Министерство угольной промышленности СССР

Государственный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и проектный институт угольной промышленности
(Укрниипроект)

Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт охраны окружающей природной среды в угольной промышленности
(ВНИИОСуголь)

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ВОДОПРИТОКОВ В РАЗРЕЗЫ

Пермь
1984

gost.e-ecolog.ru

Министерство угольной промышленности СССР

Государственный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и проектный институт угольной промышленности (Укрниипроект)

Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт охраны окружающей природной среды в угольной промышленности (ВНИИОСуголь)

Утверждены начальником
Управления охраны природы
Минуглепрома СССР
тов. Г.Г.Вознюком
12 ноября 1982 года

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ВОДОПРИТОКОВ В РАЗРЕЗЫ

Пермь
1984

УДК 622.512(048).08

## А Н Н О Т А Ц И Я

В методических указаниях содержатся исходные данные, необходимые для определения водопритоков в разрезы, излагаются факторы, влияющие на выбор способов осушения разрезов и их расчетное обоснование, а также требования к осушению разрезов и условия применения различных способов их защиты от воды, обосновывается выбор расчетной схемы фильтрации, приводятся расчеты притоков воды к горизонтальным дренам, водопонижающим и горизонтальным дренажным скважинам, подземным дренажным выработкам, дается оценка влияния горных работ и водопонижения, а также поверхностных водотоков и водоемов на формирование притоков воды в разрезы.

Методические указания разработаны с учетом действующих в отрасли нормативно-методических документов. В них учтены замечания и предложения производственных объединений, научно-исследовательских и проектных институтов.

Методические указания предназначены для использования в качестве методического пособия по расчету водопритоков при проектировании, строительстве и эксплуатации разрезов производственными и проектными организациями Минуглепрома СССР, занимающимися прогнозированием притоков воды в горные выработки.

Авторский коллектив: канд.геол.-мин.наук С.А.Устинов, канд. геол.-мин.наук О.А.Спивак, канд.геол.-мин.наук Е.Н.Руднев, канд.геол.-мин.наук А.Н.Могилко /Укрниипроект/, канд.техн. наук В.М.Баньковская /ВНИИОСуголь/

Государственный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и проектный институт угольной промышленности /Укрниипроект/

(С) Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт охраны окружающей природной среды в угольной промышленности /ВНИИОСуголь/, 1984

# В В Е Д Е Н И Е

Методические указания по прогнозированию водопритоков в разрезы составлены в соответствии с программой выполнения задания 01.ГКНТ "Разработать и представить в Госплан СССР и Госстрой СССР комплекс научно-технических мероприятий по максимальному предотвращению отрицательного воздействия деятельности горнодобывающей промышленности на геологическую среду". В "Методических указаниях..." использованы существующие методы прогнозирования притоков воды в разрезы, разработанные Государственным научно-исследовательским, проектно-конструкторским и проектным институтом угольной промышленности /УкрНИИпроект/, Всесоюзным научно-исследовательским институтом горной геомеханики и маркшейдерского дела /ВНИМИ/, Институтом горного дела им.А.А.Скочинского /ИГД им.А.А.Скочинского/, Всесоюзным научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу /ВИОГЕМ/, Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидрогеологии и инженерной геологии /ВСЕГИНГЕО/, Всесоюзным научно-исследовательским институтом водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии /ВНИИВОДГЕО/, Московским государственным университетом /МГУ/, Ленинградским горным институтом /ЛГИ/ и др.

Первая редакция "Методических указаний...", разработанная институтом УкрНИИпроект, была направлена в проектные и научно-исследовательские институты и производственные объединения отрасли для получения отзывов и апробаций.

С учетом замечаний и предложений указанных организаций институтами "УкрНИИпроект" и "ВНИИОСуголь" подготовлена настоящая редакция "Методических указаний...", в которой уточнены и конкретизированы положения первой редакции применительно к вопросам охраны геологической среды от отрицательного воздействия предприятий угледобывающей промышленности.

"Методические указания..." предназначены для использования при расчете водопритоков и осушения разрезов производственными и проектными организациями Минуглепрома СССР, занимающимися проектированием, строительством и эксплуатацией разрезов.

Принятые обозначения:

$x, y, z$ - декартовые координаты;
$r$ - радиальная координата;
$k$ - коэффициент фильтрации;
$\mu$ - коэффициент гравитационной водоотдачи;
$m$ - мощность напорного пласта;
$h$ - глубина безнапорного потока;
$H$ - пьезометрический напор;
$H_e$ - первоначальный напор в расчетной точке;
$h_e$ - первоначальная глубина потока в расчетной точке;
$h_\varepsilon$ - высота высачивания;
$a^*$ - коэффициент пьезопроводности;
$a$ - коэффициент уровнепроводности;
$\mu^*$ - коэффициент упругой водоотдачи;
$\beta^*$ - коэффициент упругоемкости пласта;
$\varepsilon$ - модуль питания;
$S$ - понижение уровня подземных вод в расчетной точке;
$S_c$ - понижение уровня в водопонижающей скважине;
$Q$ - дебит водопонижающей скважины;
$R$ - расчетный радиус влияния;
$r_c$ - радиус скважины;
$d_c$ - диаметр скважины;
$\sigma$ - расстояние между водопонижающими скважинами;
$m_1$ - мощность слабопроницаемого слоя;
$k_1$ - коэффициент фильтрации слабопроницаемого слоя;
$\mu_1$ - коэффициент упругой водоотдачи слабопроницаемого слоя;
$a_1$ - коэффициент пьезопроводности слабопроницаемого слоя;
$h_c$ - столб воды в дрене;
$t$ - время;
$B$ - длина горизонтальной дрены;
$\gamma$ - удельный вес воды;
$r_k$ - приведенный радиус разреза;
$i$ - наклон водоупора;

$i_o$ - начальный градиент фильтрации;

$A_o$ - коэффициент сопротивления русловых отложений;

$\Delta L$ - сопротивление ложа реки;

$\gamma_w$ - объемная масса породы в водонасыщенном состоянии;

$\nu$ - коэффициент бокового распора;

$C$ - сцепление;

$\varphi$ - угол внутреннего трения;

$\alpha_v$ - коэффициент сжимаемости;

$L$ - расстояние между контурами питания и дренажа;

$\gamma_o$ - объемный вес грунтов без учета взвешивания.

# I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

## I.I. Исходные фильтрационные, метеорологические и гидрологические параметры для определения притоков воды в разрезы

I.I.I. Для обоснованного расчета притоков воды в открытые горные выработки и к дренажным сооружениям и устройствам при проведении гидрогеологических исследований в процессе разведочных работ на угольных месторождениях должны быть определены следующие фильтрационные параметры: коэффициент фильтрации, коэффициент гравитационной водоотдачи, коэффициент упругой водоотдачи, коэффициент пьезопроводности, коэффициент уровнепроводности, водопроводимость напорного водоносного горизонта, водопроводимость безнапорного водоносного горизонта, параметр установившегося перетекания, параметр неустановившегося перетекания, коэффициент сопротивления русловых отложений, сопротивление ложа реки, модуль инфильтрационного питания.

I.I.2. Указанные фильтрационные параметры, как правило, определяются по результатам полевых гидрогеологических, гидрологических и метеорологических исследований, проведение которых и методы обработки результатов достаточно подробно изложены в специальной литературе / 9, 37, 56, 79 /.

I.I.3. Степень изучения фильтрационных параметров зависит от стадии проектирования, сложности гидрогеологических условий и предполагаемых методов расчета (балансовый, гидравлический, гидродинамический, аналогий, комбинированный, с привлечением математического моделирования) / 50, 78, 90 /.

Фильтрационные параметры должны быть известны для водоносных горизонтов, располагаемых во вскрышной толще и угольных пластах: в границах зоны горного отвода, на окружающей территории в пределах предполагаемого радиуса влияния от действия открытых горных выработок и дренажных сооружений и устройств, а также по крайней мере для первого водоносного горизонта, залегающего ниже пласта полезного ископаемого, который принят к отработке открытым способом / 49 /.

Должны быть известны фильтрационные параметры слабопроницаемых пород, граничащих с водоносными отложениями, с целью возможности прогнозирования притоков воды из них при ведении открытых горных работ и осушении месторождений / 49 /, а также комплексные фильтрационные параметры, учитывающие при водопонижении процессы фильтрации подземных вод в слоистой толще.

I.I.4. На действующих разрезах под влиянием открытых горных работ и водопонижения существенно изменяются условия питания, циркуляции и разгрузки подземных вод, вследствие чего происходят изменения и в значениях фильтрационных параметров.

I.I.5. При нарушенном режиме уточнение фильтрационных параметров на разных стадиях освоения месторождения должно осуществляться посредством анализа результатов изменения притоков воды в открытые горные выработки и к дренажным устройствам, данных режимных наблюдений, путем решения обратных задач с привлечением методов математического моделирования и на основании проведения специальных гидрогеологических, гидрологических и инженерно-геологических работ.

I.I.6. Для угольных месторождений, подлежащих освоению открытым способом или эксплуатируемых, должны быть определены следующие метеорологические и гидрологические параметры: среднемноголетнее значение выпадающих атмосферных осадков, испарение с поверхности суши, высота слоя стока, модуля стока, модуля подземного стока, высота подземного слоя стока; коэффициенты испарения, общего стока и подземного стока, максимальное количество суточных осадков разной обеспеченности.

I.I.7. Метеорологические и гидрологические параметры определяются в основном по данным метеостанций и гидрометрических постов.

## I.2. Факторы, влияющие на выбор способа осушения разреза и его расчетное обоснование

I.2.I. Выбор способа осушения разреза и его расчетное обоснование основываются на учете ряда факторов: метеорологических, гидрологических, геологических, гидрогеологиче-

ских, инженерно-геологических, горнотехнических и экономических / 77, 78, 96 /.

I.2.2. Метеорологические и гидрологические факторы являются определяющими в формировании поверхностного и подземного стока.

Для некоторых угольных бассейнов и месторождений среднемноголетние метеорологические и гидрологические параметры, заимствованные из литературных источников Гидрометеослужбы, отчетов геологоразведочных организаций, специальной гидрологической литературы, гидрогеологической карты СССР масштаба I : 2500000, выпущенной Главным управлением по геодезии и картографии при Совете Министров СССР и институтом „ВСЕГИНГЕО" Министерства геологии СССР в 1969 году, а также рассчитанные с использованием метода водного баланса и уравнений связи между отдельными параметрами, приведены в табл.I.I.

Величина подземного стока в мм/год характеризует инфильтрационное питание подземных вод; по величине модуля подземного стока можно судить о динамическом притоке вод к разрезу; значение модуля общего стока дает представление о притоке в разрез поверхностных и подземных вод.

Для лучшей организации мероприятий по защите разрезов от поверхностных и подземных вод необходимо иметь значения метеорологических и гидрологических параметров по сезонам года.

В качестве примера в табл.I.2. приведены данные для условий Азейского месторождения о среднем сезонном количестве атмосферных осадков, сезонном распределении общего стока и модуля общего стока.

Метеостанции и гидрометрические посты, как правило, отсутствуют в непосредственной близости от угольных месторождений, поэтому назрела необходимость в проведении специальных исследований в пределах угольных месторождений по определению метеорологических и гидрологических параметров, учитывающих влияние открытых горных работ и водопонижения на окружающую среду.

I.2.3. Геологические и гидрогеологические факторы определяют обводненность месторождения, условия накопления, движения и разгрузки подземных вод.

Таблица I.I

| Бассейны, месторождения | Элементы водного баланса, мм | | | | Коэффициенты, доли единицы | | Модуль стока, л/сек.км² | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | осадки | испарение | сток | | испарения | общего стока | общий | подземный |
| | | | общий | подземный | | | | |
| Бассейны: | | | | | | | | |
| Днепровский | 541 | 460 | 81 | 47 | 0,85 | 0,15 | 2,55 | 1,5 |
| Подмосковный | 538 | 377 | 161 | 63 | 0,70 | 0,30 | 5,1 | 2,0 |
| Месторождения: | | | | | | | | |
| Азейское | 347 | 312 | 35 | 2 | 0,90 | 0,10 | 1,11 | 0,067 |
| Бабаевское | 383 | 276 | 107 | 31 | 0,72 | 0,28 | 3,4 | 1,0 |
| Бикинское | 613 | 361 | 252 | 41 | 0,59 | 0,41 | 8,0 | 1,3 |
| Бородинское | 353 | 227 | 126 | 63 | 0,64 | 0,36 | 4,0 | 2,0 |
| Кедровское | 520 | 394 | 126 | 72 | 0,76 | 0,24 | 4,0 | 2,3 |
| Назаровское | 614 | 441 | 173 | 31 | 0,72 | 0,28 | 5,5 | 1,0 |
| Новиковское | 729 | 98 | 631 | 189 | 0,13 | 0,87 | 20,0 | 6,0 |
| Павловское | 558 | 483 | 75 | 15 | 0,87 | 0,13 | 2,38 | 0,48 |
| Райчихинское | 585 | 396 | 189 | 31 | 0,68 | 0,32 | 6,0 | 1,0 |
| Сибиргинское | 978 | 354 | 624 | 126 | 0,36 | 0,64 | 19,8 | 4,0 |
| Харанорское | 322 | 300 | 22 | 3 | 0,93 | 0,07 | 0,70 | 0,10 |

Таблица I.2

| Единицы измерения \ Сезон | Весна (IУ-У) | Лето (УI-УШ) | Осень (IX-X) | Зима (XI-Ш) | Год |
|---|---|---|---|---|---|
| | Количество атмосферных осадков | | | | |
| мм | 39 | I96 | 6I | 5I | 347 |
| % | II | 56 | I8 | I5 | I00 |
| | Распределение общего стока | | | | |
| мм | I7,9 | II,9 | 4,3 | 0,9 | 35 |
| % | 5I,2 | 34,I | I2,3 | 2,4 | I00 |
| | Значения модуля общего стока | | | | |
| л/сек.км$^2$ | 3,4 | I,5I | 0,805 | 0,067 | I,II |

Геологические факторы включают: структуру, характер тектонических нарушений, литологический состав и фациальную изменчивость горных пород в вертикальном разрезе и по площади, мощность отдельных слоев, наличие многолетнемерзлых пород.

Гидрогеологические факторы определяют: количество и мощность водоносных горизонтов, расположение их в пространстве, фильтрационные свойства отложений и их изменение по площади и в вертикальном разрезе, гидравлическую связь водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водотоками и водоемами, режим подземных вод, условия питания и разгрузки, соотношение статических и динамических запасов подземных вод, химический состав подземных вод.

Отработка угольных месторождений открытым способом и проводимое осушение их, как правило, сопровождаются сработкой статических запасов; снижением уровней и напоров подземных вод; распространением депрессионной поверхности до границ области фильтрации, представленных водотоками и водоемами, которые могут служить дополнительными источниками питания; сооружением в пределах месторождений прудов-отстойников, гидроотвалов, нагорных и водоотводных канав, которые способствуют за счет потерь на фильтрацию формированию дополнительных притоков воды в разрезы; изменением химического

состава подземных вод. Указанные изменения необходимо учитывать при расчете водопритоков в разрезы на разных стадиях освоения угольных месторождений.

I.2.4. И н ж е н е р н о - г е о л о г и ч е с к и е ф а к т о р ы влияют на выбор способа осушения разреза и его расчетное обоснование с точки зрения физико-механических и водных свойств горных пород и углей.

Выясняется склонность горных пород к изменению прочностных и деформативных свойств в зависимости от изменения влажности под влиянием поверхностных и подземных вод, что обусловливает требования к осушению разреза с позиций устойчивости бортов и отвалов, а также проходимости горнотранспортных машин.

Производится оценка влажности углей в естественных условиях и ее изменение при эксплуатации месторождения, определяются значения безопасной, предельной и критической влажности с точки зрения смерзаемости полезного ископаемого при транспортировании в железнодорожных вагонах и примерзания его к ковшам экскаваторов и конвейерной ленте.

Физико-механические свойства горных пород и углей влияют на выбор способа и скорости сооружения дренажных выработок и устройств.

I.2.5. Г о р н о т е х н и ч е с к и е ф а к т о р ы определяют характер вскрытия водоносных горизонтов в плане и вертикальном разрезе, а также порядок отработки месторождения.

К ним относятся: система вскрытия и эксплуатации поля разреза, применяемое оборудование на вскрышных и добычных работах, геометрические параметры и форма поля разреза в плане, скорость и направление движения фронта горных работ, годовая величина углубления. Перечисленные факторы влияют на выбор конфигурации дренажной системы, количества дренажных выработок и устройств, сроков их сооружения.

I.2.6. Э к о н о м и ч е с к и е ф а к т о р ы, к которым относятся затраты на осушение разреза, предопределяют экономическую целесообразность сооружения дренажных выработок и устройств.

I.3. Требования к осушению разрезов

I.3.I. На современном этапе развития народного хозяйства страны при разработке угольных месторождений открытым способом к осушению разрезов предъявляются следующие требования / 77, 96 /:

- создание нормальных условий для работы горнотранспортного оборудования;
- обеспечение устойчивости бортов и отвалов;
- улучшение условий проходимости горных машин;
- устранение угрозы прорыва подземных вод в разрезные траншеи;
- улучшение качества угля путем снижения влажности для предотвращения примерзания к ковшам экскаваторов и конвейерной ленте и смерзаемости его при транспортировании в железнодорожных вагонах;
- охрана подземных вод от истощения и загрязнения;
- максимальное сокращение потерь на фильтрацию из рек, водохранилищ, гидроотвалов, прудов-отстойников, нагорных и водоотводных канав;
- уменьшение ущерба речному стоку;
- использование откачиваемых из разрезов вод для хозяйственно-питьевого, технического и сельскохозяйственного водоснабжения.

I.3.2. Повышенные притоки подземных вод обычно характерны для периода строительства разреза, что связано со сработкой статических запасов в районе вскрытия. Требования к осушению разрезов в период строительства следующие:

- обеспечение устойчивости бортов разрезных траншей;
- предотвращение фильтрационных деформаций;
- предотвращение прорыва напорных вод в разрезные траншеи;
- обеспечение нормальной работы горного оборудования;
- защита разрезных траншей от притоков вод со стороны водотоков и водоемов;
- охрана подземных вод от истощения и загрязнения.

