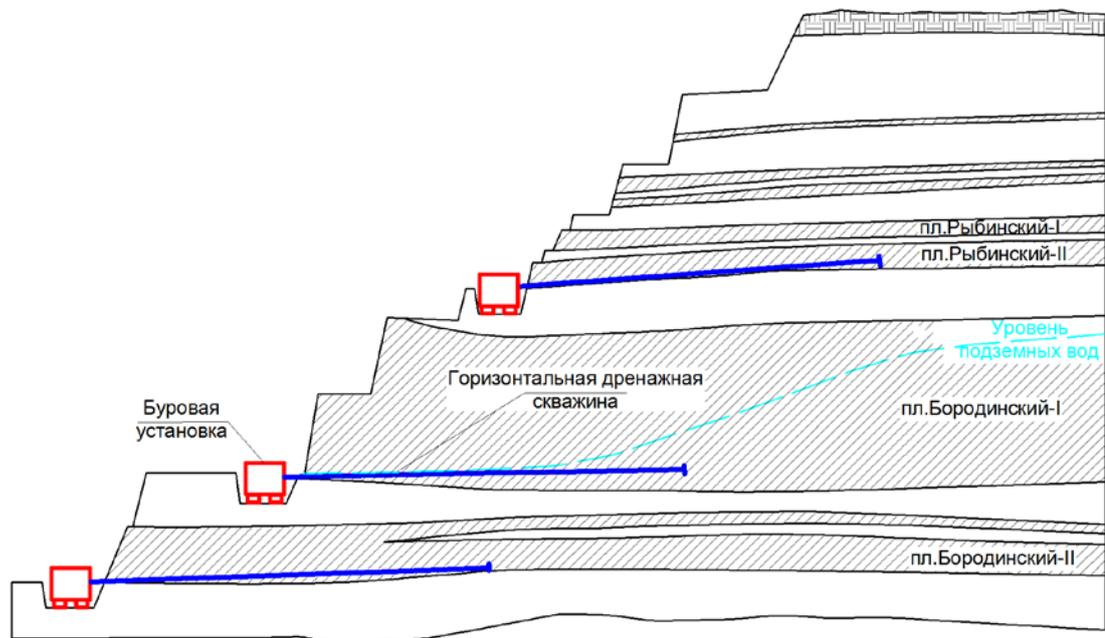


Рисунок 4.2 – Схематический профиль заложения горизонтальных дренажных скважин на Бородинском угольном разрезе.

Обводнение выработок разреза «Бородинский» связано с трещинно-поровым водоносным горизонтом, приуроченным к продуктивной угольной толще, характерной особенностью которой является чередование водовмещающих угольных пластов и песчаников с маломощными слоями слабопроницаемых и водоупорных пород, что затрудняет гидравлическую связь между отдельными обводненными слоями.

Система осушения Бородинского угольного разреза разработана с учетом геолого-гидрогеологических особенностей породного массива по результатам многовариантного компьютерного моделирования и представляет собой систему дренажных узлов, каждый из которых состоит из пяти пробуренных веером горизонтальных скважин, с таким расчётом, чтобы охватить максимальную площадь осушения. [43, 44]

Конфигурация схемы осушения разработана на основе выполненных исследований дренажной эффективности горизонтальных дренажных скважин в различных гидрогеологических условиях обводненной толщи, влияния угла заложения горизонтальных скважин относительно линии простирания борта карьера, многовариантного прогнозного моделирования количества скважин в веере с целью улучшения водоотбора, а также экономической целесообразности (см. п. 2.2, 3.4). Моделирование и решение прогнозных задач выполнялось с применением программного комплекса GMS версии 5.1 – Groundwater Modeling System. Геофильтрационная региональная модель Бородинского бурогоугольного месторождения была реализована с помощью программы Modflow. Область регионального моделирования района Бородинского бурогоугольного месторождения представляет собой прямоугольник размерами 15x15 км, площадь которого составляет 225 км<sup>2</sup>.

