



---

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**Белорусский национальный технический университет**

**Кафедра «Горные работы»**

# **ГИДРОГЕОЛОГИЯ**

**Учебное пособие**

**Минск**  
**БНТУ**  
**2024**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Горные работы»

## **ГИДРОГЕОЛОГИЯ**

Пособие для студентов специальности  
1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых  
(по направлениям)»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
по образованию в области горнодобывающей промышленности*

Минск  
БНТУ  
2024

УДК 556.3(075.8)

ББК 26.35я7

Г46

А в т о р ы :

*С. Г. Оника, А. И. Павловский, В. А. Кузьмич,  
Е. Ю. Нарыжнова, С. А. Зувич, В. А. Вершиловский*

Р е ц е н з е н т ы :

*А. Н. Галкин, Е. А. Кухарик*

Г46 **Гидрогеология:** пособие для студентов специальности 1-51 02 01  
«Разработка месторождений полезных ископаемых» / С. Г. Оника  
[и др.]. – Минск : БНТУ, 2024. – 41 с.  
ISBN 978-985-583-973-7.

В пособии приведены программа и план выполнения курсового проекта, даны методики разработки таких разделов, как гидрогеологическая характеристика и осушение месторождений полезных ископаемых, защита карьеров от поверхностных вод и охрана природы при осушении и разработке карьеров.

УДК 514.12(075.8)

ББК 22.151.5я7

ISBN 978-985-583-973-7

© Белорусский национальный  
технический университет, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....  | 4  |
| 1. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА<br>МЕСТОРОЖДЕНИЯ .....   | 5  |
| 2. ОСУШЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ .....   | 6  |
| 2.1. Выбор и обоснование стадии осушения .....  | 6  |
| 2.2. Расчетная схема осушения .....   | 14 |
| 2.3. Расчеты водопритока к карьеру .....  | 15 |
| 2.4. Расчет установки водопонижающих скважин .....  | 18 |
| 3. ЗАЩИТА КАРЬЕРА ОТ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД .....  | 33 |
| 3.1. Проектирование нагорных каналов .....  | 33 |
| 3.2. Расчет максимального притока поверхностных вод<br>и гидравлический расчет нагорных каналов ..... | 34 |
| 3.3. Подсчет объема земельных работ<br>при строительстве каналов .....                                | 34 |
| 3.4. Принципиальная схема водотлива и ее расчет.<br>Выбор насосов .....                               | 35 |
| 3.5. Мероприятия по осушению и регулированию<br>естественных водоемов и водотоков .....               | 39 |
| 4. ОХРАНА ПРИРОДЫ ПРИ ОСУШЕНИИ КАРЬЕРОВ .....   | 40 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....  | 41 |

## ВВЕДЕНИЕ

Курсовой проект является самостоятельной работой, основная цель которой – закрепление и углубление знаний, полученных при изучении теоретического курса, выполнении практических и лабораторных работ по гидрогеологии.

Структура курсового проекта включает пояснительную записку объемом 25–35 страниц печатного текста с основными расчетами и иллюстрационным материалом к ним. Объем расчетных работ и последовательность изложения материала в пояснительной записке выполняется в строгом соответствии с заданием на курсовое проектирование.

Цель данного пособия – сформировать целостное представление о разработке курсового проекта, его структуре, правильном и быстром подборе необходимых материалов при решении основных задач курсового проекта.

Пояснения даются по разделам и пунктам задания на курсовое проектирование. Формулы приведены по литературным источникам, список которых приводится в разделе «Список использованной литературы». Однако это не исключает возможность использования других пособий и справочников.

Структура курсового проекта по осушению месторождений полезных ископаемых (пояснительная записка и графическая часть) представлена ниже.

Введение.

1. Гидрогеологическая характеристика месторождения.

1.1. Общие сведения об открытых водотоках и прилегающих к нему зонах.

1.2. Характеристика водосборной площади, с которой происходит сток в карьер поверхностных и грунтовых вод с указанием количества осадков и испарения.

1.3. Характеристика подземных водоносных горизонтов и водовмещающих пород (их количество и распределение, статический уровень подземных вод, величина напора, направление потоков, условия питания подземных вод, их взаимосвязь с поверхностными водами, удельный дебит скважин и радиус их влияния, коэффициенты фильтрации и водоотдачи, пьезопроводимость пород, возможность притока подземных вод в карьер).

1.4. Инженерно-геологическая характеристика пород и общая оценка гидрогеологических условий.

2. Осушение месторождения

2.1. Выбор и обоснование стадии, способа и схемы осушения.

2.2. Расчетная схема осушения.

2.3. Расчеты водопритока к карьере и разрезной траншее.

2.4. Расчет установки водопонижающих скважин.

3. Защита карьера от поверхностных вод

3.1. Проектирование нагорных каналов.

3.2. Расчет максимального притока поверхностных вод и гидравлический расчет нагорных каналов.

3.3. Подсчет объема земляных работ при строительстве каналов.

3.4. Принципиальная схема водоотлива и ее расчет.

3.5. Мероприятия по осушению и регулированию естественных водоемов и водотоков.

4. Охрана природы при осушении карьера.

5. Графический материал.

5.1. План поверхности месторождения со схемой осушения и водоотлива (М 1 : 5000; 1 : 10 000).

5.2. Гидрогеологический разрез месторождения с указанием водоносных горизонтов, гидравлических параметров, контуров карьера, депрессионной поверхности (М 1 : 2000, 1 : 5000).

При оформлении пояснительной записки и выполнении графического материала следует руководствоваться заданием курсового проекта по осушению месторождений полезных ископаемых.

Во введении указывается цель и значение работ по осушению месторождений полезных ископаемых. Описываются существующие способы и схемы осушения. Излагается современный уровень механизации работ и влияние их качества на последующую подготовку месторождения и добычу полезного ископаемого.

## **1. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Содержание раздела 1 (п. 1.1–1.4) должно соответствовать программе курсового проекта, изложенной выше. При работе над вопросами данного раздела следует пользоваться описанием месторождения добычи полезных ископаемых, которое составлено на основании отчетов по гидрогеологической разведке объектов и выдается преподавателем, а также заданием курсового проектирования.

## **2. ОСУШЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Осушение месторождений при добыче полезных ископаемых производится только там, где подземные грунтовые воды залегают выше пласта полезного ископаемого или под пластом залегают водоносный горизонт с напорной водой, пьезометрический уровень которой стоит выше разрабатываемого слоя горной породы. При ведении открытых горных работ осушение карьеров проводится с целью обеспечения устойчивости его бортов, откосов, уступов и отвалов, а также для обеспечения нормальных условий работы горнотранспортного оборудования, уменьшения влажности добываемого полезного ископаемого и улучшения его качества.

### **2.1. Выбор и обоснование стадии, способа и схемы осушения**

По времени проведения работы по осушению карьеров делятся на две стадии: 1) предварительную; 2) эксплуатационную.

Предварительное осушение поля карьера проводится за 1–2 года до начала разработки полезного ископаемого при его вскрытии и заключается в отводе поверхностных вод, понижении уровня подземных вод и осушении участка разрезной и въездной траншей. Целью предварительного осушения является обеспечение нормальных условий выемки полезного ископаемого на участке работ, где добыча будет вестись в первую очередь. Оно проводится во всех случаях, за исключением случая, когда в породах вскрыши заключен хорошо водопроницаемый безнапорный водоносный пласт неболь-

шой мощности, а напорные воды в почве полезного ископаемого приурочены к устойчивым породам.

Эксплуатационное осушение проводится одновременно с разработкой месторождения и предназначено для осушения очередных участков, подготавливаемых для выемки полезного ископаемого.

На выбор способа и схемы осушения влияют физико-механические и водные свойства пород, количество водоносных горизонтов, подлежащих осушению, и глубина их залегания, тип запасов подземных вод, участвующих в обводнении, и водопроницаемость осушаемых пород.

При открытом способе разработки полезного ископаемого применяются *поверхностный, подземный и комбинированный* способы осушения.

Различают следующие способы поверхностного осушения: 1) глубокий дренаж водопонижающими или поглощающими скважинами; 2) ярусное осушение; 3) горизонтальный дренаж неглубокого заложения; 4) горизонтальный дренаж в откосах карьера.

*Глубокий дренаж* наиболее широко применяется в горной промышленности и заключается в откачке воды из водоносных пластов, обводняющих карьер, при помощи буровых скважин, оборудованных глубинными артезианскими насосами и размещенных за технической границей карьера для постоянного дренажа и на рабочих бортах, уступах и дне карьера для временного дренажа.

Применение глубокого дренажа наиболее эффективно в хорошо проницаемых породах для осушения безнапорных водоносных горизонтов мощностью 10 м и с коэффициентом фильтрации не менее 1–3 м/сут, а также напорных с коэффициентом фильтрации трещиноватых пород более 0,5 м/сут.

В случае превышения естественного уровня подземных вод, залегающих в кровле полезного ископаемого, над уровнем водоносного горизонта в почве для осушения вышележащих горных пород закладываются водопоглощающие скважины, по которым производится сброс воды в нижние горизонты.