I.3.3. Для периода эксплуатации следует различать требования к осушению рабочего борта, нерабочего борта и внутренних отвалов.

Требования к осушению рабочего борта:

- обеспечение устойчивости отдельных уступов и всего борта в целом;
- улучшение условий проходимости горнотранспортных машин;
- создание нормальных условий работы горнотранспортного оборудования;
- обеспечение производства буровзрывных работ;
- заблаговременное удаление гравитационной воды из угольных пластов в пределах очередной добычной заходки при работе экскаваторов в суровых климатических условиях;
- охрана водных ресурсов.

Требования к осушению нерабочего борта:

- обеспечение устойчивости борта;
- осуществление перехвата подземных вод, направляющихся в разрез со стороны нерабочего борта;
- уменьшение ущерба речному стоку.

Требования к перехвату поверхностных вод к разрезу сводятся к сооружению нагорных канав и защитных дамб.

Требования к осушению внутренних отвалов:

- обеспечение устойчивости отвалов;
- улучшение условий проходимости горных машин на отвалах;
- предотвращение дополнительного увлажнения пород в отвале подземными водами, вызывающими снижение прочностных свойств пород при увеличении их влажности;
- недопущение прорыва напорных вод через основание отвалов в выработанное пространство.

I.4. Условия применения различных способов осушения.

I.4.I. Мероприятия по осушению разрезов осуществляются предварительно либо параллельно с ведением горных работ.

Предварительное осушение проводится обычно на полях разрезов, характеризующихся сложными гидрогеологическими условиями, когда для обеспечения нормальных условий ведения горных работ заранее требуется снижение напоров или уровней подземных вод.

Параллельное осушение применяется самостоятельно на месторождениях с простыми гидрогеологическими условиями или вслед за предварительным осушением, когда оно должно обеспечивать дальнейшее снижение напоров (уровней) подземных вод.

I.4.2. При осушении месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом, могут быть применены следующие способы защиты разрезов от подземных вод: подземный способ, водопонижающими скважинами, открытый водоотлив, противофильтрационными завесами, горизонтальными дренажными скважинами, комбинированный способ.

I.4.3. Подземный способ осушения разрезов применяется в следующих случаях:

- когда во вскрышной толще залегают несколько водоносных слоев, разделенных друг от друга слабопроницаемыми породами;
- в случае преобладания в геологическом разрезе неустойчивых пород, характеризующихся незначительной водопроницаемостью;
- при необходимости снижения напоров подземных вод в покрывающих и подстилающих полезное ископаемое породах;
- при необходимости использования подземных выработок также и для целей карьерного водоотлива.

I.4.4. Водопонижающие скважины могут быть применены для снижения уровней подземных вод как при вскрытии поля разреза, когда под их защитой осуществляется проходка разрезной траншеи, так и в период эксплуатации.

Когда скважины применяются для обеспечения устойчивости бортов и предотвращения фильтрационных деформаций песчаных отложений, то необходимый эффект водопонижения достигается при осушении пород, характеризующихся значением водопроводимости $\geqslant$ I00 $м^2$/сут. / 76 /.

Оптимальный срок работы водопонижающих скважин составляет 5 лет / 77 /.

Эффективность работы водопонижающих скважин повышается при их сооружении прогрессивным всасывающим способом с обратной промывкой чистой водой / 96 /.

С точки зрения охраны водных ресурсов применение водопонижающих скважин, по сравнению с другими способами осушения, является более целесообразным, так как откачиваемые ими

подземные воды могут быть без предварительной очистки использованы для нужд народного хозяйства страны.

I.4.5. При открытом водоотливе подземные воды непосредственно дренируются бортами разреза, стекают в дренажные и водоотводные канавы, направляются к водосборникам и удаляются за пределы разреза средствами внутрикарьерного водоотлива. Открытый водоотлив особенно перспективен на разрезах, где рабочий борт сложен устойчивыми породами.

Разновидностью открытого водоотлива являются передовые дренажные траншеи, проходимые впереди фронта горных работ на глубину до 20-30 м по вскрышным породам или по пласту полезного ископаемого и служащие для перехвата потока подземных вод к разрезу со стороны рабочего борта и интенсификации осушения площади поля разреза между откосом рабочего борта и данной траншеей.

I.4.6. Одним из способов защиты разрезов от притоков подземных вод являются противофильтрационные завесы, применение которых способствует сохранению естественного режима подземных вод на территории, прилегающей к границам поля разреза.

В мировой и отечественной практике известны следующие способы создания противофильтрационных завес / 96 /: свайный, щелевой, траншейный, инъекционный, гидрозавесы и завесы с применением энергии взрыва.

Сооружение противофильтрационных завес наиболее перспективно в следующих случаях и их сочетаниях:

- мощный водоносный горизонт (или водоносный комплекс из нескольких водоносных горизонтов, разделенных слабопроницаемыми слоями) подстилается водоупорными породами на глубине, доступной для техники сооружения завес;

- вблизи поля разреза расположены водоемы или водотоки, являющиеся источниками постоянной фильтрации воды в открытые горные выработки;

- выходы хорошо проницаемых отложений в мульдообразных структурах расположены под обводненными породами или водоемами;

- верхний водоносный горизонт в двухслойном водоносном комплексе обладает значительно большей проводимостью, чем нижний горизонт;

- водоносные и водоупорные породы выдержаны по площади и в вертикальном разрезе, что предопределяет возможность перекрытия обводненных отложений инъекционными завесами;

- динамические запасы подземных вод преобладают над статическими.

I.4.7. Горизонтальные дренажные скважины в качестве основного и вспомогательного средства осушения могут быть использованы в следующих случаях / 86, 96 /:

- при дренаже маломощных пластов, когда применение вертикальных средств осушения неэффективно;

- при вскрытии мощных водоносных горизонтов, питающихся за счет близлежащих водоемов и водотоков, когда существенное влияние на устойчивость уступов и борта в целом оказывают гидростатические и гидродинамические силы;

- при дренаже мощных водоносных горизонтов, распространенных в хорошо фильтрующих рыхлых породах с удаленным контуром питания;

- для осушения пласта полезного ископаемого в призабойной зоне с целью предотвращения смерзаемости угля при транспортировании в железнодорожных вагонах и примерзания к ковшам экскаваторов и конвейерной ленте;

- для снижения влажности угля при использовании его на брикетных фабриках;

- для снижения напоров вод в лежачем боку месторождения;

- для интенсификации осушения при применении подземной дренажной системы.

I.4.8. Под комбинированным способом осушения следует понимать такой способ, при котором рационально используются различные сочетания приведенных выше способов осушения.

Комбинированный способ осушения в основном находит применение при освоении месторождений полезных ископаемых в сложных гидрогеологических условиях, когда использование одного вида дренажных устройств не дает должного эффекта.

Обычно под комбинированным способом подразумевают сочетание осушения водопонижающими скважинами и подземного способа осушения. Этот способ объединяет в себе достоинство подземного способа осушения, обеспечивающего эффективность и надежность работы дренажных устройств, и осушения водопони-

жающими скважинами по созданию в короткие сроки предварительного понижения напоров подземных вод.

### I.5. Классификация угольных месторождений с открытым способом разработки для прогнозирования притоков воды в горные выработки при различных гидрогеологических условиях

I.5.I. Угольные месторождения, отрабатываемые открытым способом, могут быть подразделены на следующие основные классы:

- месторождения с горизонтальным залеганием пород и угольных пластов;
- месторождения с пологим залеганием коренных пород и угольных пластов (до $I5^{o}$);
- месторождения с наклонным и крутым залеганием коренных пород и угольных пластов.

I.5.2. Угольные месторождения в зависимости от литологического состава пород, типа подземных вод, обводненности месторождений, наличии или отсутствии гидравлической связи водоносных горизонтов (комплексов) с поверхностными водотоками или водоемами, распространения многолетнемерзлых пород, источников формирования притоков воды к разрезу, величин общего и подземного модулей стока, основных требований к осушению разделены на подклассы (табл.I.3).

Среди месторождений I класса выделены четыре подкласса, среди месторождений II класса - десять подклассов и месторождений III класса - восемь подклассов.

I.5.3. Классификация угольных месторождений произведена таким образом, что ею охвачены основные месторождения, разрабатываемые в настоящее время и осваиваемые, а также подлежащие реконструкции и введению в число действующих до 2000 года.

Таблица I.3

## КЛАССИФИКАЦИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИТОКОВ ВОДЫ В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ РАЗРЕЗОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

| Классы | Подклассы | Краткая характеристика месторождения | Источники формирования притоков воды к разрезу | Модуль стока, л/сек.км² | | Основные требования к осушению месторождения | Примеры месторождений |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | общий | подземный | | |
| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| I | | ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ЗАЛЕГАНИЕ ПОРОД И УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ | | | | | |
| | Iа | Надугольная толща месторождения представлена рыхлыми несцементированными песчаными и глинистыми породами. Пластовые воды распространены в надугольных и подугольных песках и имеют гидравлическую связь с поверхностными водотоками и водоемами | Подземные воды, потери на фильтрацию из водотоков и водоемов | 2,55 | I,5 | Обеспечение устойчивости бортов и отвалов, улучшение условий проходимости горного и транспортного оборудования, предотвращение потерь на фильтрацию из водотоков и водоемов | Месторождения Днепровского буроугольного бассейна |
| | Iб | Надугольная толща месторождения сложена рыхлыми несцементированными песчаными и глинистыми породами, а также известняками. Водоносность месторождения связана с пластовыми водами надугольных песков и пластовыми трещинными водами вмещающих известняков | Поверхностные и подземные воды | 5,I | 2,0 | Обеспечение устойчивости рабочего борта, предотвращение поступления подугольных вод в разрезные траншеи | Месторождения Подмосковного буроугольного бассейна |
| | Iв | Надугольная толща месторождения представлена суглинками, глинами и песками. Пластовые воды распространены в надугольных и подугольных песках | Подземные воды | 3,4 | I,0 | Обеспечение устойчивости бортов, снижение влажности угля при использовании его для брикетирования | Бабаевское и Тольганское буроугольные месторождения |
| | Iг | Месторождение расположено в пределах впадины. Надугольная толща представлена, главным образом, песками, в меньшей степени - суглинками и глинами. Поровые воды приурочены к пескам, пластовые - к угольным пластам. Особенностью месторождения является сильно расчлененный рельеф | Поверхностные и подземные воды | 6,0 | I,0 | Обеспечение устойчивости бортов и отвалов, улучшение условий проходимости горного и транспортного оборудования | Райчихинское и Свободное буроугольные месторождения |

Продолжение таблицы I.3

| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| II | | ПОЛОГОЕ ЗАЛЕГАНИЕ КОРЕННЫХ ПОРОД И УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ (ДО 15°) | | | | | |
| | IIа | Месторождения приурочены к отдельным впадинам, ограниченным отрогами горных систем. Коренные породы представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами, покровные образования - суглинки, пески, галечники. Водовмещающими являются песчаники и угольные пласты, в которых распространены пластово-трещинные воды | Подземные и поверхностные воды, потери на фильтрацию из водотоков | 5,5-4,0 | 2,0-1,0 | Обеспечение устойчивости внутренних отвалов и проходимости машин по ним, предотвращение смерзаемости угля в железнодорожных вагонах и примерзания его к ковшам экскаваторов и конвейерной ленте | Буроугольные месторождения Канско-Ачинского бассейна |
| | IIб | Месторождения приурочены к крупным и небольшим синклинальным складкам различных районов страны. Продуктивная толща представлена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, конгломератами, каменными или бурыми углями. Характерным является слабая водообильность месторождения | | | | Организация внутрикарьерного водоотлива | Черемховское, Бородинское, Изыхское, Каахемское, Сонь-Шибирское, Черногорское каменноугольные месторождения, месторождения Майкюбенского буроугольного бассейна |
| | IIв | Месторождение приурочено к речной долине, выполненной аллювиальными отложениями, которые покрывают продуктивную толщу из песчаников, алевролитов и каменных углей. Водовмещающими являются галечники, где циркулируют поровые воды и песчаники, в которых распространены пластовые трещинные воды | Подземные воды, потери на фильтрацию из реки | | | Охрана подземных вод от истощения, ущерб речному стоку | Бейское каменноугольное месторождение |
| | IIг | Месторождение расположено в речной долине межгорной впадины, сложено глинами, песчаниками, алевролитами, бурыми углями, конгломератами, песками, гравелитами, опоками, известняками, галечниками, суглинками. Особенностью гидрогеологических условий месторождения является различная степень водообильности и водопроницаемости, обусловленная фациальной зональностью, литологическим составом пород, условиями питания и тектонической нарушенностью. Основной водовмещающей породой являются галечники, к которым приурочены поровые воды | Подземные и поверхностные воды, потери на фильтрацию из водохранилища и оросительной сети | II,2 | | Сокращение притоков воды к разрезу, обеспечение устойчивости бортов, организация внутрикарьерного водоотлива | Ангренское буроугольное месторождение |

Продолжение таблицы I.3

| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Пд | Продуктивная толща месторождения сложена песчаниками, алевролитами, бурыми углями, которые перекрыты песчано-галечниковыми отложениями, глинами, суглинками. Обводненность связана с поровыми водами песчано-галечниковых образований и пластовыми трещинными водами в песчаниках и угольных пластах | Подземные воды, потери на фильтрацию из водотоков и водоемов | 2,4 | 0,5 | Обеспечение устойчивости бортов и отвалов, улучшение условий проходимости горного и транспортного оборудования, организация внутрикарьерного водоотлива | Павловское буроугольное месторождение |
| | Пе | Продуктивная толща месторождения представлена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, каменными углями, перекрытыми суглинками и глинами. Обводненность связана, главным образом, с пластовыми трещинными водами в песчаниках и угольных пластах | Подземные и поверхностные воды, потери на фильтрацию из водотоков | 6,0 | 2,0 | Организация внутрикарьерного водоотлива | Талдинское каменноугольное месторождение |
| | Пк | Месторождения приурочены к разобщенным предгорным впадинам с островным характером распространения многолетнемерзлых пород. Продуктивная толща представлена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, бурыми углями, перекрытыми суглинками, супесями, аллювиальными песчано-глинистыми отложениями. Водовмещающими являются угольные пласты, надугольные и подугольные песчаники, в которых распространены пластовые трещинные воды | Потери на фильтрацию из водотоков | I,I | 0,I | Обеспечение устойчивости внутренних отвалов, охрана подземных вод от истощения и загрязнения | Азейское и Мугунское буроугольные месторождения |
| | Пз | Месторождение представляет ряд замкнутых мульдообразных структур, осложненных крупными тектоническими нарушениями типа сбросов. Продуктивная толща сложена песчаниками, аргиллитами, алевролитами, бурыми углями, перекрытыми суглинками, глинами. Многолетняя мерзлота носит островной характер. Пластовые трещинные воды приурочены к мощным угольным пластам и вмещающим их песчаникам. Характеризуется значительной обводненностью | Статические запасы подземных вод и подток артезианских вод нижележащих водоносных комплексов по зонам тектонических нарушений | 0,7 | 0,I | Снижение влажности угля для предотвращения его смерзаемости в железнодорожных вагонах | Харанорское буроугольное месторождение |
| | Пи | Месторождение приурочено к речной долине, сложено аргиллитами, алевролитами, песчаниками и бурыми углями, перекрытыми аллювиальными отложениями. Характеризуется наличием многочисленных пород и значительной обводненностью. Водовмещающими являются галечно-гравийные отложения, имеющие тесную гидравлическую связь с рекой, и пласты угля и песчаников, в которых распространены пластовые трещинные подмерзлотные воды | Потери на фильтрацию из реки, подземные воды | | | Предотвращение фильтрации из реки в разрез | Тарбагатайское буроугольное месторождение |

Продолжение таблицы I.3

| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Шк | Месторождение представляет собой пологую брахисинклиналь и расположено в районе широкого развития многолетней мерзлоты. Продуктивная толща сложена песками и бурыми углями, к которым приурочены подземные воды | Подземные воды | | | Обеспечение устойчивости бортов и отвалов | Ланковское буроугольное месторождение |
| II | | НАКЛОННОЕ И КРУТОЕ ЗАЛЕГАНИЕ КОРЕННЫХ ПОРОД И УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ | | | | | |
| | IIIа | Месторождение приурочено к асимметричной синклинали. Продуктивная толща сложена преимущественно аргиллитами, алевролитами, бурыми углями и, в меньшей степени, песчаниками, перекрыта рыхлыми отложениями. Обводненность месторождения связана с наличием пластовых трещинных вод в угольных пластах | Поверхностные и подземные воды | 8,0 | I,3 | Обеспечение устойчивости бортов, улучшение условий проходимости горного и транспортного оборудования, организация внутрикарьерного водоотлива | Бикинское и Вахрушевское буроугольные месторождения |
| | IIIб | Месторождение приурочено к небольшой брахисинклинали. Продуктивная толща представлена бурыми углями, аргиллитами, гравелито-брекчиями, которые перекрыты делювиально-аллювиальными образованиями. В обводнении месторождения участвуют поровые воды аллювиальных отложений рек и трещинные воды, приуроченные к угольным пластам и гравелито-брекчиям | Поверхностные и подземные воды, потери на фильтрацию из водоемов | 20,0 | 6,0 | Организация внутрикарьерного водоотлива | Новиковское буроугольное месторождение |
| | IIIв | Месторождение приурочено к предгорьям со спокойным моноклинальным залеганием коренных пород. Продуктивная толща сложена песчаниками, алевролитами, аргиллитами и каменными углями, которые перекрыты суглинками и галечниками. Водовмещающими являются угольные пласты и песчаники, в которых распространены пластовые трещинные воды. Месторождение характеризуется сильно пересеченным рельефом с большими разностями отметок | Поверхностные и подземные воды | II,7 | 3,9 | Организация внутрикарьерного водоотлива | Томское каменноугольное месторождение |
| | IIIг | Месторождение расположено в речной долине межгорной впадины. Продуктивная толща сложена песчаниками, алевролитами, конгломератами, каменными углями, перекрытыми аллювиальными отложениями. Подземные воды порового типа приурочены к гравийно-галечниковым отложениям, имеющим тесную гидравлическую связь с рекой, а пластовые трещинные воды - к песчаникам и каменным углям | Поверхностные и подземные воды, потери на фильтрацию | I9,8 | 4,0 | Перехват потока подземных вод со стороны реки, организация внутрикарьерного водоотлива | Сибиргинское каменноугольное месторождение |

Окончание таблицы I.3

| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Шд | Месторождение приурочено к глубокой замкнутой асимметричной мульде. Продуктивная толща сложена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, каменными или бурыми углями, перекрытыми суглинками и глинами. Пластовые трещинные воды распространены в песчаниках и угольных пластах. Обводненность месторождения-незначительная | Поверхностные воды | | | Предотвращение поступления подземных вод в разрезные траншеи. Организация внутрикарьерного водоотлива | Экибастузское каменноугольное и Коркинское буроугольное месторождения |
| | Ше | Месторождение приурочено к крупной брахисинклинали, осложненной вторичной складчатостью и разбитой рядом тектонических разрывов. Продуктивная толща представлена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, каменными углями, перекрытыми суглинками. Пластовые трещинные воды распространены в песчаниках и угольных пластах | Поверхностные и подземные воды, потери на фильтрацию из гидроотвалов и при производстве работ способом гидромеханизации | 4,0 | 2,3 | Организация внутрикарьерного водоотлива | Кедровское, Бачатское, Киселевское каменноугольные месторождения |
| | Шк | Месторождение представляет собой замкнутую мульду в речной долине, в районе распространения многолетней мерзлоты. Продуктивная толща содержит песчаники, аргиллиты, алевролиты, бурые угли, перекрытые галечниками. Водообильность месторождения связана в основном с аллювиальным горизонтом в галечниковых отложениях, который имеет тесную гидравлическую связь с рекой | Поверхностные и подземные воды, потери на фильтрацию из реки | | | Перехват потока подземных вод со стороны реки, организация внутрикарьерного водоотлива | Татауровское буроугольное месторождение |
| | Шз | Месторождение приурочено к брахисинклинали, крылья которой осложнены мелкой складчатостью и многочисленными тектоническими нарушениями. Продуктивная толща сложена песчаниками, алевролитами, каменными углями. Имеет распространение многолетняя мерзлота. Обводненность месторождения связана главным образом с подмерзлотными водами в песчаниках и угольном пласте | Поверхностные и подземные воды | | | Обеспечение нормальной работы горного и транспортного оборудования, предотвращение поступления подземных вод в разрезную траншею | Нерюнгринское каменноугольное месторождение |

## 2. ВЫБОР РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИТОКОВ ВОДЫ В РАЗРЕЗЫ

### 2.I. Основные принципы прогнозирования

2.I.I. Водопритоки в разрез формируются за счет подземных вод, поверхностного стока и атмосферных осадков.