На каждом исследуемом участке рассмотрено несколько вариантов размещения и количества дренажных котлованов. После определения оптимального количества зумпфов-котлованов рассматривались различные варианты бурения горизонтальных дренажных скважин, определялась их длина, положение в пространстве и количество в каждом дренажном узле. Окончательные схемы размещения дренажных устройств принимались по результатам максимально возможного снятия напора в направлении общего развития горных работ и обеспечения требуемых параметров осушения угольного разреза.

Как показывают расчеты, запроектированная система осушения с использованием параметров предложенного способа осушения с помощью узлового размещения горизонтальных дренажных скважин обеспечивает достаточную степень надежности осушения разреза при ведении вскрышных и добычных работ: снижение уровня происходит на величину от 1 до 8,5 м на восточном участке основного поля и до 1-1,5 м на западном участке.

Система осушения Бородинского угольного разреза представляет собой систему дренажных узлов, каждый из которых состоит из 5-ти, пробуренных веером, горизонтальных скважин, с таким расчётом, чтобы охватить максимальную площадь осушения. На западном участке Основного поля разреза скважины имеют протяжённость 250 метров, бурятся веерами по 5 скважин в узле, ориентированных в направлении осушаемого борта, с углом между ними в интервале 25-30°. Скважины закладываются на минимальном расстоянии от подошвы угольного пласта и бурятся под углом 1-2° вверх относительно горизонта для обеспечения самотечного режима работы. Диаметр бурения скважин: начальный, для установки кондуктора 132мм, последующий - 93 мм. В качестве промывочной жидкости используется техническая вода. Отвод дренажной воды осуществляется погружными насосами типа ГНОМ, для чего на дне зумпфа-котлована оборудуется приямок объемом  $\approx 2-3 \text{ м}^3$ .

На восточном участке Основного поля разреза скважины имеют протяжённость 250 м, бурятся веерами по 5 скважин, как в основании пласта Бородинский-II, так и в основании пласта Бородинский-I. Скважины бурятся из неглубоких выемок (с заглублением в подошву угольного пласта), с самотечным отводом воды в дренажные каналы. В местах западения подошвы пласта, где дренажные каналы не будут обеспечивать сток воды, возможно сооружение перепускных дренажных каналов и применение переносных насосов типа ГНОМ. Диаметр бурения скважин: начальный, для

установки кондуктора 132 мм, последующий - 93 мм. В качестве промывочной жидкости используется техническая вода.

В процессе сооружения системы осушения, в зависимости от горно-геологических условий, возможны корректировки расстояния между дренажными узлами, глубины и количества скважин в дренажном узле.

Дебиты горизонтальных скважин по дренажным узлам изменялись от 0,36 до 35,2 м<sup>3</sup>/час.

В настоящее время поверхностная система осушения включает в себя следующие элементы:

- горизонтальные дренажные скважины, дренажные каналы протяженностью около 10000 м, пройденные по подошве добычных пластов,
- зумпф-отстойник объемом 30000 м<sup>3</sup>, который служит для предварительного отстаивания воды и сбора нефтепродуктов,
- насосную станцию, оборудованную 5 насосами Д 630-125 и 1 насосом ЦН 400-210.

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 горизонтальных скважин по пласту «Рыбинский-II» позволило снять проблему обводненности нижней части пласта мощностью 1,5-2,0 м. [45]

Система осушения является достаточно эффективной, относительно простой и технологичной, вписывающейся в систему ведения горных работ. Она обеспечивает независимость осушительных работ от горных как на западном, так и на восточном участках основного поля и дает возможность решать задачу повсеместного снижения уровня воды до требуемых отметок. Расчетный экономический эффект от перехода с подземного способа осушения на систему осушения с помощью горизонтальных дренажных скважин составляет около 635 млн. рублей.

### **4.3 Перспективы применения разработанных способов осушения и рекомендации по их практическому использованию**

Одной из основных проблем строительства карьеров при наличии в отрабатываемой толще обводненных пород является поиск рациональной технологии осушения, т.к. обводненность пород является одной из причин негативных и опасных явлений, таких как деформации бортов, образование оползней, развитие суффозионных процессов, а в холодное время года возможно появление наледей. Все это приводит к снижению производительности добычи и увеличению себестоимости полезного ископаемого.