Вода из верхних водоносных горизонтов при этом может спускаться как в сухие, так и в обводненные пласты. Чем больше водопроницаемость поглощающего воду пласта и чем ниже стоит его уровень по сравнению с осушаемым горизонтом, тем сильнее будет водопоглощение.

Места заложения водопоглощающих скважин выбирают по возможности на участках понижения дренируемых верхних водоносных горизонтов. Скважины оборудуют фильтрами как в осушаемых слоях, так и в поглощающем водоносном горизонте, если стенки скважины неустойчивы.

Количество воды, поглощаемой скважиной, заложенной в безнапорных водах, определяют по формуле:

$$Q = \frac{1,36k_{\phi}(h^2 - H^2)}{\lg R - \lg r}; \quad (2.1)$$

дебит поглощающей скважины в напорном водоносном слое:

$$Q = \frac{2,73k_{\phi}M(h - H)}{\lg R - \lg r}, \quad (2.2)$$

где  $k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации, м/сут;

$h-H$  – превышение уровня воды в скважине над естественным уровнем воды в поглощающем слое, м;

$M$  – мощность напорного водоносного пласта, м;

$R$  – радиус влияния, м;

$r$  – радиус скважины, м.

Радиус влияния скважины определяют по формуле (2.9).

*Ярусное осушение* применяется при временном понижении уровня грунтовых вод на глубину до 20 м. Для этого закладывается несколько рядов скважин с последующей откачкой воды из них насосами, расположенными на уступах карьеров. Данный способ применяется для осушения грунтов с различной водоотдачей при коэффициентах фильтрации до 1–2 м/сут. Попутно с осушением скважинами первого яруса производится выемка осушенного грунта на глубину 3–5 м, затем монтируется второй ярус и т. д. (рис. 2.1).

Для понижения уровня подземных вод в песчаных и песчано-глинистых породах применяются иглофильтровые установки ПВУ-2, ЛИУ-2, ЛИУ-3, ЛИУ-5, отличающиеся числом иглофильтров и подачей (табл. 2.1). Иглофильтры устанавливают в грунт. После погружения всех иглофильтров и подключения к коллектору насосы переключают на откачку воды.

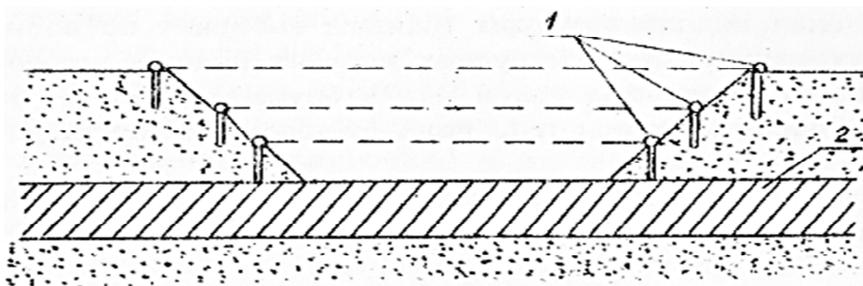


Рис. 2.1. Схема ярусной водопонижающей установки:  
1 – водопонижающие иглофильтры; 2 – пласт полезного ископаемого

Таблица 2.1

### Техническая характеристика иглофильтровых установок

| Тип установки | Производительность, м <sup>3</sup> /ч | Напор, м | Высота всасывания, м | Глубина понижения в один ярус, м | Мощность электродвигателя, кВт | Длина коллектора, м | Кол-во иглофильтров, шт. | Диаметр коллектора, м |
|---------------|---------------------------------------|----------|----------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|
| ПВУ-2         | 280                                   | 15       | 8                    | 5                                | 55                             | 219                 | 150                      | 219                   |
| ЛИУ-2         | 30                                    | 25       | 8                    | 5                                | 5,5                            | 100                 | 25                       | 100                   |
| ЛИУ-3         | 60                                    | 23       | 8                    | 5                                | 10                             | 150                 | 60                       | 150                   |
| ЛИУ-5         | 120                                   | 36       | 8                    | 5                                | 20                             | 150                 | 100                      | 150                   |

Схема расположения иглофильтров и глубина погружения определяются требованиями производства. При ширине траншеи или котлована до 3–4 м иглофильтры располагают в один ряд с одной стороны, ближе к их борту, а при ширине до 30–40 м – в два ряда с обеих сторон.

При необходимости понижения грунтовых вод до 4–4,5 м применяется одноярусная установка иглофильтров, а при большей глубине понижения – два и более ярусов. Расчет притоков воды к иглофильтровым установкам производится аналогично расчету водопонижающих скважин с учетом несовершенства дренажного контура. Расстояние между иглофильтрами в ряду обычно принимается 1,5–2 м.

*Горизонтальный дренаж неглубокого заложения* применяется для осушения водоносных покровных отложений, расположенных над продуктивной толщей и содержащих основной обводняющий горизонт. Такой дренаж осуществляется путем заложения водосборных открытых каналов или закрытых дрен. Если поверхность земли

и водоупора осушаемых пород имеет достаточный уклон, то вода по этим осушителям отводится самотеком; в других случаях возникает необходимость в перекачке дренажных вод. Горизонтальный дренаж целесообразно применять при хорошей водопроницаемости обводненной покровной толщи при мощности ее не менее 20 м и возможности отвода дренажных вод за пределы карьера самотеком.

По расположению дрен в плане различают контурный (кольцевой), заградительный и систематический (параллельный) дренажи.

Контурный (кольцевой) дренаж в виде дрены, расположенной по всему периметру участка карьера, устраивается в том случае, когда подземные воды поступают к карьере со всех сторон.

Приток воды в кольцевой горизонтальный дренаж, доведенный до водоупора, будет тот же, что и в карьер. Поэтому расчет его следует вести по формулам (2.7)–(2.12).

Заградительный дренаж в виде дрены, расположенной вдоль какой-либо стороны карьера или вдоль двух смежных сторон, устраивается с целью оградить карьер и перехватить грунтовые воды на пути движения от источника питания к карьере. Он может закладываться также в виде неглубокого открытого канала, на уступе карьера в подошве водоносного горизонта (рис. 2.2).

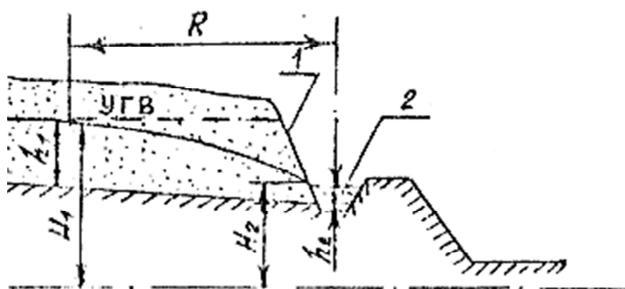


Рис. 2.2. Схема заградительного дренажа в виде открытого канала 2 на уступе карьера 1

Дренажные каналы глубиной от 2 до 15 м осушительного горизонтального дренажа обычно закладывают на бровке и уступах карьера для осушения водоносных покровных отложений и по дну карьера для снятия напора в нижележащих обводненных породах. Такой дренаж имеет цель перехватывать поток подземных вод, движущихся к карьере при его углублении. При полной уверенности в устойчиво-

сти откосов предпочтение следует отдавать открытым каналам, как наиболее дешевому способу отвода подземных вод.

Ожидаемый приток воды в заградительный канал при наклонном водоупорном горизонте можно определить по формуле:

$$Q = k_{\phi} L \left( \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{R} \right), \quad (2.3)$$

где  $k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации грунта, м/сут;

$L$  – длина канала, м;

$h_1$  – мощность водоносного горизонта на границе влияния канала, м;

$h_2$  – мощность водоносного слоя по урезу воды на откосе канала, м (часто принимается равной нулю);

$H_1, H_2$  – абсолютные отметки уровня грунтовых вод в принятых сечениях, м.

Если водоупор водоносного пласта залегает горизонтально, приток воды в канал составит:

$$Q = k_{\phi} L \frac{H^2 - h^2}{2R}. \quad (2.4)$$

Горизонтальный дренаж в откосах карьера применяется в виде горизонтальных дренажных скважин, закладываемых в рабочем и нерабочем бортах карьера для осушения вскрытых карьером водоносных песков. Скважины могут располагаться параллельными рядами или веерообразными лучами (рис. 2.3). Наличие станков горизонтального бурения способствует применению одного самого экономного способа осушения бортов карьера.

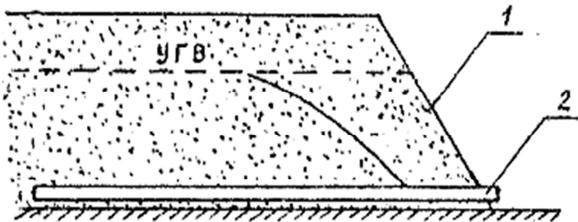


Рис. 2.3. Схема горизонтального дренажа откоса карьера:  
1 – откос карьера; 2 – дрена

Длина устанавливаемых горизонтальных дрен диаметром 108–215 мм – зависит от технических качеств бурильного станка. Расстояние между дренами зависит от характера осушаемых пород и определяется расчетом. Оно колеблется в пределах 20–70 м. Дренаж прокладывается с уклоном не менее 0,003 в сторону уступа карьера для обеспечения скорости движения воды в дрене более 0,3 м/с, при которой не произойдет заиливание дрены выносимыми мелкими частицами песка.