2.I.2. Прогнозирование водопритоков в разрез должно основываться на гидрогеологической обстановке месторождения в естественных условиях и ее изменении в процессе эксплуатации. Оно выражается в определении положения депрессионной поверхности и величин притоков воды к открытым горным выработкам, дренажным сооружениям и устройствам, к разрезу в целом на отдельные моменты времени.

2.I.3. При эксплуатации угольных месторождений открытым способом происходят изменения условий питания, движения и разгрузки подземных вод. Если в естественных условиях питание осуществляется в большинстве случаев за счет атмосферных осадков на площади месторождения и на выходах пластов, при перетекании из нижележащих водоносных горизонтов, а разгрузка подземных вод происходит обычно в реки, балки, овраги, то в нарушенных условиях дополнительное питание обусловлено наличием естественных и искусственных водотоков и водоемов, разрез становится дреной, что необходимо заранее учитывать при определении водопритоков.

2.I.4. В процессе освоения месторождения в результате значительных понижений уровней подземных вод и выемки горных пород изменяются значения модуля питания, что требует учета при расчете притоков воды в разрез (раздел II).

2.I.5. Понижение напоров усиливает процесс перетекания подземных вод (разделы 6 и II) и вызывает также дополнительный приток воды в разрез за счет депрессионного уплотнения слабопроницаемых отложений.

2.I.6. Если урез воды в водотоках и водоемах расположен выше отметки подошвы разреза (почвы водоносных отложений), то они могут служить дополнительными источниками питания подземных вод. Величина дополнительного питания зависит от условий взаимосвязи подземных и поверхностных вод: совершенная гидравлическая связь, подпертый или свободный режимы фильтрации (раздел 9).

2.I.7. В связи с водопонижением и выемкой вскрышных пород и полезного ископаемого изменяются характеристики как поверхностного, так и подземного стока (площадь водосбора, объем стока, модуль стока, высота слоя стока, коэффициент стока), что вызывает изменение притоков воды в разрез за счет ливневых и нормальных атмосферных осадков и подземных вод.

2.I.8. Особенно ощутимо в результате осушения месторождения и проведения открытых горных работ изменяются фильтрационные свойства пород и полезного ископаемого.

В зависимости от изменения эффективных напряжений, вызванных процессом осушения месторождения, с одной стороны, и горными работами, с другой стороны, значения коэффициентов фильтрации и водоотдачи изменяются, что необходимо учитывать при расчете водопритоков в разрез на разных стадиях освоения месторождения (раздел I0).

2.I.9. Изменение гидрогеологической обстановки района месторождения при его эксплуатации вызывает изменение и химического состава подземных вод, что необходимо учитывать при использовании откачиваемых из разреза вод в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства / 25, 57 /.

2.I.I0. В связи с существенным изменением гидрогеологических условий при освоении месторождений очевидно нет необходимости при разработке проектов осушения полей разрезов определять водопритоки на периоды эксплуатации, превышающие I0 лет ж). Более целесообразно осуществлять своевременно корректировку проектов осушения с учетом изменившейся гидрогеологической обстановки.

2.2. Схематизация природных условий

2.2.I. Прогнозирование положений депрессионных поверхностей и величин водопритоков в разрезы основано на решении прямой задачи фильтрации в заданной области потока подземных вод при конкретных начальных и граничных условиях.

2.2.2. Угольные месторождения, отрабатываемые открытым способом, характеризуются разнообразным геологическим строением, гидрогеологическими условиями со сложными очертаниями

---

ж) Это положение не исключает разработку принципиальной схемы осушения разрезов на более длительный срок

границ областей фильтрации, неоднородностью фильтрационных параметров, которые практически невозможно учесть при расчетном обосновании схем осушения полей разрезов. Поэтому прибегают к схематизации природных условий и приведению их к расчетной схеме области фильтрации, которые заключаются в установлении / 4, 6, 7, I0, II, I3, 32, 33, 44, 78, 98 /:

- границ области фильтрации;
- граничных и начальных условий;
- строения и свойств области фильтрации;
- гидравлического характера потока;
- режима потоков подземных вод;
- влияния дренажных сооружений и устройств на возмущение фильтрационного потока.

2.2.3. Расчетная схема должна отражать основные закономерности природных условий и в то же время представлять их в упрощенном виде. Она должна учитывать технологию ведения горных работ: подвигание горных и дренажных выработок, изменение темпа этого подвигания во времени, очередность отработки отдельных участков и блоков; порядок и темп перемещения горных машин и механизмов в разрезной траншее; возможность организации водоотлива в разрезе; технические возможности интенсификации дренажа из горных и дренажных выработок.

2.2.4. Выбор расчетной схемы осушения производится путем анализа исходных фильтрационных, метеорологических и гидрологических параметров; факторов, влияющих на формирование притоков воды к разрезу (п.I.2); требований к осушению разреза; условий применения на месторождении различных способов осушения.

2.2.5. Границы области фильтрации в плане при открытой разработке угольных месторождений в принципе должны соответствовать границам поля разреза, определяемых по В.В.Ржевскому, в зависимости от глубины разреза, предельных углов заоткоски и размеров угольной залежи на уровне дна разреза. Длина фронта работ на действующих и перспективных разрезах колеблется в очень широких пределах: от первых сотен метров до 5 и более километров. В направлении подвигания фронта горных работ размеры поля разреза примерно такие же.

Утверждение проекта разработки месторождения открытым способом и его осуществление по сути дела предопределяют, что в границах поля разреза подземные воды будут попутно с полезным ископаемым и вскрышными породами изъяты из недр. И задача авторов проекта и эксплуатационников в свете решений партии и правительства по охране водных ресурсов состоит в том, чтобы максимально использовать эти воды в народном хозяйстве страны.

Сказанное выше справедливо в тех случаях, когда границы разреза совпадают с естественными границами замкнутых мульд, зонами тектонических нарушений, представлены водотоками и водоемами, а также, когда по контурам разреза предусматривается сооружение противофильтрационных завес.

В противном случае область фильтрации превосходит границы поля разреза на величину радиуса влияния, отсчитываемого от контура дренажа.

Для однородных водоносных пластов величина радиуса влияния может быть определена по формуле / 49 /

$$R = \sqrt{12 a t}. \qquad (2.1)$$

При наличии слоистой толщи радиус влияния может быть рассчитан по выражению

$$R = 1{,}12 B, \qquad (2.2)$$

где $B$ - определяется по табл.6.6. в зависимости от строения слоистой толщи.

Поскольку расчетное обоснование схемы осушения осуществляется на разные периоды освоения месторождения, то можно принимать размеры области фильтрации в плане, руководствуясь естественными границами поля разреза, создаваемыми искусственными сооружениями и размерами зоны влияния дренажа на определенный период времени.

Нижняя граница области фильтрации определяется глубиной залегания угольного пласта, водоносных и слабопроницаемых отложений на разных этапах освоения месторождения.

2.2.6. Прогнозирование положения депрессионной поверхности и определения притоков воды к открытым горным выработкам и специальным дренажным сооружениям и устройствам возможно лишь при задании граничных и начальных условий.

Различают внешние и внутренние граничные условия.

Внешние граничные условия определяют поток подземных вод на границах области фильтрации, внутренние граничные условия характеризуют кровлю и подошву пласта и являются специфичными для дренажных сооружений и устройств различного назначения. В качестве граничных условий в преобладающем большинстве случаев принимаются значения напоров и расходов.

Если границами области фильтрации являются водоемы или водотоки при тесной гидравлической связи поверхностных и подземных вод, то граничные условия задаются в виде значений напора (граничные условия первого рода), которые могут изменяться во времени $H = f(t)$ и быть неизменными ($H = const$).

В случаях, когда на границе области фильтрации происходит питание подземных вод, то имеет место граничное условие второго рода, при котором величина расхода может быть зависимой $q = f(t)$ или независимой ($q = const$) от времени. Например, свободный режим фильтрации из водоема или водотока, свободный перелив подземных вод из другого водоносного горизонта. Граничное условие второго рода ($q = 0$) характерно для границ, представленных водонепроницаемыми породами.

Граничные условия третьего рода отражают зависимость расхода от разности напоров $q = f(\Delta H)$ и являются специфичными для водоемов и водотоков со слабопроницаемым экраном (подпертый режим фильтрации).

В природных условиях границы области фильтрации имеют обычно неправильную геометрическую форму, но при схематизации их заменяют прямолинейными или круговыми.

В результате схематизации природных условий выделяют следующие типовые схемы пластов:

- неограниченные пласты, границы которых располагаются за пределами возможного влияния системы осушения;
- полуограниченные пласты, у которых только одна граница оказывает влияние на режим дренажных сооружений и устройств;
- ограниченные пласты, границы которых влияют на работу дрен с нескольких сторон.

Если предусматривается расчет производить с учетом времени осушения, то помимо граничных условий, требуется учесть еще и начальные условия, которые характеризуют начальное распределение уровней или напоров в пределах области фильтрации (задается с использованием карт гидроизогипс и пьезоизогипс).

2.2.7. В естественных условиях геологическое строение и гидрогеологические условия угольных месторождений характеризуются чрезмерным разнообразием мощностей литологических разностей горных пород, чередованием водоносных, водонепроницаемых и слабопроницаемых отложений, существенным различием фильтрационных параметров, что требует для проведения расчетов схематизации.

На каждый расчетный период времени в зависимости от глубины разработки и размеров области фильтрации осредняются мощности пластов, фильтрационные параметры.

Приведение неоднородных по проницаемости толщ к однородным возможно при различии в значениях коэффициентов фильтрации отдельных слоев не более чем в 10 раз. При этом средневзвешенное значение коэффициента фильтрации рассчитывается по зависимости Г.Н.Каменского

$$K_{ср.} = \frac{K_1 m_1 + K_2 m_2 + \cdots + K_n m_n}{m_1 + m_2 + \cdots + m_n}, \qquad (2.3)$$

где $K_1, K_2, \cdots, K_n$ – коэффициенты фильтрации слоев;

$m_1, m_2, \cdots, m_n$ – мощности слоев.

При кусочно-постоянном изменении водопроницаемости среднее значение коэффициента фильтрации определяется по формуле / 89 /

$$K_{ср.} = \frac{L}{\frac{l_1}{K_1} + \frac{l_2}{K_2} + \cdots + \frac{l_n}{K_n}}, \qquad (2.4)$$

где $l_1, l_2, \cdots, l_n$ – длины отдельных участков, характеризующихся соответственно величинами коэффициентов фильтрации $K_1, K_2, \cdots, K_n$.

При постепенном изменении водопроницаемости среднее значение коэффициента фильтрации вычисляется по выражению / 88 /

$$K_{ср} = \frac{K_1 - K_2}{\ln \frac{K_1}{K_2}} \quad . \qquad (2.5)$$

При плановой неоднородности водосодержащих пород усредненные значения водопроводимости и коэффициента пьезопроводности на отдельных участках следует определять по логарифмическому нормальному закону распределения по зависимости / 37/

$$\lg (Km)_{ср.} = \frac{\lg K_1 m_1 + \lg K_2 m_2 + \cdots + \lg K_n m_n}{n} , \qquad (2.6)$$

$$\lg a^*_{ср.} = \frac{\lg a_1^* + \lg a_2^* + \cdots + \lg a_n^*}{n} , \qquad (2.7)$$

где $K_1 m_1, K_2 m_2, \cdots, K_n m_n$ – водопроводимости на отдельных участках;

$a_1^*, a_2^*, \cdots, a_n^*$ – коэффициенты пьезопроводности на отдельных участках;

$n$ – количество участков.

Средний коэффициент упругой водоотдачи в этом случае рассчитывается по формуле

$$\mu^*_{ср.} = \frac{(Km)_{ср.}}{a^*_{ср.}} . \qquad (2.8)$$

2.2.8. По признаку гидравлического характера потока при схематизации природных условий выделяют:

- безнапорные воды со свободной поверхностью;
- напорные воды, изолированные от смежных водоносных горизонтов слабопроницаемыми или водоупорными слоями;
- напорно-безнапорные воды, которые характеризуются смешанным режимом питания на отдельных участках водоносного пласта.

Границами безнапорного водоносного горизонта в разрезе являются: свободная поверхность, на которой напор равен ординате относительно принятой плоскости сравнения, и подошва пласта.

При больших величинах понижения уровней подземных вод на свободной поверхности может быть задано граничное условие в виде дополнительного модуля питания (раздел II).

На подошве безнапорного пласта могут быть заданы следующие граничные условия: $q = 0$ (если внизу расположен водоупорный пласт) и граничное условие третьего рода (при наличии внизу слабопроницаемого слоя).

Граничные условия на границе напорного водоносного пласта (кровле и почве) могут быть различными: если любая граница представляет водоупор, то задается граничное условие второго рода $q = 0$; когда породы на границе представлены слабопроницаемыми слоями, то следует задавать условие третьего рода.

При расчетах для перехода от формул напорных вод к формулам безнапорных вод используют выражение

$$2mS_x = h_e^2 - h_x^2 , \qquad (2.9)$$

где $S_x$ и $h_x$ - соответственно понижение напора и глубина безнапорного пласта в точке с абсциссой $x$.

Формулы перехода для условий напорно-безнапорного пласта приведены в разделе II.

Весьма важным обстоятельством при выявлении гидравлического характера потока является выяснение возможности движения подземных вод через глинистые отложения в конкретных условиях (раздел I0).

2.2.9. Для составления расчетной схемы очень важно выяснение режима подземных вод в природной обстановке и прогноз его изменения при действии дренажных сооружений и устройств.

Различают неустановившийся режим подземных вод, для которого свойственно изменение во времени характеристик потока (напоров, скоростей и градиентов фильтрации, расходов), и установившийся режим, когда такие изменения не проявляются.

Хотя неустановившийся режим характерен в принципе для естественной обстановки, что обусловлено изменением гидродинамических условий на внешних и внутренних границах области фильтрации, при схематизации, как правило, принимается, что до начала освоения месторождения существовал установившийся режим.

Неустановившийся режим в резкой форме проявляется при строительстве и эксплуатации разреза из-за подвигания фронта горных работ, ввода в эксплуатацию новых участков разреза, углубки разреза, изменения характеристик стока поверхностных и подземных вод, условий питания и разгрузки водоносных горизонтов, действии дренажных систем. В безнапорных пластах он характеризуется осушением водосодержащих пород, в напорных - упругими деформациями пород и воды при снижении пьезометрического напора.

С течением времени под влиянием границ пластов неустановившийся режим фильтрации переходит обычно в установившийся, что определяется расчетами в каждом конкретном случае.

2.2.10. В расчетной схеме необходимо предусмотреть и наличие дренажных сооружений и устройств: их расположение в плане и вертикальном разрезе, количество, тип, степень совершенства, граничные условия на них.

На открытых горных выработках, дренажных траншеях, контурах подземных дренажных устройств (штреках, сквозных и забивных фильтрах, восстающих, наклонных и горизонтальных скважин) задаются граничные условия первого рода.

Водопонижающие скважины могут работать при заданных граничных условиях как первого, так и второго рода.

При действии дренажных сооружений и устройств наиболее полно ощущается их влияние на естественный поток подземных вод, выражающееся в значительных изменениях его характеристик.

2.2.11. Упрощение расчетной схемы по сравнению с природной можно осуществить также путем уменьшения порядка мерности потока подземных вод и применения метода фрагментов.

В нарушенных условиях поток подземных вод имеет преимущественно пространственный и плановый характер. Уменьшение мерности потока связано с приведением несовершенных горизонтальных и вертикальных дрен к совершенным, а также замены слоистой толщи однородной.