Способы осушения с помощью горизонтальных дренажных скважин, которые достаточно успешно применяются для защиты карьеров КМА (Лебединском, Стойленском и Михайловском), на Восточном (Казахстан) и Бородинском (Россия) угольных разрезах и др., отвечают всем современным требованиям, предъявляемым к устройствам для дренажа горных пород в условиях открытых горных выработок. Горизонтальные скважины являются одним из перспективных направлений в области защиты открытых горных выработок от обводнения.

Разработки автора, представленные в диссертации, направлены на существенное снижение проскока посредством создания замкнутого дренажного контура с помощью способов многозабойных, узловых и продольных горизонтальных дренажных скважин.

Новые схемы осушения с помощью горизонтальных дренажных скважин представляют практический интерес для осушения месторождений различных полезных ископаемых при их отработке открытым способом с различными углами падения тела полезного ископаемого. В зависимости от сложности гидрогеологических условий отрабатываемого месторождения, применение разработанных схем осушения, возможно как в качестве вспомогательного, так и в качестве основного способа дренажа горных

пород.

Кроме описанных в работе особенностей сооружения схем горизонтальных дренажных скважин, для получения максимального эффекта рекомендуется соблюдать дополнительные требования:

- горизонтальные дренажные скважины необходимо закладывать как можно ближе к подошве дренируемого пласта под углом  $1-2^{\circ}$  относительно горизонта для обеспечения выноса мелкозема и предупреждения заиливания скважин и водоотводящей системы;

- количество скважин в дренажном узле необходимо рассчитывать исходя из требований необходимого снижения уровня подземных вод осушаемого пласта;

- длину скважин предусматривать исходя из необходимого снижения уровня подземных вод, инженерно-геологических свойств горных пород, величины заходки и технических возможностей буровых установок;

расстояние между скважинами рекомендуется принимать равным длине скважины;

- конструкцию скважин предусматривать с учетом устойчивости и гранулометрического состава разбуриваемых пород;

- гидродинамическое обоснование для сложных гидрогеологических условий рекомендуется выполнять с использованием современных компьютерных программных комплексов типа GMS.

## Выводы и рекомендации

Экономическим фундаментом России и многих других самодостаточных стран остается эксплуатация природных ресурсов. Анализ состояния горнодобывающей отрасли показал, что сложность геолого-гидрогеологических условий разрабатываемых и осваиваемых месторождений полезных ископаемых неуклонно возрастает. Это обстоятельство указывает на необходимость совершенствования и разработки новых более эффективных способов защиты горных выработок от обводнения с целью обеспечения промышленной безопасности проведения горных работ.

В настоящее время преобладает открытый способ разработки месторождений, по этой причине основной целью исследований была разработка эффективных способов осушения прибортовых массивов горных пород с помощью горизонтальных скважин применительно к задаче обеспечения промышленной безопасности, создания благоприятных условий труда, эксплуатации машин и механизмов на разрабатываемых месторождениях.

Предложенные способы осушения бортов карьеров, в отличие от существующих, позволяют минимизировать «проскоки» подземных вод через внутренний дренажный контур и обеспечить устойчивое положение горного массива в откосах.

Для указанных целей в работе предложены и экспериментально обоснованы следующие способы осушения бортов карьеров:

- с помощью многозабойных горизонтальных дренажных скважин;
- с помощью продольных горизонтальных дренажных скважин, сооружаемых каскадом вдоль защищаемого борта;
- многоярусный дренаж неоднородных в разрезе трещиноватых горных пород.

При использовании горизонтальных скважин рекомендована их проходка под углом 50-60° к линии простираения откоса и в обязательном порядке с перекрытием.

Минимизация «проскока» подземных вод на откос обеспечивается с помощью способа многозабойных горизонтальных скважин, поскольку они образуют замкнутый дренажный контур.

В результате проведенных исследований предложен способ осушения бортов карьеров с помощью продольных горизонтальных дренажных скважин, сооружаемых каскадом вдоль защищаемого борта, обеспечивающий требуемые параметры осушения. Реализация способа предусматривается с помощью современной техники и технологии горизонтального направленного бурения.