Подземный способ осушения.

Подземное осушение проводится посредством заложения дренажного ствола и проведения штреков по рабочему пласту. Этот способ эффективен при осушении месторождений со сложными гидрогеологическими условиями при наличии водоносных горизонтов значительной мощности в кровле и почве пласта полезного ископаемого, залегающих на больших глубинах.

Достоинством подземного способа является возможность осушения слабопроницаемых пород с коэффициентом фильтрации 0,5–3 м/сут, упрощение организации шахтного и карьерного водоотлива, относительно низкая стоимость эксплуатации подземной дренажной системы.

Для проведения подземного осушения закладывается один или несколько дренажных шахт по подвижному борту карьера в местах с относительно более низкими отметками почвы пласта. Под углом 60–70° к вскрытому забою в пласте полезного ископаемого на высоте 1–2 м от его почвы закладываются штреки (рис. 2.4). Вода, поступающая в штрек, отводится по проводимым специально сточным каналам.

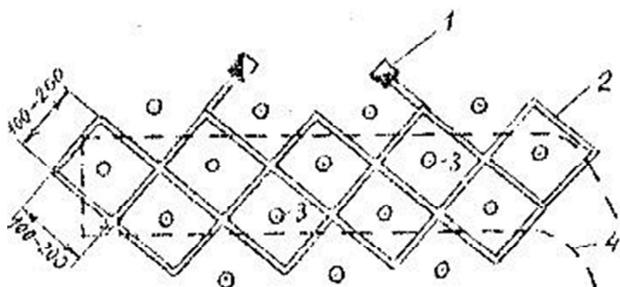


Рис. 2.4. Схема подземного осушения (план):

- 1 – ствол дренажной шахты; 2 – дренажные штреки; 3 – поглощающие колодцы;  
4 – контур разрезной траншеи

Количество дренажных шахт, расположение и протяженность штреков зависят от конфигурации карьерного поля, условий залегания водоносных горизонтов, направления движения подземных вод, водопроницаемости полезного ископаемого и водовмещающих пород, требуемой величины понижения уровня и времени, отведенного на осушение.

При значительном поступлении воды в карьер извне по границе карьерного поля закладывают контурный дренаж.

#### *Комбинированное осушение.*

Данный способ предусматривает одновременное применение элементов поверхностного и подземного осушения в равных сочетаниях. В период строительства карьеров нередко с поверхности закладываются водопонижающие скважины с глубинными насосами, при работе которых осуществляется проходка стволов дренажных шахт, колодезных выработок и сети штреков. Затем вводят в действие подземные дренажные устройства.

#### *Схемы осушения карьеров.*

Выбор схемы осушения определяется формой и размерами осушаемых участков и гидрогеологическими условиями объектов. По расположению дренажных устройств в плане схемы осушения подразделяются на кустовые, линейные, контурные и сетчатые, а в разрезе – на одnogоризонтальные и многогоризонтальные, коллекторные и бесколлекторные (рис. 2.5).

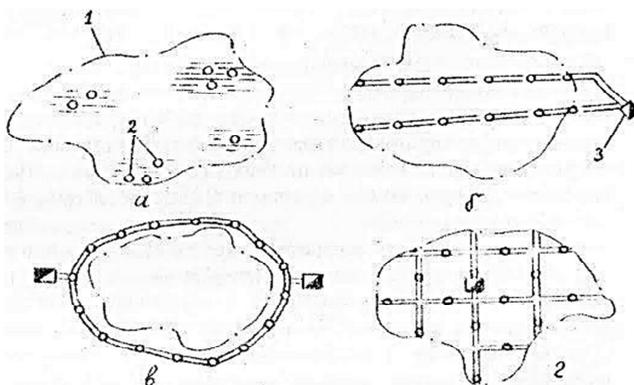


Рис. 2.5. Схема расположения дренажных устройств:  
а – кустовая; б – линейная; в – контурная; 2 – сетчатая;

1 – техническая граница поля; 2 – водопонижающие скважины; 3 – ствол шахты

### *Кустовая схема осушения.*

При данной схеме водопонижающие скважины закладываются без определенной системы в местах расположения зон высокой водообильности, обусловленной резко выраженной зональной трещиноватостью или закарстованностью водоносных пород, или при линзообразном их залегании (рис. 2.5, а).

*Линейные схемы* осушения состоят из одного и более рядов водо-понижающих скважин, дренажных каналов, штреков или горизонтальных скважин (рис. 2.5, б). Они чаще применяются при осушении наклонных водоносных пластов или пластов с высокой водопроницаемостью, а также при осушении въездных или разрезных траншей, рабочих бортов карьеров, штреков главных направлений. Также их нужно целесообразно применять для перехвата фильтрационного потока из открытых водотоков и водоемов в расположенный вблизи карьер.

При *контурной схеме* осушения дренажные скважины располагают по углам треугольника, квадрата, многоугольника или по периметру ограждаемого участка небольших размеров. Применяется эта схема обычно при горизонтальном залегании водосодержащих пород различной водопроницаемости. Контурные схемы находят применение при осушении околоствольных выработок, выемочных участков и небольших карьерных полей (рис. 2.5, в).

*Сетчатая схема* осушения предусматривает расположение скважин по сетке (рис. 2.5, г). Она применяется для осушения слабо-водопроницаемых пород при подземном способе осушения, когда дренажными устройствами являются сквозные и забивные фильтры.

*Одно- или многогоризонтальные* бесколлекторные системы осушения применяются при наличии одного или нескольких разобщенных водоносных горизонтов, причем дренаж каждого горизонта осуществляется самостоятельно.

## **2.2. Расчетная схема осушения**

Определив стадию, выбрав способ и схему осушения, строят расчетную схему притока воды в карьер, дрена, канал, колодец и т. д.

На этой схеме указывают необходимый уровень водопонижения. Образец такой схемы показан на рис. 2.6.

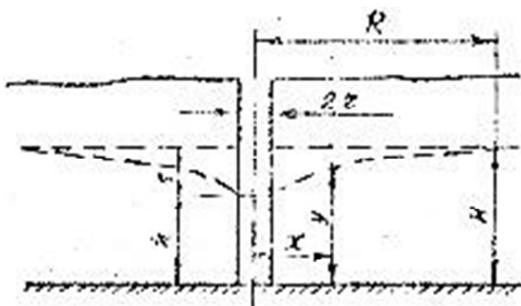


Рис. 2.6. Схема притока воды к совершенной скважине

### 2.3. Расчеты водопитока к карьере

Определение притока воды в карьер является одной из самых сложных задач гидрогеологии. Несмотря на это существующие методы расчета притоков позволяют с достаточной точностью оценить величину ожидаемого притока и определить количество дренажных устройств для осушения месторождения.

Для определения общего притока воды в карьеры применяются следующие методы: гидрогеологических аналогий, водного баланса, аналитический и моделирования. В практических расчетах широкое применение нашел аналитический метод, при котором карьеры и строительные котлованы с соотношением длины и ширине менее 10 : 1 рассматривают как большой колодец круглой формы с приведенным радиусом. Величину приведенного радиуса  $r_0$  определяют при неправильной форме карьера или траншеи в плане по формуле:

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}. \quad (2.5)$$

При прямоугольной форме карьера:

$$r_0 = \eta \frac{L + B}{4}, \quad (2.6)$$

где  $F$  – площадь карьера,  $\text{м}^2$ ;

$L$  – длина карьера, м;

$B$  – ширина карьера, м;  
 $\eta$  – коэффициент, значения которого в зависимости от отношения  $B/L$  приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Численные значения коэффициента

|        |      |      |      |       |      |       |                |
|--------|------|------|------|-------|------|-------|----------------|
| $B/L$  | 0,05 | 0,1  | 0,2  | 0,3   | 0,4  | 0,5   | 0,6<br>и более |
| $\eta$ | 1,05 | 1,08 | 1,12 | 1,144 | 1,16 | 1,174 | 1,18           |

При разработке карьера до кровли водоупорного горизонта можно определить общий приток воды в карьер:

1) в условиях безнапорных вод

$$Q = \frac{1,36 \cdot k_{\phi} \cdot H^2}{\lg R_0 - \lg r_0}; \quad (2.7)$$

2) в условиях напорных (артезианских) вод

$$Q = \frac{1,36 \cdot k_{\phi} \cdot (2H - M) \cdot M}{\lg R_0 - \lg r_0}, \quad (2.8)$$

где  $H$  – мощность безнапорного водоносного слоя или высота столба воды над нижним водоупором, м;

$M$  – мощность напорного водоносного слоя, м;

$k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации грунта, м/сут;

$R_0$  – радиус воронки осушения, считая от центра карьера:  
 $(R_0 = R + r_0)$ ,

$R$  – радиус влияния, вычисляется по формуле:

$$R = 2S \sqrt{H \cdot k_{\phi}}, \quad (2.9)$$

где  $S$  – понижение уровня в карьере, м;

$r_0$  – приведенный радиус карьера, м.