Несовершенные дрены посредством метода фильтрационных сопротивлений могут быть заменены совершенными (разделы 3 и 9). Этот же метод лежит в основе замены рядов совершенных водопонижающих скважин эквивалентными совершенными траншеями

(раздел 4). Кроме того, водопонижающая скважина несовершенного типа может быть приведена к совершенной, используя расчетный радиус скважины (раздел II).

При условии горизонтального залегания слоистой толщи и различии в коэффициентах фильтрации отдельных слоев не более чем в 20 раз слоистая толща может быть приведена к однородной на основе применения функции Гиринского

$$G = \sum_{i=1}^{n} \kappa_i m_i (h - z_i), \qquad (2.10)$$

где $\kappa_i$ и $m_i$ – соответственно коэффициент фильтрации и мощность $i$-го слоя;

$h$ – ордината депрессионной поверхности;

$z_i$ – расстояние от середины слоя до водоупора.

Для вычисления расхода потока определяют значения функции Гиринского для начального $G_1$ и конечного $G_2$ сечений

$$q = \frac{G_1 - G_2}{\ell}, \qquad (2.11)$$

где $\ell$ – расстояние между сечениями.

Метод фрагментов обычно применяют для приведения планового потока к плоскому одномерному. Он основан на выделении из области фильтрации одного или нескольких фрагментов по осям симметрии или по линиям тока. Для условий установившегося режима такое приведение обычно осуществляется с использованием интегратора ЭГДА / 18, 98 /, при неустановившемся режиме - посредством метода недеформируемых линий тока / 5, 98 /.

2.3. Порядок определения водопритоков в разрезы

2.3.1. При прогнозировании водопритоков в открытые горные выработки и к дренажным сооружениям и устройствам необходимо дать оценку естественных и искусственных запасов и ресурсов в пределах выделенных областей фильтрации / 7, II, 32 /.

2.3.2. Под естественными (статическими) запасами подразумевают объем гравитационной воды в естественных условиях.

Составляющими естественных запасов являются: емкостные запасы - объем воды, извлекаемой при осушении безнапорного пласта, и упругие запасы, характеризующие объем воды, получаемой из напорного пласта за счет упругих свойств пород и воды при снижении напоров.

Емкостные запасы определяются по зависимостям:
для однородного пласта

$$V_з = \mu V \quad , \tag{2.I2}$$

для неоднородного пласта

$$V_з = \sum_{i=1}^{n} \mu_i V_i \quad , \tag{2.I3}$$

где $\mu_i$ и $V_i$ - соответственно коэффициент гравитационной водоотдачи и объем пласта в пределах $i$-го участка.

Общие естественные упругие запасы на площади распространения водоносного горизонта $F$ рассчитываются по выражению

$$V_у = \mu^* F H'_{ср} \tag{2.I4}$$

где $H'_{ср}$ - средневзвешенная величина напора над кровлей пласта.

При действии системы осушения упругие запасы можно охарактеризовать по коэффициенту упругоемкости

$$V_у = \beta^* S_{ср} \pi R^2 m_{ср} \quad , \tag{2.I5}$$

где $S_{ср}$ - средневзвешенная величина понижения напора в пределах воронки депрессии, определяемая по выражению

$$S_{ср} = \frac{0,434\, S_0}{\lg \frac{R}{r_0}} \left(1 - \frac{r_0}{R}\right) - S_0 \frac{r_0}{R} \quad ,$$

где $\pi R^2 m_{ср}$ - объем пласта;
$m_{ср}$ - средняя мощность пласта;

по коэффициенту упругой водоотдачи

$$V_у = \mu^* \pi R^2 S_{ср} \quad , \tag{2.I6}$$

где $\pi R^2 S_{ср}$ - объем воронки депрессии.

Такой же принцип подсчета упругих запасов сохраняется и при другой конфигурации депрессионной поверхности.

По аналогичным зависимостям подсчитываются и упругие запасы в слабопроницаемых отложениях большой мощности.

2.3.3. Естественные ресурсы (динамические запасы) - расход потока подземных вод в естественных условиях.

Они определяются по зависимостям:

при расчетной или замеренной величине расхода

$$Q_e = q_e \cdot B \quad , \qquad (2.17)$$

где $q_e$ - единичный расход потока;
$B$ - ширина потока;

при наличии сведений о площадном питании

$$Q_e = \mathcal{E} F \quad , \qquad (2.18)$$

где $\mathcal{E}$ - суммарная величина питания;
$F$ - площадь области питания;

по модулю подземного стока

$$Q_e = 86{,}4 \cdot M_n \cdot F \quad , \qquad (2.19)$$

где $M_n$ - модуль подземного стока, л/сек.км$^2$;
$F$ - площадь подземного водосбора, км$^2$.

2.3.4. Искусственные запасы соответствуют объему подземных вод, которые образуются в пределах области фильтрации под влиянием искусственных факторов; при орошении сельскохозяйственных угодий; при искусственном обводнении пласта (в частности, при использовании гидрозавес).

Искусственные запасы могут быть подсчитаны по зависимостям, приведенным в п.2.3.2.

2.3.5. Под искусственными ресурсами понимают расход воды, поступающий за счет потерь на фильтрацию на площадях орошения, из гидроотвалов, прудов-отстойников, созданных в процессе освоения месторождений водохранилищ и отводных каналов.

2.3.6. Привлекаемые ресурсы представляют дополнительное питание подземных вод, которое формируется за счет увеличения питания атмосферными осадками при изменении глубины за-

легания подземных вод в условиях осушения месторождения, усиления или возникновения фильтрации из водотоков и водоемов, а также процессов перетекания.

2.3.7. После составления расчетной схемы и оценки естественных и искусственных запасов и ресурсов определение водопритоков в разрез может быть осуществлено следующими методами: балансовым, аналитическим, эмпирическим, математического моделирования с использованием аналоговых и электронно-вычислительных машин.

2.3.8. При балансовом методе общий приток подземных вод к разрезу определяется по выражению

$$Q_{общ} = Q_e + Q_з + Q_у + Q_и + Q_{пр} \quad , \qquad (2.20)$$

где $Q_e, Q_з, Q_у, Q_и, Q_{пр}$ - водопритоки соответственно за счет естественных ресурсов, емкостных запасов, упругих запасов, искусственных ресурсов и привлекаемых ресурсов.

Водопритоки за счет естественных ресурсов определяются по зависимостям, приведенным в п.2.3.3.

Водопритоки за счет емкостных и упругих запасов можно получить по формулам п.2.3.2. путем деления соответствующих объемов воды на расчетное время осушения.

Расчет искусственных и привлекаемых ресурсов может быть проведен при использовании зависимостей, приведенных в п.2.3.3. и разделах 9 и II.

2.3.9. Аналитический метод дает возможность определять притоки воды к горным выработкам и отдельно к дренажным устройствам в условиях установившейся и неустановившейся фильтрации, учитывает баланс подземных вод и его изменение при осушении месторождения.

2.3.I0. Эмпирический метод позволяет рассчитывать притоки воды к открытым горным выработкам и дренажным сооружениям и устройствам на основании данных опытно-фильтрационных работ или результатов цикла задач на аналоговых и электронно-цифровых вычислительных машинах.

2.3.II. Метод математического моделирования основан на решении систем дифференциальных уравнений с применением сплошных и дискретных моделей. Он позволяет заменить процесс фильтрации подземных вод в пористой и трещиноватой среде другим, чаще всего с использованием электрогидродинамических аналогий, совершенно иным по физической сущности процессом, который однако описывается одними и теми же математическими уравнениями. Метод математического моделирования может быть успешно применен для прогнозирования притоков подземных вод в разрезы при соблюдении принципов подобия процессов на модели и в природной обстановке. Описание метода и примеры решения фильтрационных задач приведены в специальной литературе / 6, 33, 34, 78, I06 /.

Преимущества метода математического моделирования:

- решение пространственных задач в условиях неустановившегося движения;
- прогноз может быть сделан при учете явлений и процессов в зоне аэрации и зоне гравитации;
- прогнозирование можно осуществлять с учетом развития фронта горных работ в плане и на глубину как для отдельных блоков и участков, так и для разреза в целом;
- учет различных граничных условий;
- учет последовательного ввода в работу отдельных участков дренажной системы и различных дренажных сооружений и устройств;
- учет любой конфигурации пластов в плане и вертикальном разрезе;
- наиболее полный учет изменений в гидрогеологической обстановке в пространстве и времени, происходящих под влиянием производства горных работ и осушения месторождения.

Указанные преимущества метода математического моделирования на аналоговых вычислительных машинах перед другими расчетными методами свидетельствуют о существенном повышении при этом достоверности прогнозов.

2.3.I2. В последние годы все большее применение находит метод решения фильтрационных задач на электронно-цифровых вычислительных машинах, главным преимуществом которого является быстрота получения результатов. В настоящее время ус-

пешно работают машины по вычислительным программам для прогнозирования процессов осушения разрезов в условиях установившейся и неустановившейся фильтрации в безнапорном, напорно-безнапорном и напорном пластах, двухмерных в плане и вертикальном разрезе, при горизонтальном положении водоупорного ложа.

Для ответственных объектов и сложных гидрогеологических условий прогнозирование водопритоков в разрезы и положений депрессионной поверхности при помощи аналоговых и электронно-цифровых вычислительных машин должно быть основным методом.

2.3.13. При прогнозировании водопритоков в разрез достоверные данные могут быть получены только при конкретном проектировании, когда известны:

- место вскрытия поля разреза;
- производственная мощность разреза;
- основные потребители угля;
- система вскрытия и применяемое горное оборудование;
- размеры участка вскрытия;
- глубины залегания обводненных отложений, слабопроницаемых слоев и угольных пластов;
- сроки строительства разрезной траншеи по вскрыше и по углю;
- система разработки месторождения;
- величина подвигания фронта горных работ по годам;
- годовая величина углубки разреза;
- календарный график строительства и эксплуатации разреза.

2.3.14. Представляется целесообразным водопритоки в разрез при проектировании определять: для участка вскрытия, ко всей разрезной траншее в момент вскрытия и к концу периода строительства, на первые два - три года эксплуатации, на период освоения разрезом производственной мощности, на десятый год эксплуатации.

2.3.15. Во всех случаях для вновь проектируемого разреза при условии залегания во вскрышной толще песчаных водоносных отложений (месторождения I класса и подклассов Пд и Пк) вначале определяется приток воды в разрезную траншею (совершенного или несовершенного типа) без применения соо-

ружений и устройств предварительного осушения (раздел 3). Полученные значения водопритоков необходимо сравнить с величинами "критических" притоков, при которых фильтрационные деформации уступов являются допустимыми для принятого горного оборудования и схемы сооружения разрезной траншеи /4,77,98/.

2.3.16. Критерием фильтрационных деформаций уступов при высачивании в их откосах подземных вод является величина языка оплывания, определяемая по методике В.М.Шестакова /18,77/.

Длина языка оплывания рассчитывается по выражению

$$e_{опл} = \frac{h_в}{J_c} , \qquad (2.21)$$

где $h_в$ - величина участка высачивания;

$J_c$ - средний уклон зоны оплывания, определяется по формуле

$$J_c = \chi \frac{tg\,\varphi}{2} , \qquad (2.22)$$

где $\varphi$ - угол внутреннего трения;

$\chi$ - параметр, учитывающий влияние стекающего по откосу потока, который рассчитывается в зависимости от величины $\lambda$ .

При величине удельного расхода потока, вытекающего на откос,

$q_o \leq 7{,}0$ м$^2$/сут.

$$\lambda = \frac{\sqrt[3]{q_o}}{d_{50}} , \qquad (2.23)$$

где $d_{50}$ - диаметр частиц, см.

$\chi$ определяется по табл.2.1.

Таблица 2.I

| $\lambda$ | 0 | 20 | 50 | I00 | I50 | 200 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\chi$ | I | 0,75 | 0,49 | 0,3 | 0,2I | 0,I6 |

При $q_0 > 7$ м$^2$/сут.

$$\lambda = \sqrt{\frac{q_0}{3 \cdot d_{50} + 0{,}05}}, \qquad (2.24)$$

$\chi$ вычисляется по табл.2.2

Таблица 2.2

| $\lambda$ | 0 | 2 | 5 | I0 | I5 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\chi$ | I | 0,9I | 0,66 | 0,3I | 0,I6 |

Величина участка высачивания определяется по зависимостям (3.I2) или (3.I3) при значении условного заложения откоса

$$m = \frac{5}{tg\varphi + 3\gamma_c}. \qquad (2.25)$$

Если подошва водоносного пласта совпадает с рабочей площадкой уступа, то допустимая длина языков оплывания составляет: для экскаваторов типа мехлопат – 5 ÷ 8 м; для драглайнов обычно не более I2–I5 м; для роторных экскаваторов – расстоянию от основания уступа до ходовой части; для многочерпаковых экскаваторов верхнего черпания – расстоянию от путей до основания уступа; для многочерпаковых экскаваторов нижнего черпания – длине планирующего звена черпаковой рамы. Методом подбора можно, зная величину языка оплывания, найти значение "критического" притока /4, 77/. Для этого целесообразно построить график зависимости языка оплывания от притока воды к уступу.

В случаях, когда подошва водоносного пласта "подрезана", в условиях работы драглайнов и роторных экскаваторов величины "критических" притоков определяются аналогичным образом, но с учетом коэффициента запаса, равного I,6 ÷ 2. Для этих же условий, но при работе многочерпаковых экскаваторов и экскаваторов типа мехлопат, можно ориентироваться на следующие величины "критических" притоков / 77 /:

для пылеватых песков - - 0,2 $м^2$/сут;
для чистых тонкозернистых песков - 0,5 $м^2$/сут;
для мелкозернистых песков - I,2 $м^2$/сут;
для среднезернистых песков - 2,5 $м^2$/сут;
для крупнозернистых песков - 5 $м^2$/сут.

Если рассчитанные притоки воды будут меньше "критических", следует сооружать разрезную траншею без предварительного осушения, с использованием средств открытого водоотлива.

В противном случае необходимо либо предусмотреть другое горное оборудование для сооружения разрезной траншеи, либо пересмотреть технологию проходки траншеи, либо продолжать расчет по оценке защиты открытой горной выработки от притоков подземных вод с привлечением средств предварительного осушения (подземный способ, водопонижающие скважины, комбинированный способ, противофильтрационные завесы).

2.3.I7. На стадии предварительного осушения поля разреза применение подземного способа осушения считается приемлемым, если он будет использован и для периода эксплуатации разреза.

При расчете подземной дренажной системы, сооружаемой обычно в течение нескольких лет, не следует допускать условие о мгновенно пройденной системе дренажных штреков, так как ошибки прогнозирования уровенного режима и притоков к выработкам и дренажным устройствам слишком велики. В таком случае целесообразно прогноз осуществлять с использованием аналоговых вычислительных машин, позволяющих воспроизводить на модели эффективность дренажа при постепенном вводе в работу отдельных дренажных штреков.

2.3.I8. Для месторождений I класса расчет водопритоков в разрезную траншею продолжают обычно с использованием водопонижающих скважин, располагаемых, как правило, в виде линейных рядов со стороны нерабочего и рабочего бортов. Размещение

скважин осуществляется: со стороны нерабочего борта - за пределами призмы возможного оползания и с учетом расположения строительных отвалов в непосредственной близости от верхней бровки вскрышного уступа; со стороны рабочего борта - за пределами призмы возможного оползания и с учетом работы скважин до пяти лет как в период строительства разрезной траншеи, так и в первые годы эксплуатации.

Расчетные зависимости по прогнозированию режима подземных вод и дебитов скважин приведены в разделах 4, 5, 6 и II.

2.3.I9. При расчете водопонижающих скважин, используемых для осушения угольных месторождений с открытым способом разработки, необходимо учитывать специфику задач осушения в отличие от расчета скважин, используемых для водоснабжения.

Расчет скважин для целей водоснабжения основан на следующих предпосылках / II /:

$$S_{расч} \leq S_{доп} \quad , \tag{2.26}$$

где $S_{рас}$ - расчетное понижение уровня в скважине;

$S_{доп}$ - допустимое понижение уровня в скважине, которое рекомендуется определять для безнапорных вод по зависимости

$$S_{доп} \approx (0.5 \div 0.7) h_e - \Delta h_{нас} - \Delta h_{ф} \; , \tag{2.27}$$

$\Delta h_{нас}$ - максимальная глубина погружения низа насоса или его водоприемной части под динамический уровень в скважине;

$\Delta h_{ф}$ - потери напора при входе воды в скважину, включая и "скачок".

Выражение (2.26) показывает, что только при выполнении данного условия будет гарантирован проектируемый дебит водозабора.

Эффективность работы водопонижающих скважин при осушении разрезов должна оцениваться максимальным понижением уровней подземных вод. В таком случае допустимое понижение уровня в скважине для безнапорного пласта должно оцениваться по выражению

$$S_{доп} \approx h_e - \Delta h_{нас} - \Delta h_{ф} . \qquad (2.28)$$

Соотношение (2.28) показывает, что максимальное допустимое понижение уровня может иметь место; если низ насоса или его водоприемную часть опустить в отстойник ниже подошвы водоносного пласта (уменьшение $\Delta h_{нас}$) и принять меры по хорошему оборудованию скважин (уменьшение $\Delta h_{ф}$).

2.3.20. Расчет продолжается до тех пор, пока при принятом предварительном способе осушения района разрезной траншеи проявление фильтрационных деформаций не будет сказываться на ведении горных работ.

2.3.21. Предотвращение фильтрационных деформаций при завершении строительства разрезной траншеи со стороны нерабочего борта может быть также обеспечено при применении наклонного дренажа или горизонтальных дренажных скважин.

2.3.22. Месторождения с пологим залеганием коренных пород и угольных пластов (Па, Пв, Пг, Пд, Пи, Пк) характеризуются наличием рыхлых песчаных и гравийно-галечниковых отложений горизонтального залегания, к которым полностью относится порядок определения водопритоков, рассмотренный выше для месторождений I класса. Эти же выводы справедливы для месторождений подклассов Шг и Шж,

2.3.23. Для коренных пород и угольных пластов месторождений II и III классов требования и устойчивости бортов разрезной траншеи не являются определяющими в выборе способа осушения. Главными критериями здесь являются: обеспечение нормальных условий работы горного оборудования, предотвращение прорывов подземных вод, решение вопросов смерзаемости и намерзания угля. Во многих случаях строительство разрезных траншей на рассматриваемых месторождениях производится при открытом водоотливе.