Для эффективного осушения массива горных пород при узловом размещении горизонтальных дренажных скважин рекомендуется применять оптимальную конфигурацию дренажного узла из 5-ти горизонтальных скважин, ориентированных в направлении осушаемого борта, с углом между ними в интервале 25-30°. При узловом размещении горизонтальных дренажных скважин замкнутый дренажный контур создается путем пересечения боковых скважин с боковыми скважинами смежного дренажного узла.

Для условий трещиноватой толщи обводненных горных пород с характерным убыванием водопроницаемости с глубиной по экспоненциальной зависимости  $k(z)=e^{-\beta z/m}$  разработан многоярусный дренаж, состоящих из горизонтальных скважин различной, изменяющейся по разрезу протяженности.

Трехмерный характер фильтрационного потока, многофакторная зависимость исследуемых параметров подземного потока от природных и техногенных условий, одновременное применение различных типов дренажных устройств, сложность конфигурации дренажных систем и устройств, значительное число взаимодействующих скважин, сложность

природных и техногенных условий питания водоносных горизонтов обуславливают сложности, возникающие при выполнении расчетов указанными методами. При проведении схематизации в расчетных схемах реальная обстановка коренным образом упрощалась, что приводило к грубым и существенным погрешностям в расчетах. По указанным причинам в работе преимущественно использовалась универсальная лицензионная программа GMS, приобретенная в США. Программа включает пять подпрограмм и более 10-ти модулей. Программа GMS позволяла оперативно и с высокой степенью точности создавать модели разрабатываемых дренажных систем.

Разработанные новые способы осушения бортов карьеров внедрены при разработке проектно-сметной документации системы осушения Адамовского карьера известняков и Бородинского угольного разреза. Применение указанных способов осушения показало высокую технико-экономическую эффективность и перспективы применения в будущем.

Методы компьютерного моделирования при проектировании систем осушения оказались удобными, позволяющими получить достоверную оценку эффективности предложенных способов, успешно применять многовариантное моделирование.

Новизна полученных решений подтверждена одним патентом. Они также прошли апробацию на ряде научно-технических конференций и симпозиумов.

## **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, который 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 разноске 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  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ , 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.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Справочник по осушению горных пород / Под ред. И.К.Станченко. – М. Недра, 1984. 572 с.
- 2 Воронцов В.И., Шабер Г.Б. Интенсификация работы дренажных устройств при осушении месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1975. 205 с.
- 3 Сборник научных трудов «Вопросы освоения месторождений в сложных геолого-гидрогеологических условиях». Белгород. 1984.
- 4 Кравчук С.В. Расчет системы горизонтальных дренажных скважин при защите бортов карьеров от подземных вод (методическое пособие). – Белгород: ВИОГЕМ, 1969. 80 с.
- 5 Фальковский Н.И. История водоснабжения в России. – Ленинград: Издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1947. 312с.
- 6 Плотников Н.А., Алексеев В.С. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод. – М.: Стройиздат, 1990. 256 с.
- 7 Город Турфан // Международное радио Китая: интернет сайт. 2008. URL: <http://russian.cri.cn/1143/2013/07/28/1s477298.htm>
- 8 Климентов П.П. Общая гидрогеология: учебник для геологоразведочных техникумов. – М.: Высшая школа, 1971. 224 с.
- 9 Арцев А.И., Бочевер Ф.М., Лапшин Н.Н. и др. Проектирование водозаборов подземных вод. / Под ред. Ф. Бочевера. М.: Стройиздат, 1976. 292 с.
- 10 Плотников С.Б., Павленко Т.В. // Строительство лучевых водозаборов в Башкирской АССР. // Водоснабжение и санитарная техника. –1985.– № 6.
- 11 Дж. Кармоди, Р.Л. Стерлинг. Достижения в области использования подземного пространства. Нью-Йорк. 1993.
- 12 Веригин Н.Н. Методы определения фильтрационных свойств горных пород. – М.: Госстройиздат. 1962. 177 с.