Приток воды в карьер, пересекающий водонепроницаемые породы (в том числе слабопроницаемый пласт полезного ископаемого) и вскрывающий напорный водоносный горизонт мощностью  $M$ , можно определить по формуле:

$$Q = \frac{2,73 \cdot k_{\phi} \cdot M \cdot S}{\lg R - \lg r_0}, \quad (2.10)$$

где  $S$  – величина понижения статического уровня до дна карьера (равная напору), м.

Приток воды из аллювиального безнапорного водоносного горизонта в карьер, расположенный вблизи реки на расстоянии  $l$  (при  $l < 0,5 R$ ), определяется по формуле:

$$Q = \frac{1,36 \cdot k_{\phi} \cdot H^2}{\lg 2l - \lg r_0}. \quad (2.11)$$

Ожидаемый приток воды из безнапорного водоносного горизонта в совершенный вытянутый карьер, разрезную или выездную траншею (при соотношении длины  $L$  к ширине  $B$ , равном более 10) можно определить как одиночно работающую дрена, в которую вода поступает с двух сторон, составит:

$$Q = \frac{k_{\phi} \cdot L \cdot (H^2 - h_k^2)}{R}, \quad (2.12)$$

где  $L$  – длина карьера, м;

$H$  – мощность водоносного горизонта, м;

$h_k$  – остаточная мощность горизонта в карьере, принимаемая зачастую равной нулю, м.

Приток грунтовых вод в карьер или разрезную траншею при фильтрации из близко расположенной реки или одновременном поступлении воды с нагорной стороны равен:

$$Q = \frac{k_{\phi} L}{2} \cdot \left( \frac{H_p^2 - h_k^2}{\alpha_p} + \frac{H_n^2 - h_k^2}{\alpha_n} \right), \quad (2.13)$$

где  $H_p$  – мощность водоносного горизонта у реки, м;

$h_k$  – остаточная мощность водоносного горизонта в разрезной траншее, м;

$\alpha_p$  – расстояние от траншеи до реки, м;

$H_n$  – мощность водоносного горизонта с нагорной стороны, м;

$\alpha_n$  – расстояние от траншеи до области питания, м.

Приток воды в вытянутый несовершенный карьер, углубленный на величину  $l_1$  в безнапорный водоносный горизонт, определяется по формуле, справедливой при  $(H - l_1) > 5$ :

$$Q = \frac{k_{\phi} \cdot L \cdot l_1 \cdot (2H - l_1)}{2R + 0,733 \lg \frac{H - l_1}{B} + 0,077}, \quad (2.14)$$

где  $l_1$  – величина заглубления дна карьера в безнапорном горизонте, м.

Количество воды, поглощаемой скважиной, заложенной в напорном водоносном горизонте, определяют по формуле:

$$Q = \frac{2,73k_{\phi}M(h - H)}{\lg R - \lg r}. \quad (2.15)$$

Дебит поглощающей скважины в безнапорных водах

$$Q = \frac{1,36k_{\phi}(h^2 - H^2)}{\lg R - \lg r}, \quad (2.16)$$

где  $(h - H)$  – превышение уровня воды в скважине над естественным уровнем воды в поглощающем слое, м.

#### 2.4. Расчет установки водопонижающих скважин

Дренажные линии располагают на определенном расстоянии от борта карьера, которое должно равняться или несколько превышать ширину развития деформации борта:

$$l_2 = H \left( \operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \frac{90 - \varphi}{2} \right), \quad (2.17)$$

где  $l_2$  – расстояние между дренажной линией и линией пересечения подошвы водоносного горизонта бортом карьера, м;

$H$  – глубина карьера, м;

$\alpha$  – результирующий угол борта карьера, градус;

$\varphi$  – средний угол внутреннего трения пород, слагающих борт карьера, градус.

Расчет необходимого количества скважин для понижения уровня подземных вод при осушении отдельных участков карьера, при вскрытии разрезной траншеи, при проходке котлована для приемного колодца насосной станции и т. д. ведется с учетом запроектированной схемы осушения и расположения дренажных скважин по отношению к областям питания и стока подземных вод. Учитывая приближенность исходных данных о водопроницаемости горных пород и производимых расчетов, необходимо предусматривать 10–20 % запасных водопонижающих скважин. При осушении месторождений полезных ископаемых водопонижающие скважины располагают на таком расстоянии, чтобы они влияли друг на друга. Это расстояние должно составлять  $0,1 R$ , где  $R$  – радиус влияния скважины.

### ***2.4.1. Расчет однолинейного ряда скважин***

Расчет однолинейного ряда скважин производится методом подбора и включает: установление оптимального положения ряда скважин по отношению к границам дренируемого водоносного горизонта; выбор оптимальных расстояний между скважинами; определение необходимых эксплуатационных понижений уровня воды в скважинах; построение депрессионных кривых на дренируемом участке; определение расхода воды в периоды предварительного и эксплуатационного осушения.

В условиях взаимодействия скважин, расположенных в один ряд, дебит каждой совершенной скважины можно определить по формулам:

– при дренаже напорных вод

$$Q = \frac{2,73 \cdot k_{\phi} \cdot M \cdot S}{\lg \frac{\alpha}{\pi \cdot r} + \frac{1,36R}{2\alpha}}; \quad (2.18)$$

– при дренаже безнапорного потока

$$Q = \frac{1,36 \cdot k_{\phi} (2H - S) S}{\lg \frac{\alpha}{\pi r} + \frac{1,36R}{2\alpha}}, \quad (2.19)$$

где  $Q$  – дебит каждой скважины, м<sup>3</sup>/сут;

$k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации водоносного горизонта, м/сут;

$M$  – мощность водоносного горизонта, м;

$S$  – понижение уровня воды в скважине, м;

$\alpha$  – половина расстояния между скважинами в ряду, м;

$r$  – радиус скважины, м;

$R$  – радиус влияния скважины, м.

Дебит каждой несовершенной скважины при дренаже напорных вод вычисляют по формуле:

$$Q = \frac{2\pi \cdot k_{\phi} \cdot M \cdot S}{N + \varepsilon}; \quad (2.20)$$

$$N = \ln \frac{\alpha}{\pi M} + \frac{\pi R}{2\alpha}, \quad (2.21)$$

$$\varepsilon = \frac{M}{2l} \left[ 2 \ln \frac{4M}{r} - f \left( \frac{l}{M} \right) \right] - 1,38, \quad (2.22)$$

где  $l$  – длина водоприемной части (фильтра), м;

$f \left( \frac{l}{M} \right)$  – функция, значения которой находят по графику (рис. 2.7).

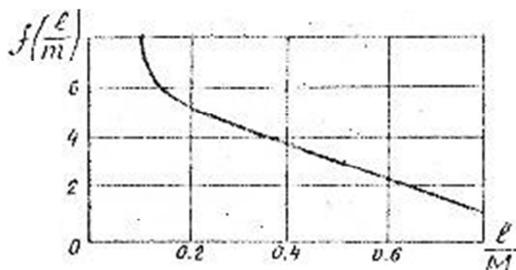


Рис. 2.7. График для нахождения функции

Понижение уровня в напорных условиях на расстоянии  $\chi$  от линейного ряда и по нормали к этому ряду составит:

$$H_\chi = H_e - \left[ S \left( 1 - \frac{\chi}{R} \right) \alpha \cdot \beta \right], \quad (2.23)$$

где  $H_e$  – напор (от подошвы) водоносного горизонта, м;

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{2a}{R} A}$$

Значение  $A$  находят по графику (рис. 2.8):

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{M}{R} B}$$

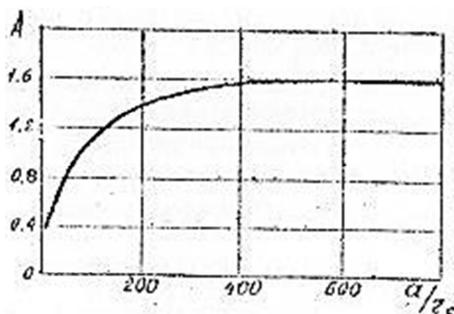


Рис. 2.8. График для определения величины  $A$

Коэффициент несовершенства скважин ( $B$  находится по графику рис. 2.9).

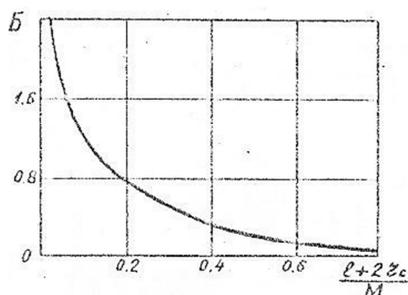


Рис. 2.9. График для определения величины  $B$

Для совершенных скважин  $\beta = 1$ .