2.3.24. Падение пород и углей в сторону развития фронта горных работ при моноклинальном и мульдообразном залегании коренных пород и угольных пластов (месторождения II и III классов) способствуют эффективному применению водопонижающих скважин. Обычно расчет водопритоков при проходке разрезной траншеи проводится для линейного ряда водопонижающих скважин, располагаемого со стороны рабочего борта за пределами

призмы возможного оползания и с учетом работы скважин в течение нескольких лет эксплуатации разреза. Удачное расположение водопонижающих скважин и своевременный ввод их в действие обеспечивают сооружение разрезной траншеи в практически осушенных отложениях.

Для расчета в данном случае наиболее целесообразно применение аналоговых или электронно-цифровых вычислительных машин.

В этих же условиях создаются предпосылки и для эффективной работы подземной дренажной системы, совмещающей функции осушительного действия и приема вод внутрикарьерного водоотлива.

2.3.25. При наличии в подошве разрезной траншеи под слабопроницаемым слоем напорного водоносного горизонта обязательно проводится расчет по предотвращению прорыва подземных вод по формуле / 98 /

$$H < \frac{\gamma}{\gamma_в} m_0 \cos\beta + \frac{\tau_{ср} m_0 P}{\gamma_в \cdot F}, \qquad (2.29)$$

где $H$ - напор;

$\gamma$ - объемная масса пород;

$\beta$ - угол падения слабопроницаемого слоя;

$P$ - периметр вскрытого участка;

$F$ - площадь участка вскрытия;

$\tau_{ср}$ - среднее сопротивление слоя сдвигу, определяемое по зависимости

$$\tau_{ср} = \frac{1}{2}(\gamma_в m_0 - \gamma_в \cdot H) \operatorname{tg}\varphi + c. \qquad (2.30)$$

Если расчетная величина напора будет допускать возможность прорыва подземных вод в разрезную траншею, то в зависимости от схемы осушения поля разреза и применяемой технологии разработки уменьшение напора до безопасной величины может быть обеспечено при применении подземной системы осушения, водопонижающих и разгрузочных скважин, сооружаемых в выработанном пространстве.

2.3.26. Расчеты водопритоков в разрез в период эксплуатации характеризуются определением притоков воды со стороны нерабочего борта, рабочего борта и внутренних отвалов.

2.3.27. Для месторождений I и II классов при эксплуатации расчеты водопритоков со стороны нерабочего борта, если внутренние отвалы являются неприслоненными, осуществляются в большинстве случаев для условий применения открытого водоотлива, несмотря на то, что в строительный период осушение нерабочего борта могло быть и водопонижающими скважинами. Расчетные зависимости приведены в разделе 3.

2.3.28. Осушение рабочего борта обусловлено прежде всего требованием обеспечения устойчивости каждого уступа, борта в целом и внутренних отвалов. Требуемая степень снижения напоров или уровней подземных вод со стороны борта определяется по худшему варианту.

Руководствуясь конкретными требованиями к осушению борта, выбирают способ осушения и производят его расчетное обоснование для месторождений всех трех классов.

Этим же следует пользоваться при расчете водопритоков со стороны рабочего борта в период реконструкции разреза или при корректировке схемы осушения разреза.

Вовсе не обязательно, чтобы при эксплуатации применялся тот же способ осушения, который имел место при строительстве разрезной траншеи.

В зависимости от выбранного способа осушения следует применять расчетные формулы, приведенные в последующих разделах. Неоценимую помощь при прогнозировании водопритоков в разрез при сложной гидрогеологической обстановке может оказать метод расчета с использованием аналоговой и электронной вычислительной техники.

2.3.29. При пологом, наклонном и крутом залегании коренных пород и угольных пластов обязательно проводят расчет устойчивости с целью определения необходимости снятия напоров в лежачем боку месторождения / 77 /. Если расчет устойчивости подтвердит целесообразность понижения напоров подземных вод, производят расчет, обуславливающий требуемое снятие напоров.

2.3.30. Важным требованием для расчетного обоснования и выбора способа осушения разреза является максимальное снижение уровней подземных вод с целью предотвращения смерзаемости угля при транспортировании в железнодорожных вагонах и

намерзания его на конвейерную ленту и ковши экскаваторов. Особенно это важно для бурых углей и требует проведения специальных исследований по определению безопасной и предельной влажности углей. Расчетные зависимости приводятся в следующих разделах: подземная дренажная система - раздел 8, водопонижающие скважины - разделы 4, 5, 6 и II, горизонтальные дренажные скважины - раздел 7.

2.3.3I. При выборе дебитов водопонижающих скважин и количества скважин следует осуществлять оптимизацию проектных параметров систем осушения в условиях неопределенности / 66/.

2.3.32. Для понижения уровня подземных вод от действия водопонижающих скважин следует в зависимости от организационно-технических соображений принимать минимально возможный срок работы высокопроизводительной системы водопонижающих скважин, хотя такой же эффект осушения может быть достигнут и менее производительной системой скважин, работающей более длительное время / 66 /.

2.3.33. В случае, когда уголь используется для брикетирования (месторождения подклассов Iа и Iв), снижение влажности угля может быть обеспечено горизонтальными скважинами, проходимыми на близком расстоянии друг от друга в откосах бортов добычных уступов.

2.3.34. При разработке угольных месторождений открытым способом с внутренним отвалообразованием нормальные условия работы горного и транспортного оборудования могут быть обеспечены лишь при устойчивых отвалах / 42, 77 /.

Увлажнение основания отвалов и отвальных масс является в большинстве случаев основной причиной их деформаций и может осуществляться атмосферными осадками, поверхностными, техническими и подземными водами / 77 /.

При работе с внутренним отвалообразованием расчет по предотвращению прорыва напорных подземных вод в выработанное пространство осуществляется по формуле (2.29). При этом зависимость (2.30) будет выглядеть следующим образом:

$$\tau_{ср} = \frac{1}{2}(\gamma_{\omega} M_0 + \gamma_{отв} \cdot h_{отв} \cdot \gamma_{г} 4)\, \nu\, tg\varphi + C, \qquad (2.3I)$$

где $\gamma_{отв}$ и $h_{отв}$ - соответственно объемная масса отвальных пород и высота отвала.

2.3.35. Расчет дренажа отвалов и их оснований проводится по формулам, приведенным в последующих разделах, для конкретных гидрогеологических условий, системы разработки и применяемых средств осушения.

2.3.36. В настоящее время прогнозирование водопритоков в разрезы должно быть тесно увязано с вопросами охраны и рационального использования водных ресурсов.

В этом плане требуется рассматривать проблему охраны и рационального использования водных ресурсов с трех позиций:

- истощение подземных вод;
- загрязнение подземных и поверхностных вод;
- использование откачиваемых из разрезов вод для хозяйственно-питьевого, технического и сельскохозяйственного водоснабжения.

2.3.37. При открытой разработке угольных месторождений происходит полное истощение подземных вод в границах поля разреза и частичное-в пределах радиуса влияния.

Если в пределах зоны влияния разреза находятся водозаборы, требуется сделать оценку влияния на них отбора подземных вод горными и дренажными выработками, специальными дренажными сооружениями и устройствами.

Прогноз режима подземных вод при этом в естественных и нарушенных условиях с учетом действия водозаборов наиболее целесообразно осуществлять с использованием аналоговых и электронно-цифровых вычислительных машин.

Для наиболее ответственных объектов следует применять постоянно действующие модели, целевым назначением которых является установление режима фильтрации на поле разреза и окружающей территории на интересующие моменты времени с учетом возникновения новых граничных условий и измененных фильтрационных параметров водоносных пластов.

При прогнозировании режима подземных вод с учетом действия большого числа водозаборных и водопонижающих скважин следует основываться на принципе обобщенных систем / II, 50 /.

Радиус обобщенной системы ("большого колодца") $R_o$ для условия расположения скважин по площади, которое наиболее характерно для рассматриваемого случая, определяется по зависимости / 50 /

$$R_o = 0{,}1\,P\ , \qquad (2.32)$$

где $P$ - периметр площади расположения скважин.

Очевидно, что на водозаборных скважинах должно выдерживаться условие (2,27), а на водопонижающих скважинах - (2,28).

Общая величина понижения уровня подземных вод определяется по зависимости / 50 /

$$S = S_{вн} + S_{ск}\ , \qquad (2.33)$$

где $S_{вн}$ - понижение уровня от действия системы скважин, которое зависит от граничных условий водоносного горизонта;

$S_{ск}$ - дополнительное понижение уровня воды в скважине, обусловленное расположением скважин внутри системы, несовершенством скважин и величиной расхода каждой скважины.

Так например, для неограниченного однослойного водоносного горизонта расчетная формула имеет вид

$$S_{вн} = \frac{Q_{сум}}{2\pi KTm}\ln\frac{R_{пр}}{R_o}\ , \qquad (2.34)$$

где $Q_{сум}$ - суммарный дебит скважин;

$R_{пр}$ - приведенный радиус влияния, рассчитываемый по формуле

$$R_{пр} = 1{,}5\sqrt{a^*t}\ . \qquad (2.35)$$

Расчеты $S_{вн}$ по формуле (2.34) проводят для случаев, когда $\frac{a^*t}{R_o^2} \geqslant 4$ / 50 /.

Дополнительное понижение уровня воды в скважине $S_{ск}$ определяется по зависимости

$$S_{ск} = \frac{Q}{2\pi KTm}\left[\ln\frac{r_n}{r_o} + S_o\right]\ , \qquad (2.36)$$

где $Q$ - дебит скважины;

$r_п = 0{,}47\sqrt{\frac{F_o}{\pi}}$ - приведенный радиус условной области влияния данной скважины;

$F_o$ - площадь области, которая ограничена линиями, проходящими посредине между соседними скважинами.

Если в результате расчетов окажется, что влияние открытых разработок углей со временем будет способствовать снижению производительности водозаборов (осушению колодцев), то следует принимать меры по предотвращению снижения эффективности водозаборов (например, посредством сооружения противофильтрационных завес), либо заранее предусматривать затраты в проекте осушения на водоснабжение населенных пунктов от других источников.

2.3.38. Эксплуатация угольных месторождений открытым способом сопровождается загрязнением (обычно химическим и механическим) подземных и поверхностных вод.

Следует различать по крайней мере три аспекта загрязнения:

- загрязнение подземных вод от какого-либо источника загрязнения (гидроотвалы, пруды-отстойники, шламохранилища и др.);

- сброс дренируемых вод в водотоки и водоемы без очистки;

- несмотря на наличие очистных сооружений, сброс вод в водотоки и водоемы осуществляется таким образом, что они по отдельным компонентам или количеству взвешенных веществ превышают действующие нормы и правила.

Прогноз загрязнения подземных вод под влиянием источника загрязнения осуществляется аналитическими методами или методом математического моделирования при совместном учете фильтрационных процессов и процессов массопереноса / 57 /. Для этой цели необходимо иметь данные и о миграционных параметрах водоносных комплексов / 25, 57 /.

Охрана водных ресурсов, кроме социального значения, требует пристального внимания и экономических расчетов.

Необходимо подсчитать, что экономически выгодно: затрачивать большие деньги на строительство очистных сооружений при известной производительности внутрикарьерного водоотли-

ва или часть воды, идущей к водоотливу, перехватить специально сооружаемыми водопонижающими скважинами, которые обеспечивают использование чистых подземных вод, и уменьшить затраты на очистку вод.

2.3.39. При проектировании, строительстве и эксплуатации разрезов необходимо принимать меры к увеличению доли откачиваемых вод для использования для нужд народного хозяйства. С этой точки зрения преимущественное значение при прогнозировании режима подземных вод и определения водопритоков имеют водопонижающие скважины.

Необходимо создавать специальные водозаборы для использования подземных вод, распространенных в пределах поля разреза, так как они заранее обречены на истощение и загрязнение.

## 3. РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДРЕН

В условиях осушения разрезов горизонтальные дрены представлены разрезными траншеями, дренажными траншеями, дренажными канавами.

### 3.I. Установившаяся фильтрация

3.I.I. Приток воды к совершенной горизонтальной дрене, которая расположена между двумя контурами питания нормально потокам воды из них (рис.3.I), определяется по формуле /88/

$$Q = B(q_1 + q_2) = \frac{kB}{2}\left(\frac{h_1^2 - h_0^2}{l_1} - \frac{h_2^2 - h_0^2}{l_2}\right), \qquad (3.1)$$

где основные обозначения ясны из рис.3.I.

Ординаты депрессионной кривой рассчитываются по зависимостям /88/:

влево от дрены $$h_x = \sqrt{h_0^2 + (h_1^2 - h_0^2)\frac{x}{l_1}}, \qquad (3.2)$$

вправо от дрены $$h_x = \sqrt{h_0^2 + (h_2^2 - h_0^2)\frac{x}{l_2}}, \qquad (3.3)$$

где $x$ - расстояние от дрены влево или вправо до сечения, в котором определяется $h_x$.

3.I.2. Приток воды к несовершенной горизонтальной дрене, которая расположена в потоке между двумя контурами питания (рис.3.2), рассчитывается по формуле А.В.Романова /89/

$$Q = kB\left[\frac{h_1^2 - h_0^2}{2l_1} + \frac{h_2^2 - h_0^2}{2l_2} + \frac{\pi(H - h_0 - T)}{l_n\frac{T}{\pi r} + \frac{\pi l_1 l_2}{TB}}\right], \qquad (3.4)$$

где $$h_1 = H_1 - T;\ h_2 = H_2 - T;\ H = \sqrt{\frac{e_1}{B}(H_2^2 - H_1^2) - H_1^2}; \qquad (3.5)$$

$r$ - радиус дрены рекомендуется принимать равным 0,6 ширины дрены, остальные обозначения представлены на рис.3.2.

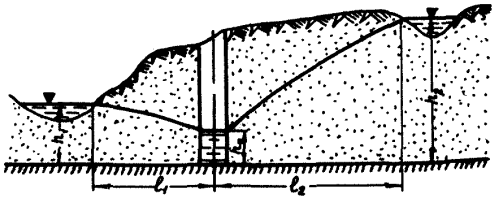


Рис.3.I. Схема притока воды к совершенной горизонтальной дрене

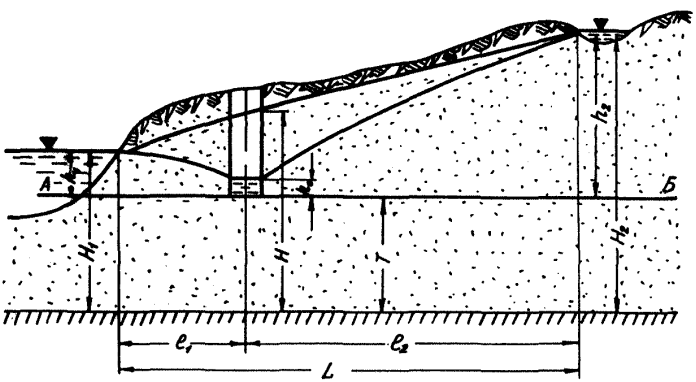


Рис.3.2. Схема притока к несовершенной горизонтальной дрене

3.I.3. Приток воды к горизонтальной совершенной дрене, которая пройдена в пределах нескольких водоносных слоев различной водопроницаемости при уровне воды на контуре стока, равном нулю (рис.3.3), рассчитывается по формуле / 89 /

$$Q=\frac{B}{L}\left[K_1m_1(H-\tilde{z}_1)+K_2m_2(H-\tilde{z}_2)+\cdots+K_nm_n(H-\tilde{z}_n)\right], \quad (3.6)$$

Построение депрессионной кривой для этого случая осуществляется с использованием вспомогательного графика $\varphi=f(h)$, где $\varphi$ - потенциал Гиринского, $h$ - глубина подземного потока в пределах области фильтрации, отсчитываемая от водоупора.

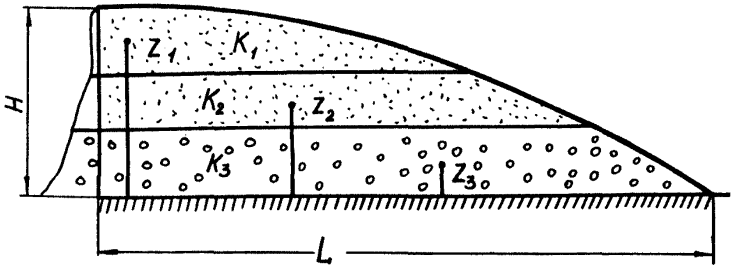


Рис.3.3. Схема притока воды к горизонтальной совершенной дрене в неоднородных пластах

3.I.4. Приток воды к разрезу при наклонном залегании водоупора (рис.3.4) определяется по формуле Г.Н.Каменского

$$Q=\kappa B\frac{h+h_0}{2}\cdot\frac{H_1-H_2}{l}, \quad (3.7)$$

3.I.5. Приток воды к совершенной дрене при наличии инфильтрационного питания производится по формуле Ротэ / 84 /

$$Q=2L\varepsilon B, \quad (3.8)$$

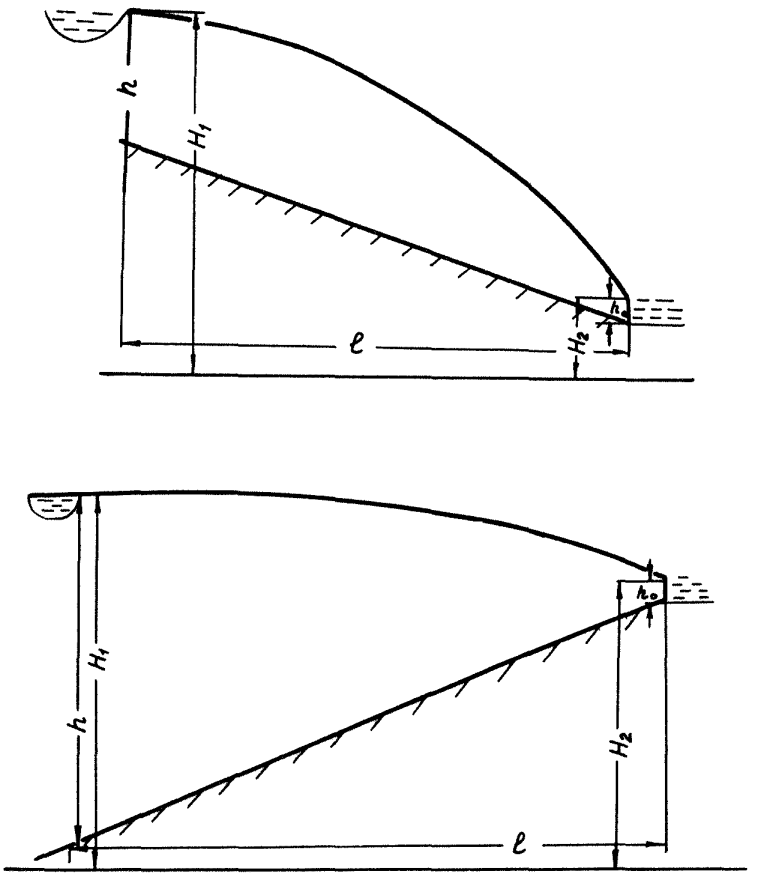


Рис.3.4. Схема притока воды к разрезу при наклонном залегании водоупора

а - прямое падение водоупора,
б - обратное падение водоупора

где $2L$ - расстояние между дренами, определяемое по формуле

$$2L = 2\sqrt{\frac{K}{\varepsilon}(H_{мин}^2 - h_o^2)}, \qquad (3.9)$$

$H_{мин}$ - минимальный остаточный уровень подземных вод посредине расстояния между дренами.