- 13 Разумов Г.А. Лучевые водозаборы для водоснабжения городов и промышленности. – М.: Издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1962. 60 с.
- 14 Справочник гидрогеолога. Под ред. М.Е.Альтовского. – М.: Гостоптехиздат, 1962. 616 с.
- 15 Абрамов С.К., Бабушкин В.Д. Методы расчета притока воды к буровым скважинам. – М.: Издательство литературы по строительству и архитектуре, 1955. 383 с.
- 16 Тезисы докладов и сообщений на Всесоюзном межотраслевом совещании «Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях и борьбы с их подтоплением». – Белгород: ВИОГЕМ, 1972.
- 17 Временная инструкция по проектированию защитных мероприятий от подтопления грунтовыми водами зданий и сооружений. – Белгород: ВИОГЕМ, 1978.
- 18 Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Экологическая гидрогеология. – М.: ИКЦ "Академкнига", 2006. 397 с.
- 19 Козлов В.С. Расчет дренажных сооружений.–М.: Стройиздат, 1940. 224 с.
- 20 Сольский С.В., Булганин Е.В., Герасимова Е.В. // Проблемы реконструкции дренажа в условиях плотной застройки. // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 2008. – Том 252. – С. 27-35.
- 21 Ветхий и аварийный жилищный фонд // Федеральная служба государственной статистики: интернет сайт. 2013.  
URL: [http://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/population/jil-f/jkh42.htm](http://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/jil-f/jkh42.htm)
- 22 Тимофеев С.В. // Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных природных и природно-техногенных процессов // Промышленное и гражданское строительство. – 2003. – № 10.
- 23 Пономаренко Ю.В., Изотов А.А., Клименко Н.А. // В основе ветхого

- жилыя – подтопление застроенных территорий. // Материалы VIII Международного симпозиума: Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. – Белгород. – 2005.
- 24 Пономаренко Ю.В., Анпилов В.Е. Лучевой дренаж застроенных территорий. М.: Недра, 1989. 200 с.
- 25 Анпилов В.Н., Малацковский Ф.С., Пономаренко Ю.В. // Защита действующих сооружений от подтопления способом лучевого дренажа // Промышленное строительство. 1975.
- 26 Абрамов С.К., Скиргелло О.Б. Осушение шахтных и карьерных полей. М.: Недра, 1968. 254 с.
- 27 Арсентьев А.И., Букин И.Ю., Мироненко В.А. Устойчивость бортов и осушение карьеров. М.: Недра, 1982. 165 с.
- 28 Оксанич И.Ф., Береснев В.С., Гордон А.Б. и др. Осушение месторождений при строительстве железорудных предприятий. – М.: Недра, 1977. 286 с.
- 29 Чучелин Л.Д., Кузькин В.С., Малацковский Ф.С. и др. // Осушение бортов карьеров с помощью горизонтальных дренажных скважин. // Горный журнал. – 1981. – № 12. – С. 16-18.
- 30 Ильин А.И., Гальперин А.М., Стрельцов В.И. Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах. – М.: Недра, 1985. 248 с.
- 31 Попов И.И., Окатов Р.П. Борьба с оползнями на карьерах. – Москва: Недра, 1980. 239 с.
- 32 Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В., Коваленко В.С. Проектирование карьеров. – 3-е изд. перераб. – М.: Высшая школа, 2009. 696 с.
- 33 Г.Л. Фисенко, В.А. Мироненко, Н.К. Звонарев, И.Г. Котов. Методическое