Сниженный напор в аналогичных условиях посередине между скважинами также можно вычислить по формуле:

$$H_a = H_e - \left[ S \left( 1 - 0,22 \cdot \frac{2a}{r} \right) \alpha \beta \right]. \quad (2.24)$$

При работе несовершенных безнапорных скважин дебит каждой в ряду скважин определяют по формуле:

$$Q = \pi k_{\phi} S \left[ \frac{2h_{\text{ср}} - S}{\ln \frac{\alpha}{\pi r} + \frac{\pi R}{2\alpha}} + \frac{2T \cdot \beta}{(1 + \beta) \cdot N} \right], \quad (2.25)$$

где  $h_{\text{ср}} = \frac{h + l/2}{2}$ ;  $h = h_e - T$ ;  $\beta = \frac{N}{\varepsilon}$ .

$$N = \ln \frac{\alpha}{\pi T} + \frac{\pi R}{2\alpha};$$

$$\varepsilon = \frac{T}{l} \left[ 2 \ln \frac{4T}{r} - f \left( \frac{l}{2T} \right) \right] - 1,38,$$

где  $h_e$  – мощность безнапорного горизонта, м;

$T$  – расстояние от середины столба воды в скважине до водоупорного горизонта, м.

Значения  $f\left(\frac{l}{2T}\right)$  находят по графику (рис. 2.10).

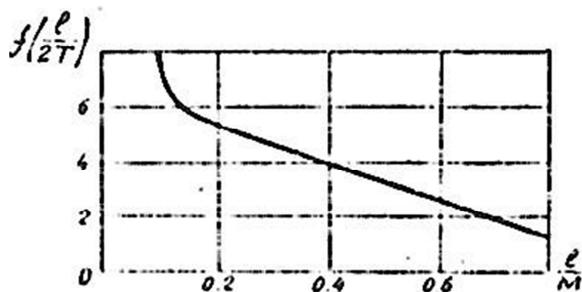


Рис. 2.10. График для нахождения функции

Исходя из графика (рис. 2.10) принимаем  $\frac{l}{2T} = \frac{l}{M}$ .

Сниженный уровень подземных вод в безнапорных условиях на расстоянии  $X$  и по нормали от дренажной линии определяет по формуле:

$$H_x = h_e - \left[ S \left( 1 - \frac{S}{R} \right) \alpha \beta' \right], \quad (2.26)$$

$$\beta' = \frac{1}{1 + 1,471g \frac{27}{\pi e}}; \quad T' = \frac{(h_e + h_0)}{2},$$

где  $h_0$  – высота столба воды в скважинах, считая от почвы водонасыщенного слоя, м.

Сниженный уровень подземных вод в аналогичных условиях по середине между скважинами составит:

$$H_a = h_e - \left[ S \left( 1 - 0,22 \frac{2a}{R} \right) \alpha \beta' \right]. \quad (2.27)$$

Радиус влияния при работе линейных дрен:

$$R = 1,73 \sqrt{\frac{k_{\phi} h_e t}{\mu}}, \quad (2.28)$$

где  $t$  – время от начала работы дренажной системы, сут;

$\mu$  – коэффициент водоотдачи.

Для перехода к линейным рядам скважин конечной длины в расчеты вводится коэффициент короткости  $\lambda$ . При нечетном числе скважин в ряду

$$\lambda = \frac{(2n+1) \left( \ln \frac{a}{\pi \cdot r} + \frac{\pi R}{2a} \right)}{n \left[ \ln \frac{R}{r} + \sum_1^n \ln \frac{R^2}{(2ai)^2} \right]}, \quad (2.29)$$

При четном их числе в ряду:

$$\lambda = \frac{2 \left( \ln \frac{a}{\pi r} + \frac{\pi R}{2a} \right)}{\left[ \ln \frac{R^2}{2a \cdot r} + \sum_2^n \ln \frac{R^2}{i(i-1)2a} \right]}, \quad (2.30)$$

где  $n$  – число скважин в ряду;

$i = 1 \dots n$  – при нечетном числе дрен в ряду;

$i = 2 \dots n$  – при четном числе дрен в ряду.

При расчете величин  $H_x$  и  $H_a$  в зоне действия коротких рядов формулы (2.23), (2.24), (2.26), (2.27) имеют вид:

$$H_x = H_e - \left[ S \left( 1 - \frac{x}{R} \right) \frac{\alpha \beta}{\lambda} \right]; \quad (2.31)$$

$$H_a = H_e - \left[ S \left( 1 - 0,22 \frac{2a}{R} \right) \frac{\alpha \beta}{\lambda} \right]; \quad (2.32)$$

$$H_x = h_e - \left[ S \left( 1 - \frac{x}{R} \right) \frac{\alpha\beta'}{\lambda} \right]; \quad (2.33)$$

$$H_a = h_e - \left[ S \left( 1 - 0,22 \frac{2a}{R} \right) \frac{\alpha\beta'}{\lambda} \right]. \quad (2.34)$$

Величины  $H_x$  и  $H_a$  неопределимые с поправкой на коэффициент короткости, относят к концевым участкам линейного ряда, а без поправок к его середине. Депрессионные кривые между этими крайними положениями устанавливают путем интерполяции.

**Пример.** Необходимо рассчитать вертикальный дренаж с линейным расположением скважин на нерабочем борту разрезной траншеи. Напорный водоносный горизонт представлен известняками, залегающими в почве пластообразной залежи полезного ископаемого (рис. 2.11).

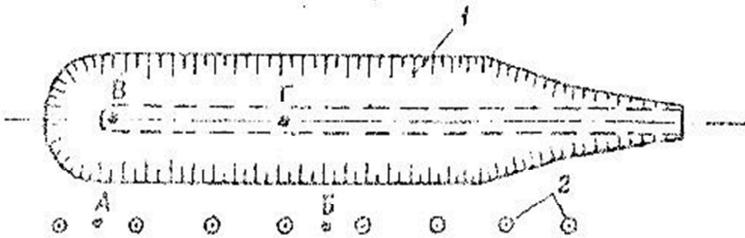


Рис. 2.11. Схема к расчету линейного ряда водопонижающих скважин:  
1 – разрезная траншея; 2 – водопонижающие скважины

Дано:  $k_{\phi} = 0,5$  м/ч;  $M = 25$  м;  $H = 80$  м;  $S_c = 50$  м;  $r = 0,15$  м;  $2a = 200$  м;  $R = 3800$  м;  $L = 1600$  м.

**Решение.**

1. Определяем число скважин:

$$n = \frac{1600}{200} + 1 = 9 \text{ шт.}$$

2. При нечетном числе дрен в ряду коэффициент короткости составит:

$$\lambda = \frac{(2 \cdot 9 + 1) \left[ \ln \frac{100}{3,14 \cdot 0,15} + \frac{3,14 \cdot 3800}{200} \right]}{9 \left[ \ln \frac{3800}{0,15} + \sum_1^9 2 \ln \frac{3800^2}{200^2} \right]} = 3,68.$$

3. Вычисляем дебит каждой скважины линейного ряда:

$$Q = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot 25 \cdot 50}{\ln \frac{100}{3,14 \cdot 0,15} + \frac{3,14 \cdot 3800}{2 \cdot 100}} = 60,3 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

или  $Q = 60,3 \cdot 3,68 = 222 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

4. Величину остаточного столба воды между скважинами ряда (точка А) определяем по формуле (2.32) для краевых участков при

$A = 1,6$  (рис. 2.8 при  $\frac{a}{r} = 667$ )

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{200}{3800} \cdot 1,6} = 0,92;$$

$$H_a = 80 - \left[ 50 \cdot \left( 1 - 0,22 \frac{200}{3800} \right) \cdot 0,92 \frac{1}{3,68} \right] = 67,68 \text{ м}.$$

5. Для центрального участка (рис. 2.1, точка Б) величину остаточного столба посередине между скважинами ряда определяем по формуле (2.24), подставляя в нее значения  $A = 1,6$  и  $\alpha = 0,92$ :

$$H_a = 80 - \left[ 50 \cdot \left( 1 - 0,22 \frac{200}{3800} \right) \cdot 0,92 \frac{1}{3,68} \right] = 67,68 \text{ м}.$$

6. Величину остаточного столба воды в 300 м от ряда, т. е. на оси разрезной траншеи (рис. 2.11, точка В), определяем по формуле (2.31) для краевых участков и при  $x = 300 \text{ м}$ ;  $A = 1,6$ ;  $\alpha = 0,92$  и  $\lambda = 3,68$ :

$$H_x = 80 - \left[ 50 \cdot \left( 1 - \frac{300}{3800} \right) \cdot 0,92 \frac{1}{3,68} \right] = 68,55 \text{ м.}$$

7. Величину остаточного столба воды в 300 м от центральной части ряда (рис. 2.11, точка Г) определяем по формуле (2.23) при  $X = 300$  м,  $A = 1,6$  и  $\alpha = 0,92$ :

$$H_x = 80 - \left[ 50 \cdot \left( 1 - \frac{300}{3800} \right) \cdot 0,918 \right] = 37,75 \text{ м.}$$

#### **2.4.2. Расчет одноконтурных дренажных систем вертикального типа**

При заложении группы водопонижающих скважин в напорном водоносном горизонте по кругу (рис. 2.12), а также по углам правильного многоугольника или по незначительно вытянутому контуру различной формы (при отношении длины к ширине менее 2,5) дебит каждой совершенной скважины составит:

$$Q = \frac{2\pi k_{\Phi} MS}{\ln \frac{R^n}{nr_0^{(n-1)} M}}; \quad (2.35)$$

для неоднородных скважин:

$$Q = \frac{2\pi k_{\Phi} MS}{\ln \frac{R^n}{nr_0^{(n-1)} M}} \cdot \frac{\beta}{1 + \beta}, \quad (3.36)$$

где  $n$  – число скважин в группе;

$r$  – радиус равновеликого круга, к которому проведен контур дренажа (приведенный радиус), м;

$$\beta = \frac{\ln \frac{R^n}{nr_0^{(n-1)} M}}{\frac{M}{2l} \left[ 2 \ln \frac{4M}{r} - f \left( \frac{l}{M} \right) \right] - 1,38}, \quad (2.37)$$

где  $f\left(\frac{l}{2T}\right)$  определяется по графику (рис. 2.7);

$l$  – величина погружения водоприемной части (фильтра) скважины в водоносный горизонт, м.