Ординаты кривой депрессии при одинаковом столбе воды в смежных дренах определяются по уравнению

$$h_x = \sqrt{h_o^2 + \frac{\varepsilon}{K}(2L - x)x}, \qquad (3.10)$$

где $h_x$ - мощность водоносного горизонта в сечении, определяемом абсциссой $x$ .

Минимальное снижение уровня подземных вод происходит посредине между дренами и равно

$$S_{мин} = h_e - \sqrt{h_o^2 + \frac{\varepsilon L^2}{K}} = h_e - H_{мин}. \qquad (3.11)$$

Эта методика применяется для расчета дренажа оснований внутренних отвалов. Следует, изменяя расстояние между дренами, подбирать такое значение $S$ мин, при котором исключается подмачивание основания отвалов.

3.1.6. Для построения депрессионной кривой вблизи горизонтальной дрены следует учитывать участок высачивания.

Величина участка высачивания определяется по зависимости / 78 /

$$h_в = \frac{q_o}{K}(m + 0{,}5), \qquad (3.12)$$

где $q_o$ - удельный расход потока, вытекающего на откос;

$m$ - заложение откоса ( $m > 1$).

Если $0 < m < 1$, то применяется формула

$$h_в = 0{,}75 \cdot \frac{q_o}{K}(m + 1). \qquad (3.13)$$

3.2. Неустановившаяся фильтрация

3.2.I. Приток воды к разрезу в условиях неограниченного пласта определяется по формуле "большого колодца"

$$Q = \frac{\pi k (h_1^2 - h_2^2)}{\ln \frac{\sqrt{\pi a t} + r_к}{r_к}} , \qquad (3.I4)$$

где $h_1, h_2$ – мощности потока соответственно на контурах питания и дренажа;

$r_к$ – приведенный радиус, определяемый / 84 /:

– при прямоугольной форме разреза в плане по формуле

$$r_к = \eta \frac{B + b}{4} , \qquad (3.I5)$$

$B$ – длина разреза;

$b$ – ширина разреза;

$\eta$ – коэффициент, значения которого находят по табл.3.I.

Таблица 3.I

| $\frac{b}{B}$ | 0,05 | 0,I | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\eta$ | I,05 | I,08 | I,I2 | I,I44 | I,I6 | I,I74 | I,I8 |

– при неправильной форме разреза в плане и отношении $\frac{B}{b} < 2 \div 3$ по зависимости

$$r_к = \sqrt{\frac{F}{\pi}} , \qquad (3.I6)$$

где $F$ – площадь разреза;

– при соотношении $\frac{B}{b} > 2 \div 3$ по выражению

$$r_к = \frac{P}{2\pi} , \qquad (3.I7)$$

где $P$ – периметр разреза.

3.2.2. Удельный приток воды с одной стороны в совершенную горизонтальную дрену определяется по формуле

$$q = \frac{H_0^2 - h_c^2}{H_0} \sqrt{\frac{k\mu (H_0 - h_c)}{t_1} D_1}, \qquad 3.18)$$

где $H_0$ - начальная мощность водоносного горизонта;

$t_1$ - время распространения депрессионной поверхности в условиях бассейна подземных вод;

$D_1$ - безразмерный коэффициент, определяемый по графику на рис.3.5.

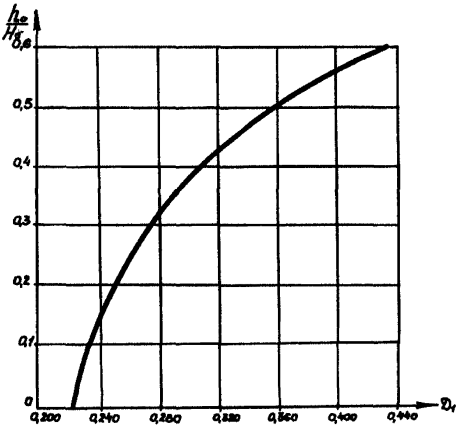


Рис.3.5. График для определения коэффициента $D_1$

При уровне воды в дрене, равном нулю, формула (3.18) имеет вид

$$q = \sqrt{0{,}223 \frac{\mu k}{t_1} H_0^3}. \qquad (3.19)$$

3.2.3. Единичный приток с одной стороны в совершенную горизонтальную дрену при истощении водоносного горизонта при действии системы параллельных дрен, вводимых в работу одновременно, определяется по зависимости Ю.Д.Соколова / 85 /

$$q = \frac{K(H^2 - h_0^2)}{l}, \qquad (3.20)$$

где $l$ - расстояние между дренами.

При уровне воды в дрене, равном нулю, формула (3.20) будет выглядеть таким образом:

$$q = \frac{KH^2}{l}. \qquad (3.21)$$

Время снижения уровня водоносного горизонта до величины H в сечении, находящемся посредине между дренами, подсчитывается по зависимости

$$t = (D_1 + D_2)\frac{\mu l^2}{K H_0}, \qquad (3.22)$$

где $D_2$ - безразмерный коэффициент, определяемый по графику на рис.3.6.

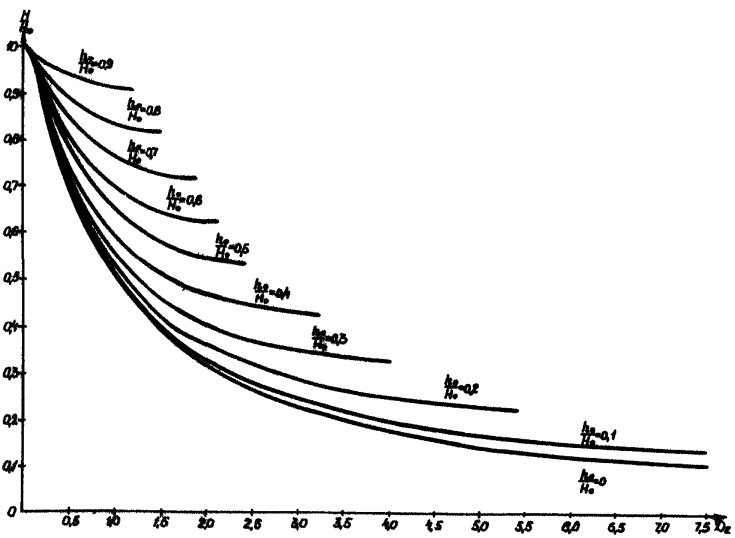


Рис.3.6. График для определения коэффициента $D_2$

3.2.4. Удельный приток в несовершенную горизонтальную дрену при истощении водоносного горизонта вычисляется по формуле

$$q = \frac{\kappa (H^2 - h_c^2)}{\ell + \Delta\ell}, \qquad (3.23)$$

где $\Delta\ell$ - величина фиктивного увеличения расстояния между дренами, определяемая по выражению / 78 /

$$\Delta\ell = 2.92\, h_н \lg \frac{h_н}{\pi r_{оф}} \qquad (3.24)$$

$h_н$ - расстояние от водоупора до уровня воды в дрене;

$r_{оф}$ - приведенный радиус дрены, определяемый по зависимости (3.I5) при замене $B$ на 2c, (c - столб воды в несовершенной дрене).

3.2.5. Удельный приток воды с одной стороны в совершенную горизонтальную дрену в условиях полуограниченного потока определяется по выражению / 78 /

$$q = \frac{\kappa (h_0^2 - h_0'^2)}{2\sqrt{\pi a t}} + q_0, \qquad (3.25)$$

где $h_0$ - глубина потока на границе дрены в естественных условиях;

$h_0'$ - то же при мгновенном понижении уровня;

$q_0$ - естественный расход потока, вычисляемый по формуле

$$q_0 = \kappa \left[ \frac{h_e^2 - h_c^2}{2\ell} + \frac{1}{2}\frac{\varepsilon}{\kappa}\ell \right]; \qquad (3.26)$$

$h_e$ - глубина потока в естественных условиях на расстоянии $\ell$ от дрены.

Ординаты кривой депрессии рассчитываются по зависимости / 78 /

$$h_x = \sqrt{h_{ex}^2 - (h_c^2 - h_0'^2)[1 - \Phi(\lambda)]}, \qquad (3.27)$$

где

$$h_{ex} = \sqrt{h_0^2 + \frac{\varepsilon}{\kappa}x^2 + 2\frac{q_0}{\kappa}x}; \qquad (3.28)$$

$x$ - расстояние от дрены;

$$\lambda = \frac{x}{2\sqrt{at}}; \qquad (3.29)$$

$\Phi(\lambda)$- функция, определяемая по табл.3.2.

Таблица 3.2

Значение функции $\Phi(\lambda)$

| $\lambda$ | $\Phi(\lambda)$ | $\lambda$ | $\Phi(\lambda)$ | $\lambda$ | $\Phi(\lambda)$ | $\lambda$ | $\Phi(\lambda)$ | $\lambda$ | $\Phi(\lambda)$ | $\lambda$ | $\Phi(\lambda)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,00 | 0,0000 | 0,20 | 0,223 | 0,50 | 0,52I | 0,80 | 0,742 | I,I0 | 0,880 | I,40 | 0,952 |
| 0,0I | 0,0II3 | 0,22 | 0,244 | 0,52 | 0,538 | 0,82 | 0,754 | I,I2 | 0,887 | I,45 | 0,960 |
| 0,02 | 0,0228 | 0,24 | 0,266 | 0,54 | 0,555 | 0,84 | 0,765 | I,I4 | 0,893 | I,50 | 0,966 |
| 0,03 | 0,0338 | 0,26 | 0,287 | 0,56 | 0,572 | 0,86 | 0,776 | I,I6 | 0,899 | I,60 | 0,976 |
| 0,04 | 0,045I | 0,28 | 0,308 | 0,58 | 0,588 | 0,88 | 0,787 | I,I8 | 0,905 | I,70 | 0,984 |
| 0,05 | 0,0564 | 0,30 | 0,329 | 0,60 | 0,604 | 0,90 | 0,797 | I,20 | 0,9I0 | I,80 | 0,989 |
| 0,06 | 0,0676 | 0,32 | 0,349 | 0,62 | 0,6I9 | 0,92 | 0,807 | I,22 | 0,9I6 | I,90 | 0,993 |
| 0,07 | 0,0789 | 0,34 | 0,369 | 0,64 | 0,635 | 0,94 | 0,8I6 | I,24 | 0,92I | 2,00 | 0,995 |
| 0,08 | 0,090I | 0,36 | 0,389 | 0,66 | 0,649 | 0,96 | 0,825 | I,26 | 0,925 | 2,I0 | 0,997 |
| 0,09 | 0,I0I | 0,38 | 0,409 | 0,68 | 0,664 | 0,98 | 0,834 | I,28 | 0,930 | 2,20 | 0,998 |
| 0,I0 | 0,II3 | 0,40 | 0,428 | 0,70 | 0,678 | I,00 | 0,843 | I,30 | 0,934 | 2,40 | 0,999 |
| 0,I2 | 0,I35 | 0,42 | 0,448 | 0,72 | 0,69I | I,02 | 0,85I | I,32 | 0,938 | $\infty$ | I |
| 0,I4 | 0,I57 | 0,44 | 0,466 | 0,74 | 0,705 | I,04 | 0,859 | I,34 | 0,942 | | |
| 0,I6 | 0,I79 | 0,46 | 0,485 | 0,76 | 0,7I8 | I,06 | 0,866 | I,36 | 0,946 | | |
| 0,I8 | 0,20I | 0,48 | 0,503 | 0,78 | 0,730 | I,08 | 0,873 | I,38 | 0,949 | | |

3.2.6. Удельный приток в дрену в условиях ограниченного потока с постоянным напором на удаленной границе вычисляется по формуле / 78 /

$$q = \frac{\kappa (h_0^2 - h_0'^2)}{2L} \left[ S_q(\tau) + 1 \right] + q_0 , \qquad (3.30)$$

где $$\tau = \frac{\alpha t}{L^2} , \qquad (3.31)$$

$S_q(\tau)$- функция, определяемая по табл.3.3.

Таблица 3.3

Значение функции $S_q(\tau)$

| $\tau$ | 0 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,075 | 0,I |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $S_q(\tau)$ | $\infty$ | 3 | 2,25 | I,82 | I,52 | I,08 | 0,78 |
| $\tau$ | 0,I5 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | $\infty$ |
| $S_q(\tau)$ | 0,46 | 0,28 | 0,I | 0,039 | 0,0I5 | 0,0045 | 0 |

Глубина потока $h_x$ определяется по зависимости / 78 /

$$h_x = \sqrt{h_{ex}^2 - (h_0^2 - h_0'^2)\left[1 - \frac{x}{L} - S\left(\tau, \frac{x}{L}\right)\right]}, \qquad (3.32)$$

где $S\left(\tau, \frac{x}{L}\right)$- функция, вычисляемая по табл.3.4.

Таблица 3.4

Значения функции $S\left(\tau, \frac{x}{L}\right)$

| $\tau$ | $\frac{x}{L}$ | $S$ | $\tau$ | $\frac{x}{L}$ | $S$ | $\tau$ | $\frac{x}{L}$ | $S$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,02 | 0 | 0 | 0,03 | 0,70 | 0,293 | 0,05 | 0,40 | 0,395 |
| | 0,05 | 0,I63 | | 0,75 | 0,248 | | 0,45 | 0,393 |
| | 0,I0 | 0,283 | | 0,80 | 0,I98 | | 0,50 | 0,386 |
| | 0,I5 | 0,385 | | 0,85 | 0,I48 | | 0,55 | 0,368 |
| | 0,20 | 0,483 | | 0,90 | 0,I00 | | 0,60 | 0,340 |
| | 0,25 | 0,539 | | 0,95 | 0,053 | | 0,65 | 0,308 |
| | 0,30 | 0,565 | | I,0 | 0 | | 0,70 | 0,270 |

Продолжение таблицы 3.4

| $\tau$ | $\frac{x}{L}$ | $S$ | $\tau$ | $\frac{x}{L}$ | $S$ | $\tau$ | $\frac{x}{L}$ | $S$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,35 | 0,568 | 0,04 | 0 | 0 | | 0,75 | 0,232 |
| | 0,40 | 0,555 | | 0,05 | 0,092 | | 0,80 | 0,I90 |
| | 0,45 | 0,525 | | 0,I0 | 0,I76 | | 0,85 | 0,I42 |
| | 0,50 | 0,487 | | 0,I5 | 0,260 | | 0,90 | 0,092 |
| | 0,55 | 0,423 | | 0,20 | 0,323 | | 0,95 | 0,045 |
| | 0,60 | 0,393 | | 0,25 | 0,373 | | I,0 | 0 |
| | 0,65 | 0,345 | | 0,30 | 0,4I0 | 0,075 | 0 | 0 |
| | 0,70 | 0,298 | | 0,35 | 0,435 | | 0,05 | 0,053 |
| | 0,75 | 0,250 | | 0,40 | 0,443 | | 0,I0 | 0,I04 |
| | 0,80 | 0,200 | | 0,45 | 0,438 | | 0,I5 | 0,I53 |
| | 0,85 | 0,I50 | | 0,50 | 0,423 | | 0,20 | 0,I93 |
| | 0,90 | 0,I03 | | 0,55 | 0,400 | | 0,25 | 0,23I |
| | 0,95 | 0,053 | | 0,60 | 0,368 | | 0,30 | 0,260 |
| | I,0 | 0 | | 0,65 | 0,330 | | 0,35 | 0,283 |
| 0,03 | 0 | 0 | | 0,70 | 0,288 | | 0,40 | 0,300 |
| | 0,05 | 0,II3 | | 0,75 | 0,242 | | 0,45 | 0,308 |
| | 0,I0 | 0,2I7 | | 0,80 | 0,I95 | | 0,50 | 0,303 |
| | 0,I5 | 0,3I7 | | 0,85 | 0,I47 | | 0,55 | 0,290 |
| | 0,20 | 0,388 | | 0,90 | 0,098 | | 0,60 | 0,27I |
| | 0,25 | 0,443 | | 0,95 | 0,050 | | 0,65 | 0,250 |
| | 0,30 | 0,475 | | I,0 | 0 | | 0,70 | 0,225 |
| | 0,35 | 0,495 | 0,05 | 0 | 0 | | 0,75 | 0,I98 |
| | 0,40 | 0,498 | | 0,05 | 0,075 | | 0,80 | 0,I62 |
| | 0,45 | 0,483 | | 0,I0 | 0,I48 | | 0,85 | 0,I23 |
| | 0,50 | 0,460 | | 0,I5 | 0,2I3 | | 0,90 | 0,083 |
| | 0,55 | 0,425 | | 0,20 | 0,268 | | 0,95 | 0,042 |
| | 0,60 | 0,383 | | 0,25 | 0,32I | | I,0 | 0 |
| | 0,65 | 0,340 | | 0,30 | 0,358 | 0,I0 | 0 | 0 |
| | | | | 0,35 | 0,383 | | 0,05 | 0,040 |
| 0,I0 | 0,I0 | 0,077 | 0,I5 | 0,85 | 0,067 | 0,30 | 0,30 | 0,027 |
| | 0,I5 | 0,II3 | | 0,90 | 0,045 | | 0,35 | 0,030 |
| | 0,20 | 0,I45 | | 0,95 | 0,023 | | 0,40 | 0,032 |
| | 0,25 | 0,I74 | | I,0 | 0 | | 0,45 | 0,033 |
| | 0,30 | 0,200 | 0,20 | 0 | 0 | | 0,50 | 0,033 |