- пособие по проектированию бортов карьеров и противооползневых мероприятий в условиях месторождений КМА. – Ленинград: ВНИМИ, 1967. 150 с.
- 34 Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики. – Москва: Недра, 1974. 296 с.
- 35 Гальперин, А. М. Гидрогеология и инженерная геология: учебник для ВУЗов / А. М. Гальперин, В. С. Зайцев, Ю. А. Норватов. – М. : Недра, 1989. – 383 с.
- 36 Вopilкин А.А. Разработка месторождений нерудных ископаемых. – Харьков: Metallurgizdat, 1955. 316 с.
- 37 Писанец Е.П., Мироненко В.А. Водопонижение на карьерах КМА. – Москва: Недра, 1968. 136 с.
- 38 Волков Ю.И., Изотов А.А., Воронин А.А. Специальные буровые станки конструкции «ВИОГЕМ» - надежная техника для сооружения дренажных систем на горнорудных предприятиях. // Международная научно-практическая конференция «Рудник будущего: проекты технологии, оборудование. Синтез знаний в естественных науках». // Рудник будущего (научно-технический журнал). – 2011. – №4. – С. 84–86.
- 39 Руководство по дренированию карьерных полей. Под ред. В.А.Мироненко. Ленинград: ВНИМИ. 1968. 171 с.
- 40 Акбаев Т.А., Зайц В.А. и др. // Результаты внедрения системы осушения с помощью горизонтальных дренажных скважин на разрезе «Восточный» Экибастузского угольного бассейна. // Горный журнал. - 2006. - N 9. - С. 12-15
- 41 Волков Ю.И., Воронин А.А., Изотов А.А. и др. // Перспективы осушения Бородинского углеразреза горизонтальными дренажными скважинами. // Материалы IX Международного симпозиума: Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. – Белгород. – 2007. – С. 28-35

- 42 Пономаренко Ю.В., Воронин А.А. // Об эффективности горизонтальных дренажных скважин при осушении бортов карьеров. // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. – 2011. – Вып.17, № 21 (116). – С.179-182.
- 43 Воронин А.А., Волков Ю.И., Изотов А.А. // Опыт применения горизонтальных дренажных скважин для осушения угольных пластов. // Материалы XV Международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности». – Кемерово. – 2013. – С. 79-82
- 44 Воронин А.А., Изотов А.А., Радченко А.Т., Попова Т.В. // Опыт внедрения системы осушения угольных пластов с применением энергосберегающих технологий на Бородинском угольном разрезе. // Материалы XI Международного симпозиума: Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. – Белгород. – 2011. – С. 54-61
- 45 Шорохов В.П., Радченко А.Т. // Система осушения карьерного поля разреза «Бородинский» горизонтальными дренажными скважинами как альтернатива подземному способу.// Уголь. – 2013. – № 6. – С.18-21.
- 46 Патент 2531913 Российская Федерация, МПК51 Е 02 В 11/00, Е 02 В 3/16, Е 02 D 19/00, Е 02 D 31/02. Способ защиты карьера от притока подземных вод [Текст] / 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.
- 47 Aaron G Smith, Stephen R Howles, Don Armstrong. // Loxton trial horizontal drainage well: hydraulics and effectiveness in controlling groundwater flux entering the River Murray // *MESA Journal*. 2007. № 47.
- 48 Holger Mansel, Carsten Drebenstedt, Peter Jolas, Rene Blankenburg. // Dewatering of opencast mines using horizontal wells. // Springer International

- Publishing, 2012.
- 49 Michael Struzina, Carsten Drebenstedt. // Large Scale Laboratory Tests for Development of Dewatering System for Open Pit Mines Based on Horizontal Filter Wells Installed by Horizontal Directional Drilling//Mine Water and the Environment Content, 2008.
  - 50 Mike Müller, Peter Jolas, Holger Mansel, Michael Struzina, Carsten Drebenstedt.//Dewatering of Multi-aquifer Unconsolidated Rock Opencast Mines – Alternative Solutions with Horizontal Wells // Mine Water and the Environment. – Jun2011. – Vol. 30 Issue 2. – p.90
  - 51 S.D.Joshi, Ph.D. Основы технологии горизонтальной скважины. Краснодар: Советская кубань, 2003. 154 с.
  - 52 Simon Leech, Matthew McGann.//Open Pit Slope Depressurization using Horizontal Drains – a Case Study.// Mine Water and the Environment Content, 2008.
  - 53 Оганов С.А., Оганов Г.С. Технология бурения наклонно-направленных скважин с большим отклонением забоя от вертикали. Москва: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2008. 220 с.
  - 54 Воронин, А.А. Новый способ осушения бортов карьеров для повышения их устойчивости / Деп. рук. №1071/6-16 от 14 марта 2016 г. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – 12 с.
  - 55 Буровые установки МНБУ//ООО «Prime Drilling»:интернет сайт. 2013. URL: [http://www.prime-drilling.de/mdd/r\\_pd-mdd\\_40-500.html](http://www.prime-drilling.de/mdd/r_pd-mdd_40-500.html)
  - 56 Бабушкин В.Д., Плотников И.И., Чуйко В.М. Методы изучения фильтрационных свойств неоднородных пород. М.: Недра, 1974. 208 с.
  - 57 Бабушкин В.Д., Лебедевская З.П., Леви Л.З., Кашковский Г.Н., Боровский Б.В., Плотников И.И. Прогноз водопритоков в горные выработки и водозаборы подземных вод в трещиноватых и