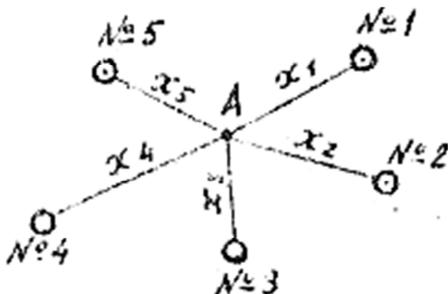


Рис. 2.12. Схема заложения группы водопонижающих скважин

В безнапорных водоносных горизонтах соответственно:

$$Q = \frac{\pi k_{\phi} (2H - S) S}{\ln \frac{R^n}{nr_0^{(n-1)} r}}; \quad (2.38)$$

для несовершенных скважин:

$$Q = \pi k_{\phi} S \cdot \left[ \frac{2h - S}{\ln \frac{R^n}{nr_0^{(n-1)} r}} + \frac{2T\beta}{(1 + \beta)N} \right], \quad (2.38)$$

где  $h = S + 0,5l$ , м;

$l$  – высота столба воды в скважинах, м:

$$\beta = \frac{\ln \frac{R^n}{nr_0^{(n-1)} T}}{\frac{T}{l} \left[ 2 \ln \frac{4T}{r} - f\left(\frac{l}{2T}\right) \right] - 1,38}, \quad (2.40)$$

где  $f\left(\frac{l}{2T}\right)$  определяется по графику (рис. 2.7) с подстановкой значений  $\frac{l}{2T}$  вместо  $\frac{l}{M}$ .

Снижение уровня в любой точке осушенного участка вычисляют по формулам:

– для напорных условий:

$$H_x = H - \frac{nQ}{\pi k_{\phi} M} \left[ \ln R - \frac{1}{n} \ln(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \right]; \quad (2.41)$$

– для безнапорных условий:

$$H_x = \sqrt{H^2 - \frac{nQ}{\pi k_{\phi} M} \left[ \ln R - \frac{1}{n} \ln(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \right]}, \quad (2.42)$$

где  $H$  – высота непониженного уровня подземных вод на контуре расположения скважин (от подошвы слоя), м;

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  – расстояние искомой точки до скважин, м.

Пример. Необходимо рассчитать групповую установку водопонижающих скважин, расположенных по прямоугольному контуру размером  $60 \times 30$  м (рис. 2.13).

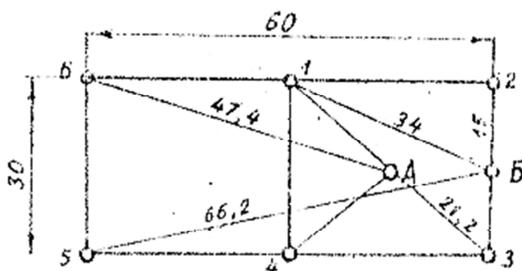


Рис. 2.13. Схема расположения водопонижающих скважин

Дано: минимально необходимое понижение уровня в пределах контура  $S = 5$  м, сниженный уровень  $H_x = 7$  м, радиус скважин  $r = 0,2$  м, мощность грунтового потока  $H = 12$  м,  $k_{\phi} = 17,3$  м/сут.

Решение. Задачу решаем методом подбора. Вначале задаемся числом скважин 1–6, располагая их по углам прямоугольника и по середине длинных сторон, а также понижением уровня воды, в скважинах  $S = 8$  м.

1. Вычисляем радиус влияния скважины по формуле (2.9):

$$R = 2 \cdot 8 \cdot \sqrt{12 \cdot 17,3} = 231 \text{ м.}$$

2. Находим приведенный радиус установки по формуле (2.5):

$$r_0 = \sqrt{\frac{60 \cdot 30}{3,14}} = 24 \text{ м.}$$

3. Радиус действия понижающей установки составит (2.8):

$$R_0 = 231 + 24 - 255 = 250 \text{ м.}$$

При небольшой мощности водоносного горизонта скважины доводим до водоупора.

4. Дебит каждой скважины вычисляем по формуле (2.38).

По формуле (2.42) определяем высоту снижения уровня грунтовых вод в центре установки:

$$H_{\text{ц}} = \sqrt{12^2 \frac{6 \cdot 407}{3,14 \cdot 7,3} \left[ \ln 250 - \frac{1}{6} (2 \ln 15 + 4 \ln 33,54) \right]} = 6,40 \text{ м.}$$

5. Водопроницающую способность скважины при  $l = H - S = 12 - 8 = 4$  м определяем по формуле:

$$f_n = 120 \pi r l \sqrt[3]{k_{\phi}} = 120 \cdot 3,14 \cdot 0,2 \cdot 4 \sqrt[3]{17,3} = 780 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Так как получены удовлетворяющие нас значения  $H_{\text{ц}} = 6,40$  м (менее 7 м),  $Q = 407 \text{ м}^3/\text{сут}$ ,  $f_n = 780 \text{ м}^3/\text{сут}$ , останавливаемся на числе скважин  $n = 6$  и располагаем их как показано на рис. 2.13.

6. Дебит установки составит

$$Q' = 6 \cdot 407 = 2442 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

### 2.4.3. Выбор насосов для откачки воды из водопонижающих скважин

При выборе насосов для откачки воды из водопонижающих скважин учитывают дебит и диаметр скважины, высоту подъема, химический состав воды, в также наличие в ней механических примесей. В настоящее время применяются в основном центробежные погружные двигатель – насосы типов ЭЦВ, АПТ, АПВ. Реже – артезианские турбинные насосы типа АТН с двигателям на поверхности. Используются также насосы типа ЭПН.А и ГНОМ, иногда штанговые насосы (табл. 2.3). Более подробная характеристика насосов приводится к табл. 6 [1].

Глубинные насосы с погружными электродвигателями типа ЭЦВ, АПТ, АПЗ предназначены для откачки из скважин диаметром 100–400 м воды с содержанием примесей не более 0,1 г/л, а насосы типа АТН и А – при диаметре скважин 200–400 мм и содержании примесей до 0,5 % по весу. Насосы типа ЭПН и ГНОМ применяются в основном для откачки воды с большим содержанием механических примесей из скважин диаметром 160–250 мм.

Таблица 2.3

Техническая характеристика некоторых насосов

| Насос              | Диаметр скважины, мм | Подача, м <sup>3</sup> /ч | Напор, МПа | Диаметр скважин | Мощность двигателя, кВт |
|--------------------|----------------------|---------------------------|------------|-----------------|-------------------------|
| ЭЦВ-8-16-140       | 200                  | 16                        | 1,4        | 166             | 11                      |
| ЭЦВ-10-63-270      | 250                  | 63                        | 2,7        | 234             | 65                      |
| ЭЦВ-12-14-210-300К | 300                  | 160                       | 1,0        | 281             | 65                      |
| АТН-8              | 350                  | 210                       | 3,0        | 328             | 250                     |
| АТН-10             | 250                  | 30                        | 0,68–0,94  | 168             | 14–20                   |
| АТН-14             | 350                  | 70                        | 0,45–1,0   | 340             | 55–75                   |
| ЭПН-6-16           | 150                  | 200                       | 0,5–1,1    | 142             | 4–8                     |
| ЭПН-10-120         | 250                  | 16                        | 0,5–1,5    | 234             | 22–50                   |

Выбирать насос и двигатель следует таким образом, чтобы его характеристики были равны и несколько превышали расчетные характеристики.

Мощность двигателя рассчитывают по формуле:

$$P = \frac{\rho Q P_n k_n}{\eta}, \quad (2.43)$$

где  $P$  – мощность двигателя, кВт;

$\rho$  – плотность воды, равная  $1000 \text{ кг/м}^3$ ;

$Q$  – подача воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$P_n$  – напор, развиваемый насосом, МПа;

$\eta$  – КПД насоса, равный  $0,85$ ;

$k_n$  – коэффициент неравномерности нагрузки, равный  $1,1$ .

#### ***2.4.4. Расчет дренажных систем горизонтального типа***

При осушении внутренних отвалов карьеров широко применяется горизонтальный систематический дренаж. Он представляет собой ряды горизонтальных дрен, устраиваемых на определенном расстоянии друг от друга. Расчет систематического дренажа сводится к определению расстояний между дренами и подсчету их дебита.