Окончание таблицы 3.4

| $\tau$ | $\frac{x}{L}$ | $S$ | $\tau$ | $\frac{x}{L}$ | $S$ | $\tau$ | $\frac{x}{L}$ | $S$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,35 | 0,2I8 | | 0,05 | 0,0I3 | | 0,55 | 0,032 |
| | 0,40 | 0,228 | | 0,I0 | 0,027 | | 0,60 | 0,030 |
| | 0,45 | 0,235 | | 0,I5 | 0,04I | | 0,65 | 0,027 |
| | 0,50 | 0,287 | | 0,20 | 0,055 | | 0,70 | 0,025 |
| | 0,55 | 0,230 | | 0,25 | 0,063 | | 0,75 | 0,023 |
| | 0,60 | 0,220 | | 0,30 | 0,072 | | 0,80 | 0,020 |
| | 0,65 | 0,203 | | 0,35 | 0,080 | | 0,85 | 0,0I5 |
| | 0,70 | 0,I85 | | 0,40 | 0,085 | | 0,90 | 0,0I0 |
| | 0,75 | 0,I62 | | 0,45 | 0,087 | | 0,95 | 0,005 |
| | 0,80 | 0,I36 | | 0,50 | 0,088 | | I,0 | 0 |
| | 0,85 | 0,I05 | | 0,55 | 0,087 | | | |
| | 0,90 | 0,07I | | 0,60 | 0,082 | | | |
| | 0,95 | 0,045 | | 0,65 | 0,077 | | | |
| | I,0 | 0 | | 0,70 | 0,07I | | | |
| 0,I5 | 0 | 0 | | 0,75 | 0,062 | | | |
| | 0,05 | 0,023 | | 0,80 | 0,052 | | | |
| | 0,I0 | 0,045 | | 0,85 | 0,04I | | | |
| | 0,I5 | 0,070 | | 0,90 | 0,027 | | | |
| | 0,20 | 0,085 | | 0,95 | 0,0I3 | | | |
| | 0,25 | 0,I03 | | I,0 | 0 | | | |
| | 0,30 | 0,II7 | 0,30 | 0 | 0 | | | |
| | 0,35 | 0,I30 | | 0,05 | 0,005 | | | |
| | 0,40 | 0,I40 | | 0,I0 | 0,0I0 | | | |
| | 0,45 | 0,I45 | | 0,I5 | 0,0I5 | | | |
| | 0,50 | 0,I45 | | 0,20 | 0,0I8 | | | |
| | 0,55 | 0,I45 | | 0,25 | 0,023 | | | |
| | 0,60 | 0,I38 | | | | | | |
| | 0,65 | 0,I30 | | | | | | |
| | 0,70 | 0,II8 | | | | | | |
| | 0,75 | 0,I02 | | | | | | |
| | 0,80 | 0,086 | | | | | | |

3.2.7. Приведенные выше формулы расчета горизонтальных дрен справедливы для дрен большой протяженности, когда длина дрены и ширина потока равны между собой.

При расчетах притоков воды к коротким дренам и определении ординат депрессионных кривых дренажный эффект от работы дрен в обе стороны от их центра является менее ощутимым, что учитывается по С.Ф.Аверьянову введением коэффициента короткости $\lambda$ / 88 /. Величины удельных притоков воды в дрену, полученные по формулам, следует умножить на $\lambda$, а рассчитанные значения понижений ( $S_x = h_e - h_x$ ) - на величину $\frac{1}{\lambda}$.

Коэффициент короткости $\lambda$ (рис.3.7) зависит от отношений $\frac{B}{B_o}$ и $\frac{B}{R_2}$ ( $B_o$ - ширина потока, $R_2$ - расстояние от дрены до контура естественного стока) и определяется по табл.3.5.

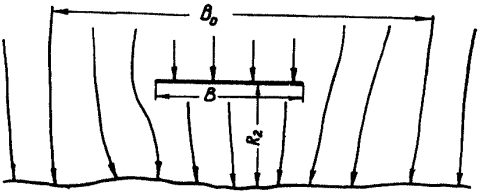


Рис.3.7. Схема укороченной горизонтальной дрены

Для расчета ординат депрессии коэффициент короткости посредине дрены рекомендуется принимать равным единице, на концевых участках дрены - полной величине по табл.3.5.

3.2.8. Расчет глубины потока и времени осушения безнапорного водоносного пласта при наклонном водоупоре (рис.3.8а) производится по графическим зависимостям, представленным на рис.3.8б и 3.8в / 24, 78 /.

Таблица 3.5

Значения коэффициента короткости $\lambda$ по С.Ф.Аверьянову

| $\frac{B}{R_2}$ | $\frac{B}{B_0}$ | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,0 | 0,05 | 0,I | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | I,0 |
| 0,05 | 8,0 | 7,6 | 6,3 | 4,22 | 3,08 | 2,40 | I,96 | I,65 | I,42 | I,26 | I,II | I,00 |
| 0,I | 5,0 | 4,9 | 4,6 | 3,64 | 2,86 | 2,3I | I,9I | I,63 | I,4I | I,25 | I,II | I,00 |
| 0,25 | 2,69 | 2,69 | 2,69 | 2,64 | 2,35 | 2,06 | I,8I | I,58 | I,39 | I,23 | I,II | I,00 |
| 0,50 | I,90 | I,90 | I,89 | I,87 | I,84 | I,77 | I,63 | I,50 | I,36 | I,22 | I,II | I,00 |
| I,0 | I,44 | I,44 | I,44 | I,44 | I,44 | I,43 | I,40 | I,37 | I,29 | I,2I | I,I0 | I,00 |
| 2,0 | I,24 | I,24 | I,24 | I,24 | I,24 | I,24 | I,22 | I,20 | I,I8 | I,I6 | I,I0 | I,00 |
| 3,0 | I,I5 | I,I5 | I,I5 | I,I5 | I,I5 | I,I5 | I,I5 | I,I5 | I,I4 | I,I4 | I,I0 | I,00 |
| 4,0 | I,II | I,II | I,II | I,II | I,II | I,II | I,II | I,II | I,II | I,II | I,I0 | I,00 |
| 5,0 | I,09 | I,09 | I,09 | I,09 | I,09 | I,09 | I,09 | I,09 | I,09 | I,09 | I,09 | I,00 |
| I0,0 | I,04 | I,04 | I,04 | I,04 | I,04 | I,04 | I,04 | I,04 | I,04 | I,04 | I,04 | I,00 |

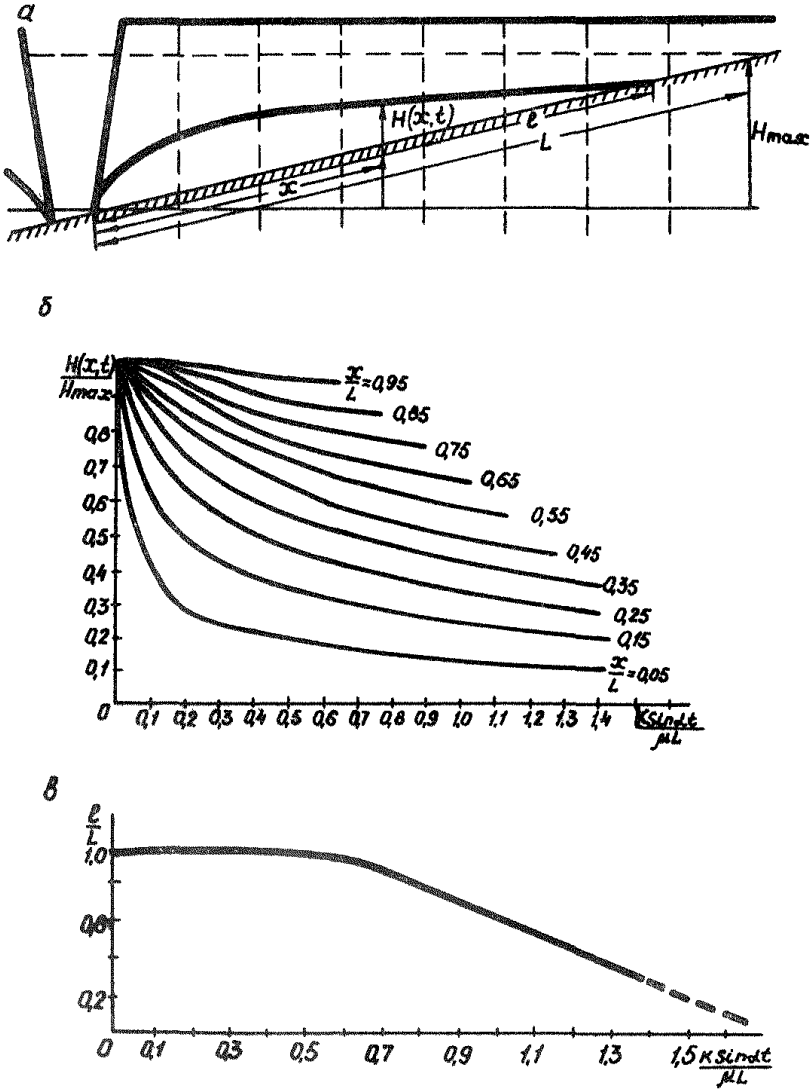


Рис.3.8. К расчету неустановившейся фильтрации при наклонном водоупоре
а – схема области фильтрации; б – графики зависимости $\frac{H(x,t)}{H_{max}} = f\left(\frac{K\sin\alpha t}{\mu L}\right)$,
в – графики зависимости $\frac{e}{L} = f\left(\frac{K\sin\alpha t}{\mu L}\right)$.

Существенное перемещение контура обводненности по водоупору начинается при соблюдении условия

$$t \geq (0{,}5 \div 0{,}7) \frac{\mu L}{K \sin\alpha}, \qquad (3.33)$$

где $t$ - время от начала истощения водоносного пласта;

$\alpha$ - угол наклона пласта.

# 4. РАСЧЕТ ПРИТОКОВ ВОДЫ К ВОДОПОНИЖАЮЩИМ СКВАЖИНАМ В ПРОСТЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

## 4.I. Расчет одиночных скважин

4.I.I. Определение притока воды в совершенную скважину в условиях безнапорного потока и установившегося движения.

В связи с криволинейным характером депрессионной поверхности вблизи скважины происходит деформация гидродинамической сетки движения, что вызывает осложнения при определении дебита скважины по уравнениям Дюпюи. По исследованиям многих авторов / 9, I06 /, заметные погрешности наблюдаются в прискважинной зоне на расстоянии, меньшем I,0-I,5 мощности потока.

Ниже приведены два варианта расчета дебита скважины, свободные от указанных недостатков / 97 /, полученные при учете исследований Киркхема и Кашефа / I09, II0 /.

Вариант первый. Дебит скважины рекомендуется определять по следующим зависимостям

$$Q = \frac{\pi K [h_e^2 - (h_0 + h_в)^2]}{\ln \frac{R}{r_0}}, \qquad (4.1)$$

$$Q = \frac{\pi K [h_i^2 - (h_0 + h_в)^2]}{\ln \frac{r_i'}{r_0'}}, \qquad (4.2)$$

$$Q = \frac{\pi K [(h_0 + h_в)^2 - h_0^2]}{\ln \frac{r_0'}{r_0}}, \qquad (4.3)$$

$$Q = \frac{\pi K (h_i^2 - h_f^2)}{\ln \frac{r_i'}{r_f'}}, \qquad (4.4)$$

$$Q = \frac{\pi K (h_e^2 - h_i^2)}{\ln \frac{R}{r_i'}}, \qquad (4.5)$$

где $h_i$ и $h_f$ - мощности потока на расстоянии $r_i$ и $r_f$ от скважины; фиксируемые по наблюдательным скважинам, которые во

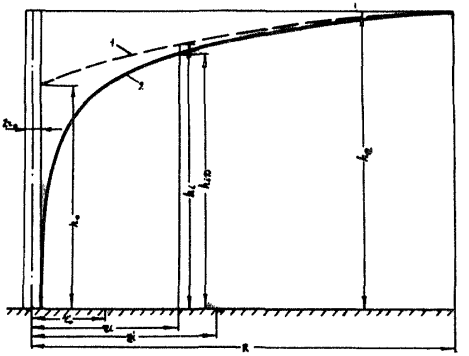

Рис.4.I. Схема фильтрации подземных вод к скважине. Депрессионная кривая
I - по Киркхему, 2 - по Дюпюи

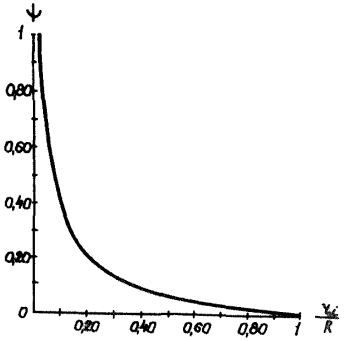


Рис.4.2. Зависимость безразмерного коэффициента $\psi$ от отношения $\frac{r_i}{R}$

избежание погрешностей в определении $h_i$ и $h_f$ должны быть несовершенными по степени вскрытия и иметь фильтр длиною 0,1-0,2 м лишь в пределах депрессионной поверхности; $r_o'$ и $r_i'$ - приведенные расстояния (рис.4.1), рассчитываемые по формулам

$$\lg r_o' = \frac{(h_o + h_e)^2 - h_o^2}{h_e^2 - h_o^2} \lg \frac{R}{r_o} + \lg r_o , \qquad (4.6)$$

$$\lg r_i' = \lg R - \frac{h_e^2 - h_i^2}{h_e^2 - h_o^2} \lg \frac{R}{r_o} . \qquad (4.7)$$

Определение высоты высачивания производится по специальному пьезометру у скважины.

При столбе воды в скважине, равном нулю, определение высоты высачивания производится также по формуле

$$h_e = \sqrt{\frac{h_i^2 - h_{iD}^2}{\psi}} , \qquad (4.8)$$

где $h_{iD}$ - мощность потока на расстоянии $r_i$ (рис.4.1), рассчитываемая по зависимости Дюпюи;

$\psi$ - безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения $\frac{r_i}{R}$ по графику на рис.4.2.

Значение $h_e$, рассчитанное по выражению (4.8), совпадает с точным решением Киркхема и Кашефа / 109, 110 /.

Вариант второй. Дебит скважины предлагается вычислять по следующим формулам

$$Q = \frac{\pi k (h_i^2 - h_o^2)}{\ln \frac{r_i'}{r_o} + S_q} , \qquad (4.9)$$

$$Q = \frac{\pi k [(h_o + h_e)^2 - h_o^2}{S_{q_o}} , \qquad (4.10)$$

$$Q = \frac{\pi k (h_e^2 - h_i^2)}{\ln \frac{R}{r_i} - S_q} , \qquad (4.11)$$

$$Q = \frac{\pi k (h_i^2 - h_f^2)}{\ln \frac{r_i}{r_f} + S_q}, \qquad (4.12)$$

где $S_q, S_{q_0}, S'_q$ - безразмерные гидравлические сопротивления, обусловленные деформацией гидродинамической сетки движения, соответственно в области фильтрации от наблюдательной до центральной скважины, у центральной скважины и между двумя наблюдательными скважинами, которые определяются по формулам

$$S_q = \frac{h_i^2 - h_{iD}^2}{h_{iD}^2 - h_o^2} \ln \frac{r_i}{r_o}, \qquad (4.13)$$

$$S_{q_0} = \frac{(h_o + h_e)^2 - h_o^2}{h_e^2 - h_o^2} \ln \frac{R}{r_o}, \qquad (4.14)$$

$$S'_q = S_{qi} - S_{qf}. \qquad (4.15)$$

Высоту высачивания определяют аналогично первому варианту. Для удобства расчетов при столбе воды в скважине, равном нулю, построен график зависимости $S_q$ [в долях единицы от общего гидравлического сопротивления $(\ln \frac{r_i}{r_o} + S_q)$] от отношения $\frac{r_i}{R}$ (рис.4.3).

По отношению $\frac{r_i}{R}$ определяют значение $S_q$ по графику; зная величину $\ln \frac{r_i}{r_o}$ (в абсолютном значении и в долях единицы), вычисляют абсолютное значение $S_q$.

Хорошие результаты дает определение дебита водопонижающей скважины при совместном использовании двух вариантов.

Построение депрессионной поверхности следует осуществлять с использованием следующих формул

для первого варианта:

$$h_i^2 = \frac{h_e^2 \ln \frac{r_i}{r_o} + (h_o + h_e)^2 \ln \frac{R}{r_i}}{\ln \frac{R}{r_o}}, \qquad (4.16)$$

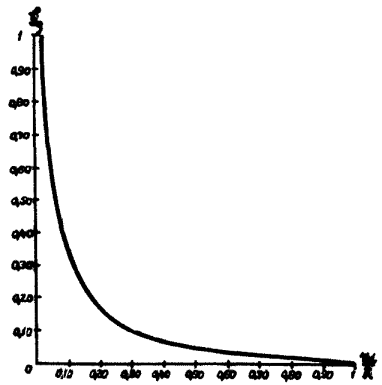

Рис.4.3. Зависимость безразмерного гидравлического сопротивления $S_q$ от отношения $\frac{r_i}{R}$

При столбе воды в скважине, равном нулю,

$$h_i^2 = \frac{h_e^2 \ln \frac{r_i}{r_0} + h_e^2 \ln \frac{R}{r_i}}{\ln \frac{R}{r_0}}; \qquad (4.17)$$

для второго варианта:

$$h_i^2 = \frac{h_e^2 (\ln \frac{r_i}{r_0} + S_q) + h_0^2 (\ln \frac{R}{r_i} - S_q)}{\ln \frac{R}{r_0}}, \qquad (4.18)$$

При столбе воды в скважине, равном нулю,

$$h_i^2 = \frac{h_e^2 (\ln \frac{r_i}{r_0} + S_q)}{\ln \frac{R}{r_0}}. \qquad (4.19)$$

Для определения ординат депрессионной кривой на расстоянии $r_i$ от скважины по зависимости (4.19) следует предварительно найти абсолютное значение $S_q$ с использованием графика на рис.4.3.