- закарстованных породах. М.: Недра, 1972. 196 с.
- 58 Ромм Е.С. Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1966.
- 59 Боровский Л.В. // Расчет водозаборов в неоднородных пластах // Труды ВСЕГИНГЕО. – 1971. – № 45
- 60 Боровский Б.В., Хордикайвен М.А., Язвин Л.С. Разведка и оценка эксплуатационных запасов месторождений подземных вод в трещинно-карстовых пластах. М.: Недра, 1976. 247 с.
- 61 Гоголева Н.П., Пономаренко Ю.В. // Закономерности изменения фильтрационных свойств трещиноватых пород по глубине // Советская геология. – 1971. – №12
- 62 Пономаренко Ю.В., Воронин А.А. // Применение лучевых дренажей для осушения неоднородных в разрезе толщ горных пород. // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. – 2013. – Вып.25, № 24 (167). – С.162-168.
- 63 Бочевер Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В., Шестаков В.М. Основы гидрогеологических расчетов. М.: Недра, 1969. 309 с.
- 64 Щелкачев В.Н. Разработка нефтеводоносных пластов при упругом режиме. М.: Гостоптехиздат, 1959. 467 с.
- 65 Аравин В. И., Афанасьева А. В., Бабушкин В. Д., Веригин Н. Н. Развитие исследований по теории фильтрации в СССР / Под ред. П. Я. Полубаринова-Кочина. М.: Наука, 1969. 548 с.
- 66 Аравин В.И., Нумеров С.Н. Теория движения жидкостей и газов в недеформированных пористых средах. М.: Гостехтеориздат, 1953. 616 с.
- 67 Полубаринова-Кочина П.Я. // К гидравлической теории колодцев в многослойной среде. // ПММ, 1947. т. II, № 3
- 68 Шестаков В.М. Динамика подземных вод. М.: Недра, 1972.
- 69 Мироненко В.А., Норватов Ю.А., Сердюков Л.И. и др. Гидрогеологические исследования в горном деле. М.: Недра, 1976.

- 70 Бабушкин В.Д., Прохоров С.П., Лосев Ф.И., Предко А.Г. Методы расчета общего притока воды в шахты угольных месторождений. М.: Недра, 1964.
- 71 Скабалланович И.А. Методика опытных откачек. М.: Госгеолтехиздат,
- 72 Азис А., Сеттари Р. Численное моделирование разработки нефтяных пластов. М.: Мир, 1984.
- 73 Жернов И.Е., Шестаков В.М. Моделирование фильтрации подземных вод. М.: Недра, 1971.
- 74 Гавич И.К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. М.: Недра, 1980. 358 с.
- 75 Ломакин Е.А., Мироненко В.А. // О численном моделировании геофильтрационных процессов // Водные ресурсы, 1981. № 2
- 76 Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. М.: Недра, 1988. 228 с.
- 77 Бочеввер Ф.М. Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Недра, 1968.
- 78 Кинцельбах В. Моделирование массопереноса и фильтрации подземных вод на основе компьютерных технологий. Белгород: ВИОГЕМ, 2009.
- 79 Применение математических методов при гидрогеологическом обосновании мероприятий по защите горнодобывающих предприятий от обводнения. Белгород: ВИОГЕМ, 1979.
- 80 Groundwater Modeling System Tutorials, Brigham Young University – Environmental Modeling Research Laboratory, 2003.