Расстояние между дренами совершенного типа определяется по формуле:

$$B = 2\sqrt{\frac{k_\phi \cdot h}{\omega}}, \quad (2.44)$$

где  $h$  – максимальная допустимая высота понижения уровня подземных вод в междренном пространстве над водоупором, м;

$\omega$  – интенсивность просачивания атмосферных осадков, м/сут (в легких суглинках и супесях  $0,001$ – $0,002$  м/сут, в песках –  $0,002$ – $0,005$  м/сут).

Расстояние между дренами несовершенного типа:

$$B = T \sqrt{\frac{8k_\phi (H-S)}{\omega T} \left(1 + \frac{H-S}{2T}\right) + \left(2,94 \lg \frac{1}{\sin \frac{\pi r}{T}}\right)^2 - 2,94 \lg \frac{1}{\sin \frac{\pi r}{T}}} \quad (2.45)$$

где  $H$  – глубина заложения дрен от дна карьера, м;

$S$  – требуемая глубина залегания подземных вод от дна карьера, м;

$T$  – расстояние от центра дрены до водоупора, м;

$r$  – радиус дрены, м.

Дебит каждой дрены длиной  $L$  составит

$$Q = 2\omega BL, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (2.46)$$

**Пример.** Необходимо рассчитать систематический горизонтальный дренаж для осушения основания внутренних отвалов карьера, расположенных на участке размером  $380 \times 1000$  м в кровле подрудных песков. Осушители несовершенного типа в соответствии с гипсометрией кровли этих песков закладываются по длине участка со сбросом воды в собиратель, расположенный в торце участка.

Дано:  $k_{\phi} = 2$  м/сут;  $H = 3$  м;  $S = 2$  м;  $T = 5$  м;  $r = 0,3$  м,  $\omega = 0,005$  м/сут;  $M = 8$  м.

**Решение:**

1. По формуле (2.44) определяем необходимое расстояние между дренами:

$$B = 5 \sqrt{\frac{8 \cdot 2(3-2) \left(1 + \frac{3-2}{2 \cdot 5}\right) + \left(2,94 \lg \frac{1}{\sin \frac{3,14 \cdot 0,3}{5}}\right)^2 - 2,94 \lg \frac{1}{\sin \frac{3,14 \cdot 0,3}{5}}}{}} = 122 \text{ м.}$$

2. Приток воды в каждую дрену длиной 1000 м составит (2.45):

$$Q = 0,005 \cdot 122 \cdot 1000 = 610 \text{ шт.}$$

3. На рассматриваемом участке шириной 380 м потребуется заложить дрен:

$$n = \frac{380}{122} + 1 = 4 \text{ шт.}$$

4. В дрену-собиратель будет поступать

$$Q_{\text{сум}} = 610 \cdot 4 = 2440 \text{ м}^3/\text{сут} = 102 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

### **3. ЗАЩИТА КАРЬЕРА ОТ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД**

Защита карьера от поверхностных вод заключается в строительстве нагорных каналов для перехвата воды, стекающей с водосборной площади, в осушении карьерного поля, при наличии на нем болот и небольших озер, а также в отводе с территории карьера рек и ручьев, если они имеются.

#### **3.1. Проектирование нагорных каналов**

Нагорные каналы проектируют в пределах полосы шириной около 0,5–1 км вокруг карьера. Ширина этой полосы определяется геоморфологией района, количеством выпадающих осадков, фильтрационными свойствами грунтов. Схема расположения нагорного канала зависит от рельефа местности и конфигурации карьеров.

Трасса нагорного канала должна проходить параллельно или под острым углом к горизонталям поверхности, чтобы был большим перехват поверхностных вод и обеспечивался естественный уклон дна канала для быстрого отвода этих вод за пределы карьера. При этом уклон должен быть таким, чтобы не происходило размыва и заливания дна канала. По расположению эти каналы подразделяются на линейные и контурные, а по сроку службы на постоянные и временные.

Постоянные каналы сооружают за проектной границей карьера на его нерабочих бортах, а временные – по мере продвижения фронта горных работ на рабочих бортах карьера. Рытье нагорных каналов заканчивают обычно к началу вскрышных работ. Размеры поперечного сечения и уклоны дна каналов определяют гидравлическим расчетом с учетом максимально ожидаемых притоков воды со всей водосборной площади.

#### **3.2. Расчет максимального притока поверхностных вод и гидравлический расчет нагорных каналов**

Максимальный приток поверхностных вод в нагорный канал наблюдается в период весеннего половодья или при выпадении ливневых дождей. Методика расчета максимального стока весеннего половодья и дождевых паводков изложены на с. 14–20 [3] или на с. 11–20 [4], методика гидравлического расчета в той же литературе

соответственно на с. 20–25 [3] и с. 20–25 [4]. Гидравлический расчет нагорного канала выполняется аналогичным образом, что и магистрального канала при осушении торфяных месторождений.

### **3.3. Подсчет объема земляных работ при строительстве каналов**

Расчет объема выемки грунта из канала производится по формуле:

$$V = (b + mh)hl, \quad (3.1)$$

где  $b$  – ширина канала по дну, м;

$m$  – коэффициент заложения откоса;

$h$  – глубина канала, м;

$l$  – длина канала или его отдельного участка, м.

Объем выемки считается попикетно после построения продольного профиля и на основании результатов гидравлического расчета. При отсутствии продольного профиля объем земляных работ нагорного и водоотводного каналов определяется по среднему сечению. При этом ширина канала по дну и его глубина должна быть не менее 0,4 м, коэффициент заложения откосов не менее 0,75 и уклон дна не менее 0,02.

### **3.4. Принципиальная схема водоотлива и ее расчет. Выбор насосов**

Дренажными системами и нагорными каналами не всегда удается отвести поступающие в карьер поверхностные и грунтовые воды. Кроме того, часть воды поступает в виде ливневых и талых вод. Все эти воды удаляются из карьера с помощью водоотлива, который включает систему регулирования стока карьерных вод и насосные станции для откачки их из водосборников на поверхность земли.

Система регулирования стока карьерных вод включает устройства для предотвращения деформации откосов, а также водосборные каналы или трубы, ведущие воду к водосборникам с насосными станциями. В зависимости от местоположения этих водосборников водоотлив разделяется на открытый и подземный.

При открытом водоотливе воды отводят в открытые водосборники, располагаемые на самых низких отметках карьера и углубляемые по мере перехода на новые горизонты. Рассчитывают их объем на прием не менее чем трехчасового нормального притока воды. Насосная станция по трубопроводу, уложенному на нерабочий борт, подает воду из водосборника на поверхность в водоотводный канал.

При подземном водоотливе карьерные воды отводят в специальные подземные дренажно-водоприемные выработки обычно через скважины ниже горизонта открытых горных работ. Для откачки воды на поверхность в подземных выработках сооружаются участковые и центральные насосные станции с водосборниками.

Основной задачей при проектировании открытого водоотлива, который в силу ряда преимуществ чаще применяется на карьерах, является определение подачи насосных установок и продолжительность откачки ливневых вод. Причем подача установленных насосов должна обеспечить откачку максимального суточного притока воды за 20 часов. Кроме того, необходимо иметь еще 20–25 % насосов в резерве.

На больших карьерах в целях уменьшения числа насосов допускается подтопление карьеров до отметки, определяемой положением электрооборудования горных и транспортных средств (в расчетах можно принять равной 2 м).

Для расчета подачи насосов и продолжительности их работы применяется графоаналитический метод. Порядок расчета представлен ниже:

1. Необходимо определить среднюю интенсивность ливневого дождя  $q$  различной продолжительности (от 1 до 140 часов) и свести результаты в табл. 3.1.

$$q = \frac{360 \cdot 20^n \cdot q_{20} (1 + c \cdot \lg P)}{t_A^n}, \quad (3.2)$$

где  $q$  – интенсивность выпадения ливневого дождя,  $\text{м}^3/\text{ч} \cdot \text{км}^2$ ;

$q_{20}$  – интенсивность ливневого дождя продолжительностью 20 мин (для дождя пятипроцентной обеспеченности можно принять  $q_{20} = 70 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{км}^2$ , а  $P = 20$ );

$n, c$  – параметры, зависящие от географического положения карьера (в расчетах можно принять  $n = 0,7$ ;  $c = 1,0$ );

$t_A$  – продолжительность ливня, ч (для построения графика можно принять 1, 6, 12, 24, 43, 72, 96, 120 ч).

Таблица 3.1

Результаты расчетов

| Продолжительность ливня $t_A$ , ч | Средняя интенсивность ливня $q$ , м <sup>3</sup> /ч·км <sup>2</sup> | Приток ливневых вод $Q_{л}$ , м <sup>3</sup> /ч | Объем ливневых вод $V_{л}$ , м <sup>3</sup> |
|-----------------------------------|---|---|---|
|-----------------------------------|---|---|---|

2. Далее следует рассчитать приток ливневых вод в карьер  $Q_{л}$  для дождей различной продолжительности и внести результаты в табл. 3.1.

$$Q_{л} = q\alpha F_{в}\eta, \quad (3.3)$$

где  $Q_{л}$  – приток в карьер ливневых вод, м<sup>3</sup>/ч;

$\alpha$  – коэффициент поверхностного стока (для скальных и глинистых грунтов  $\alpha = 0,8-0,9$ ; для песчаных  $\alpha = 0,5-0,7$ );

$F_{в}$  – водосборная площадь карьера в границах нагорного канала;

$\eta$  – коэффициент простираемости дождя (для  $F_{в} = 1-10$  км<sup>2</sup> –  $\eta = 0,91-0,99$ ; для  $F_{в} = 11-20$  км<sup>2</sup> –  $\eta = 0,87-0,9$ ; для  $F_{в} = 21-30$  км<sup>2</sup> –  $\eta = 0,8-0,86$ ).

3. Определить объем осадков  $V_{л}$  для ливней тех же продолжительностей и результаты внести в табл. 3.1.

$$V_{л} = Q_{л} \cdot t_{л}. \quad (3.4)$$

4. Определить максимально допустимый объем подтопления карьера, приняв глубину подтопления 2 м.

5. Рассчитать приток подземных вод в карьер.

6. По данным табл. 3.1 построить график для определения подачи насосов и продолжительности водоотлива (рис. 3.1).

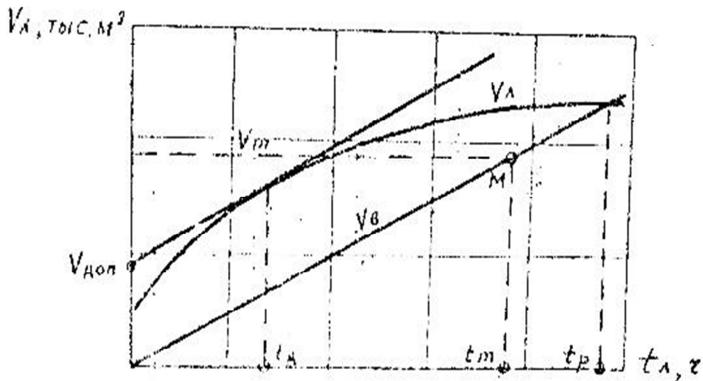


Рис. 3.1. График для определения подачи насосов карьерного водоотлива

Для этого на оси  $x$  отметить продолжительность ливня, а на оси  $y$  — объем ливневых вод. Затем на оси ординат отметить точку  $V_{\text{доп}}$ , соответствующую значению максимально допустимого объема подтопления карьера. Из этой точки необходимо провести касательная к кривой  $V_{\text{л}}$ . Из начала координат параллельно полученной прямой провести вторую прямую  $V_{\text{в}}$ , которая выражает объемы воды, подлежащие откачке водоотливом. Пересечение прямой  $V_{\text{в}}$  с кривой  $V_{\text{л}}$  происходит в точке, соответствующей расчетному времени откачки воды из карьера  $t_{\text{р}}$ .

7. Для определения средней интенсивности притока ливневых вод в карьер на прямой  $V_{\text{а}}$  графика в любой ее точке  $M$  снимается значение объема воды, подлежащей откачке  $V_{\text{м}}$  и ее продолжительности  $t_{\text{м}}$ .

$$Q_{\text{л}} = \frac{V_{\text{м}}}{t_{\text{м}}}. \quad (3.5)$$

8. С учетом притока подземных вод  $Q_{\text{п}}$  полная подача насосов при откачке воды из карьера составит:

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{п}} + C_{\text{л}}. \quad (3.6)$$

9. По гидрометеорологическому фактору откачку ливневых вод наиболее целесообразно производить в течение 3–5 суток.

10. Число насосов с учетом неравномерности притока воды составит:

$$n = \frac{1,2Q_{\text{в}}}{Q_{\text{н}}}, \quad (3.7)$$

где  $Q_{\text{н}}$  – подача принятого насоса, м<sup>3</sup>/ч.

11. Число насосов в установке должно быть: рабочих  $n$ , резервных  $n$  и ремонтируемых  $0,25 n$ , шт.

12. Выбор оптимальных типов насосов производится с учетом их подачи и развиваемого напора (табл. 3.2).

Таблица 3.2

#### Техническая характеристика насосов

| Марка насоса | Подача, м <sup>3</sup> /ч | Напор, МПа |
|--------------|---------------------------|------------|
| НД           | 900–2000                  | до 1,25    |
| НФ           | 30–400                    | до 1,0     |
| МС           | 30–300                    | 0,5–6,0    |
| ЮН           | 150–200                   | 0,3–0,4    |
| НП           | 20–120                    | 0,16–0,3   |
| С            | 24–250                    | 0,09–0,2   |
| ВН           | 5–20                      | 0,3–0,7    |
| НАП          | 6–40                      | 0,07–0,17  |

13. Вода, откачиваемая насосами из карьера, подается в водоотводные каналы, по которым она поступает в ближайшую реку. Размеры и форму каналов определяют расчетом исходя из количества откачиваемой воды и допустимой скорости течения. На насосных станциях ведется постоянный учет количества откачиваемой воды.

### 3.5. Мероприятия по осушению и регулированию естественных водоемов и водотоков

При наличии на территории карьерного поля болот и небольших озер производится осушение поверхности, заключающееся в строительстве открытых осушительных каналов, отводящих поверхност-

ные воды за пределы поля карьера. Расстояние между каналами и их размеры определяются расчетом. Осуществляют также отвод реки или ручья за пределы карьерного поля. Причем трасса водоотводного канала должна брать начало выше карьерного поля и проходить за границей возможных открытых разработок, размеры канала должны быть примерно равны размерам реки или ручья.

Используемые в качестве водоприемников реки и каналы не всегда в состоянии обеспечить отвод этих вод. В таких случаях проводят их регулирование, которое заключается в очистке, спрямлении, углублении и обваловании земляными дамбами русла этих водотоков.

#### **4. ОХРАНА ПРИРОДЫ ПРИ ОСУШЕНИИ КАРЬЕРОВ**

Подземные воды до попадания в карьеры являются относительно чистыми и вполне пригодны для питьевого и технического водоснабжения. При попадании в карьер они загрязняются взвешенными частицами, химически и бактериально. Поэтому перед их откачкой в ближайший водоток или водоем производится очистка воды от взвешенных примесей, деминерализация и нейтрализация.

Очистка карьерной воды от взвешенных частиц может производиться в карьерных водосборниках и на поверхности земли в прудах–отстойниках. В последнее время для очистки воды применяют-ся фильтровальные установки.

Деминерализация карьерных вод может осуществляться с помощью дистилляционных (при содержании солей более 5 г/л) и электродиализных (при содержании солей до 3 г/л) установок. Нейтрализация кислых карьерных вод проводится с использованием известкового молока и сульфатредуцирующих бактерий.

Все эти работы выполняются в бассейне – накопителе, который устраивают в понижениях рельефа на слабопроницаемых грунтах и ограждают земляными дамбами. В этих бассейнах часть воды испаряется в летний период, а часть отводится в речную систему после отстоя и очистки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Репина, И. И. Построение карты гидроизогипс и гидрогеологические расчеты по динамике подземных вод: методические указания к лабораторным работам по инженерной геологии для студентов направления 270100 «Строительство» : в 3 ч. / И. И. Репина. – Ижевск : ИжГТУ, 2009. – Ч. 3. – 28 с.
2. Кожназаров, А. Д. Гидрогеология / А. Д. Кожназарова, И. С. Рачков. – Алматы : Ценные бумаги, 2015. – 312 с.
3. Передельский, Л. В. Инженерная геология / Л. В. Передельский, О. Е. Приходченко. – Ростов-н/Д : Феникс, 2006.
4. Ананьев, В. П. Инженерная геология : учебник для строительных специальностей вузов / В. П. Ананьев, А. Д. Потапов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Вышэйшая школа, 2000. – 511 с.
5. Абрамов, С. К. Защита карьеров от воды / С. К. Абрамов [и др.]. – М. : Недра, 1976. – 230 с.
6. Скабалланович, И. А. Гидрогеология, инженерная геология и осушение месторождений / И. А. Скабалланович, М. В. Седенко. – М. : Недра, 1980. – 205 с.
7. Халявкин, Ф. Г. Осушение и подготовка поверхности торфяных месторождений / Ф. Г. Халявкин. – Минск : Вышэйшая школа, 1987. – 110 с.
8. Методические указания к курсовому проектированию по курсу «Гидротехника». – Минск : ВПИ, 2010. – 47 с.
9. Методические указания по применению стандартов в курсовом и дипломном проектировании. – Минск : ВПИ, 1980. – 21 с.

Учебное издание

**ОНИКА** Сергей Георгиевич  
**ПАВЛОВСКИЙ** Александр Илларионович  
**КУЗЬМИЧ** Валентина Андреевна и др.

## **ГИДРОГЕОЛОГИЯ**

Пособие для студентов специальности  
1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых  
(по направлениям)»

Редактор *П. П. Горбач*  
Компьютерная верстка *А. В. Степанкина*

Подписано в печать 29.04.2024. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 2,44. Уч.-изд. л. 1,47. Тираж 100. Заказ 842.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.