Ординаты депрессионной кривой по выражению (4.17) рекомендуется рассчитывать следующим образом: определяется значе-

ние $h_\varepsilon$ по данным опытно-фильтрационных работ или по зависимости (4.8), находится по формуле (4.6) величина $r_0'$, с учетом графика на рис.4.3. вычисляется абсолютное значение $S_q$, а затем определяется $r_i'$ по выражению

$$\ln \frac{r_i'}{r_i} = S_q . \qquad (4.20)$$

4.I.2. Дебит скважины в неограниченном напорном водоносном горизонте с круговым контуром питания при установившейся фильтрации определяется по формуле Дюпюи

$$Q = \frac{2\pi k m S_0}{\ln \frac{R}{r_0}} . \qquad (4.2I)$$

Ординаты депрессионной кривой H на расстоянии $r$ от скважины подсчитываются по зависимостям / 44 /

$$H = H_e - \frac{Q}{2\pi k m} \ln \frac{R}{r} ; \qquad (4.22)$$

$$H = \frac{H_1 - H_0}{\lg \frac{r_1}{r_0}} \lg \frac{r}{r_0} + H_0 ; \qquad (4.23)$$

$$H = \frac{H_2 - H_1}{\lg \frac{r_2}{r_1}} \lg \frac{r}{r_1} + H_1 , \qquad (4.24)$$

где $r_1$ и $r_2$ - расстояния от скважины до сечений с напорами $H_I$ и $H_2$.

4.I.3. Дебит скважины в напорном водоносном горизонте при установившейся фильтрации, когда скважина расположена между контурами питания и дренажа, вычисляется по формуле А.В.Романова / 89 /

$$Q = \frac{2\pi k m S_0}{\ln \left[ \frac{2L}{\pi r_0} \cos \frac{\pi (e_1 - e_2)}{2L} \right]} , \qquad (4.25)$$

где $L$ - ширина полосы;

$e_1, e_2$ - расстояния от скважины до контуров питания и дренажа.

4.I.4. Дебит скважины в напорном водоносном горизонте при установившейся фильтрации при расположении скважины в середине полосы между контурами питания и дренажа рассчитывается по формуле Ф.М.Бочевера / II /

$$Q = \frac{4\pi k m S_0}{\ln \frac{ch\left(\frac{\pi r_0}{L}\right)+1}{ch\left(\frac{\pi r_0}{L}\right)-1}} \quad . \qquad (4.26)$$

4.I.5. Понижение на расстоянии $r$ от скважины, работающей с постоянным дебитом в неограниченном напорном водоносном горизонте при неустановившейся фильтрации, определяется по формуле / II /

$$S = \frac{Q}{2\pi k m} \ln \frac{1{,}5\sqrt{a^* t}}{r} \quad . \qquad (4.27)$$

Формулой следует пользоваться при $\frac{r^2}{4at} \leq 0{,}I$ / 9 /.

4.I.6. При расположении скважины вблизи водонепроницаемой границы понижение напора на расстоянии $r$ от нее при постоянном дебите в условиях неустановившейся фильтрации рассчитывается по формуле / I0 /

$$S = \frac{Q}{2\pi k m} \ln \frac{1{,}12\, a^* t}{r\ell} \quad , \qquad (4.28)$$

где $\ell$ – расстояние от скважины до водонепроницаемой границы.

Формула справедлива при $\frac{\ell^2}{a^* t} \leq 0{,}05 \div 0{,}I$.

4.I.7. Формулы (4.25), (4.26), (4.27) и (4.28) применимы и для безнапорных водоносных горизонтов при замене в них $m$ на $h_{ср}$, определяемую по выражению / II /

$$h_{ср} = \frac{2h_e + h_0}{3} \quad . \qquad (4.29)$$

Кроме того, в формулах (4.27) и (4.28) коэффициент пьезопроводности $a^*$ должен быть заменен на коэффициент уровнепроводности $a$ .

4.2. Расчет линейных рядов водопонижающих скважин

4.2.I. При расчете дебита скважины обычно линейный ряд водопонижающих скважин заменяют согласно методу фильтрационных сопротивлений совершенной траншеей, напор на контуре которой вычисляют по формулам / 78, I06 /:

для безнапорного водоносного горизонта

$$H_л^2 = h_0^2 + \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{\sigma}{\pi d_0}, \qquad (4.30)$$

для напорного водоносного горизонта

$$H_л = H_0 + \frac{Q}{2\pi k m} \ln \frac{\sigma}{\pi d_0}. \qquad (4.3I)$$

Расчет водопритоков в последующем производится по формулам для совершенных горизонтальных дрен (раздел 3) для условий как установившейся, так и неустановившейся фильтрации.

Для различных граничных условий, используя метод фильтрационных сопротивлений, можно получить дебит скважин ряда / I06 /.

В частности, при замене линейного ряда скважин эквивалентной траншеей для напорного пласта приток к участку траншеи, имеющей ширину $\sigma$, будет равен дебиту скважины, то есть

$$Q = \frac{k \cdot m \cdot S_л}{L} \cdot \sigma, \qquad (4.32)$$

где $S_л$ - понижение по линии ряда, замененного траншеей;

$L$ - расстояние до контура питания

$$S_л = H_e - H_л. \qquad (4.33)$$

С учетом (4.33) дебит скважины

$$Q = \frac{k m (H_e - H_л) \cdot \sigma}{L}. \qquad (4.34)$$

Подставляя значение $Q$ из (4.34) в (4.3I), можно вычислить $H_л$, и дальнейший расчет не представляет труда.

Аналогичным способом производятся расчеты и для безнапорного пласта. В этом случае

$$m = \frac{h_л + h_0}{2}, \qquad (4.35)$$

$$S_{//} = h_e - h_{//} \quad . \tag{4.36}$$

Все вышеприведенные зависимости получены для установившегося движения. Если движение неустановившееся, то

$$Q = \frac{K \cdot m \cdot S_{//} \cdot \sigma}{R_t} \quad , \tag{4.37}$$

где $R_t = 1{,}1\sqrt{at}$ - условный радиус влияния.

**4.2.2.** Для случая расположения ряда скважин между контуром питания и водонепроницаемой границей дебит скважины при установившейся фильтрации будет равен / 106 /

для напорного потока

$$Q = \frac{K m (H_p - H_c) + q_e l}{l + \frac{\sigma}{2\pi} \ln \frac{\sigma}{\pi d_c}} \sigma \quad , \tag{4.38}$$

для безнапорного потока

$$Q = \frac{K (h_p^2 - h_c^2) + 2 q_e l}{2l + \frac{\sigma}{\pi} \ln \frac{\sigma}{\pi d_c}} \quad , \tag{4.39}$$

где $q_e$ - удельный расход потока к реке в естественных условиях за счет инфильтрационного питания, интенсивность которого сохраняется постоянной и после сооружения скважин;

$H_p, h_p$ - напор и уровень на контуре питания;

$l$ - расстояние от ряда скважин до контура питания.

**4.2.3.** Дебит скважины при расположении ряда скважин между областями питания и дренажа в условиях установившейся фильтрации определяется по зависимостям / 106 /:

для напорного потока

$$Q = \frac{K m S_c}{\frac{l_1 \cdot l_2}{\sigma L} + \frac{1}{2\pi} \ln \frac{\sigma}{\pi d_c}} \quad , \tag{4.40}$$

для безнапорного потока

$$Q = \frac{K(h_e^2 - h_c^2)}{\frac{2l_1 l_2}{\sigma L} + \frac{1}{2\pi} \ln \frac{\sigma}{\pi d_0}}, \qquad (4.41)$$

где $h_e$ – начальная глубина потока подземных вод в месте заложения ряда скважин.

4.2.4. Для ряда скважин ограниченной длины, дебиты которых определяются с использованием метода фильтрационных сопротивлений, справедливы рекомендации по учету короткости ряда (п.3.2.7).

4.2.5. При работе ряда скважин ограниченной длины вблизи реки понижение уровня воды в любой скважине ряда определяется методом сложения течений путем суммирования всех срезок уровней от действия скважин. Формула в общем виде для условий установившейся фильтрации выглядит следующим образом / 90 /

$$S = \frac{1}{2\pi KM}\left(Q_c \ln \frac{2l}{r_c} + Q_1 \ln \frac{\rho_1}{r_1} + Q_2 \ln \frac{\rho_2}{r_2} + \dots + Q_n \ln \frac{\rho_n}{r_n}\right), \qquad (4.42)$$

где $Q_c$ – дебит скважины, в которой определяется понижение уровня воды;

$l$ – расстояние от ряда скважин до реки;

$Q_1, Q_2 \dots Q_n$ – дебиты остальных скважин ряда;

$r_1, r_2 \dots r_n$ – расстояния от скважины, в которой определяется срезка уровней воды, до остальных скважин ряда;

$\rho_1, \rho_2 \dots \rho_n$ – расстояние от указанной скважины до зеркальных отображений остальных скважин ряда.

4.2.6. При расположении ряда скважин вблизи реки понижение уровня в каждой скважине ряда при одинаковом дебите скважин при установившейся фильтрации определяется по формуле / 90 /

$$S_c = \frac{Q}{2\pi KM}\left(\frac{2\pi L}{\sigma} + \ln \frac{\sigma}{\pi d_0}\right), \qquad (4.43)$$

где $L$ – расстояние от ряда скважин до реки.

Формулой (4.43) рекомендуется пользоваться при отношении $\frac{L}{\ell} > 5 \div 7$ ( $\ell$ - половина длины ряда). Если отношение $\frac{L}{\ell} < 5 \div 7$, то понижение уровня в центре ряда рассчитывается по зависимости

$$S = \frac{Q}{2\pi k m}\left(\frac{2\ell}{\sigma}\ln\frac{54L}{\ell} + \ln\frac{\sigma}{\pi a_0}\right). \qquad (4.44)$$

4.2.7. При работе ряда скважин в неограниченном пласте в условиях неустановившейся фильтрации понижение в любой точке пласта определяется по формуле / I0 /

для напорного потока

$$S = \frac{Q_{сум}}{2\pi k m}\mathcal{R}, \qquad (4.45)$$

для безнапорного потока

$$S = h_e - \sqrt{h_e^2 - \frac{Q_{сум}}{\pi k}\mathcal{R}}, \qquad (4.46)$$

где $\mathcal{R}$ - гидравлическое сопротивление, определяемое по выражению

$$\mathcal{R} = -\frac{1}{2P}\sum_{\kappa=-n}^{\kappa=n} E\left(-\frac{r_\kappa^2}{4a^*t}\right); \qquad (4.47)$$

$r_\kappa = \sqrt{x^2 + (y - \kappa\sigma)^2}$ - расстояние от произвольной точки $A$ до скважины с номером $\kappa$ ; $P = 2n + 1$ - число скважин ряда [ принимается нумерация скважин от центра ряда (скважина К = 0) до концов ряда (скважины $\kappa = n$ и $\kappa = -n$ )] ;

$Q_{сум} = PQ$ - суммарный дебит всех скважин ряда.

Для определения понижения в центральной скважине ряда значение гидравлического сопротивления $\mathcal{R}$ вычисляется по выражению

$$\mathcal{R} = \frac{1}{2P}\left[2F(B,n) + \ln\frac{2.25a^*t}{r_0^2}\right], \qquad (4.48)$$

где $B = \frac{\sigma^2}{4a^*t}$ ;

$F(B,n)$ - функция, определяемая по табл.4.I

Таблица 4.I

| $B$ \ $n$ | I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | I0 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,005 | 4,73 | 8,08 | I0,7 | I2,7 | I4,3 | I5,6 | I8,8 | 20,7 |
| 0,0I | 4,04 | 6,72 | 8,64 | I0 | II,I | II,9 | I3,4 | I3,9 |
| 0,02 | 3,35 | 5,38 | 6,69 | 7,55 | 8,13 | 8,47 | 8,97 | 9,03 |
| 0,04 | 2,68 | 4,09 | 4,87 | 5,28 | 5,5 | 5,6I | 5,7 | 5,7 |
| 0,I | I,82 | 2,53 | 2,79 | 2,87 | 2,88 | 2,9 | 2,9 | 2,9 |
| 0,2 | I,22 | I,53 | I,6 | I,6I | I,6I | I,6I | I,6I | I,6I |
| 0,4 | 0,702 | 0,789 | 0,85 | 0,85I | 0,85I | 0,85I | 0,85I | 0,85I |
| I | 0,219 | 0,223 | 0,223 | 0,223 | 0,223 | 0,223 | 0,223 | 0,223 |
| 2 | 0,0489 | 0,0489 | 0,0489 | 0,0489 | 0,0489 | 0,0489 | 0,0489 | 0,0489 |
| 4 | 0,00378 | 0,00378 | 0,00378 | 0,00378 | 0,00378 | 0,00378 | 0,00378 | 0,00378 |

Для расчета понижения в крайней скважине ряда значение $R$ равно

$$R = \frac{1}{2P}\left[F(B,2n) + P_n \frac{2.25\alpha^* t}{l^2}\right], \qquad (4.49)$$

где $F(B,2n)$ - функция, вычисляемая по табл.4.I. при замене $n$ на $2n$.

Анализ табл.4.I. показывает / I0 /, что при определенных значениях $B$ функция $F(B,n)$ или $F(B,2n)$ имеет одинаковую величину в некоторых столбцах. Это означает, что при таких условиях взаимодействие между скважинами отсутствует и понижение в скважинах одинаковое.

4.2.8. При работе ряда скважин в неограниченном пласте в условиях неустановившейся фильтрации величина понижения напора в произвольной точке $A$ вдоль прямой $y$, проходящей посредине между скважинами перпендикулярно ряду, определяется по зависимости / 60 /

$$S = \frac{2}{\pi} S_c\left[1 - R(d, \bar{y}, \bar{r}_c)\right], \qquad (4.50)$$

где $\beta = \frac{a^* t}{\sigma}$; $\bar{\psi} = \frac{\psi}{\sigma}$; $\bar{\tau}_0 = \frac{\tau_0}{\sigma}$;

$R(\beta, \bar{\psi}, \bar{\tau}_0)$ - функция, определяемая по табл.4.2.

Таблица 4.2

Значение функции $R(\beta, \bar{\psi}, \bar{\tau}_0)$

| $\bar{\psi}$ | $\beta$ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,25 | 0,5 | I | 2 | 4 | 6 | 8 | I0 |
| | | | | $\bar{\tau}_0$ = 0,000I | | | | |
| 0 | 0,345 | 0,265 | 0,I80 | 0,087 | 0,039 | 0,0I7 | 0,0I3 | 0,0I3 |
| I | 0,375 | 0,297 | 0,220 | 0,II5 | 0,042 | 0,020 | 0,0I4 | 0,0I4 |
| 2 | 0,465 | 0,375 | 0,265 | 0,I34 | 0,044 | 0,02I | 0,0I5 | 0,0I6 |
| 3 | 0,532 | 0,425 | 0,302 | 0,I55 | 0,048 | 0,023 | 0,0I6 | 0,0I7 |
| 4 | 0,728 | 0,549 | 0,355 | 0,I77 | 0,054 | 0,026 | 0,0I8 | 0,0I8 |
| 5 | 0,905 | 0,683 | 0,428 | 0,2I2 | 0,065 | 0,030 | 0,02I | 0,02I |
| | | | | $\bar{\tau}_0$ = 0,0005 | | | | |
| 0 | 0,320 | 0,245 | 0,I76 | 0,082 | 0,035 | 0,0I6 | 0,0I2 | 0,0I2 |
| I | 0,345 | 0,258 | 0,205 | 0,097 | 0,038 | 0,0I8 | 0,0I3 | 0,0I3 |
| 2 | 0,408 | 0,328 | 0,230 | 0,II8 | 0,04I | 0,020 | 0,0I4 | 0,0I4 |
| 3 | 0,470 | 0,385 | 0,257 | 0,I35 | 0,043 | 0,02I | 0,0I5 | 0,0I5 |
| 4 | 0,554 | 0,448 | 0,305 | 0,I52 | 0,048 | 0,023 | 0,0I6 | 0,0I6 |
| 5 | 0,70I | 0,540 | 0,346 | 0,I76 | 0,055 | 0,026 | 0,0I9 | 0,0I9 |
| | | | | $\bar{\tau}_0$ = 0,00I | | | | |
| 0 | 0,305 | 0,226 | 0,I65 | 0,077 | 0,033 | 0,0I5 | 0,0I2 | 0,0I2 |
| I | 0,334 | 0,235 | 0,I85 | 0,I00 | 0,038 | 0,0I7 | 0,0I3 | 0,0I3 |
| 2 | 0,408 | 0,3I5 | 0,2I6 | 0,II0 | 0,040 | 0,0I9 | 0,0I4 | 0,0I4 |
| 3 | 0,445 | 0,367 | 0,239 | 0,I26 | 0,040 | 0,020 | 0,0I4 | 0,0I4 |
| 4 | 0,5I5 | 0,4I0 | 0,282 | 0,I4I | 0,045 | 0,022 | 0,0I6 | 0,0I6 |
| 5 | 0,632 | 0,490 | 0,3I7 | 0,I63 | 0,05I | 0,025 | 0,0I8 | 0,0I8 |
| | | | | $\bar{\tau}_0$ = 0,005 | | | | |
| 0 | 0,265 | 0,2I2 | 0,I53 | 0,062 | 0,023 | 0,0I0 | 0,0I0 | 0,0I0 |
| I | 0,300 | 0,235 | 0,I65 | 0,075 | 0,023 | 0,0I5 | 0,0II | 0,0II |
| 2 | 0,324 | 0,270 | 0,I80 | 0,095 | 0,032 | 0,0I7 | 0,0I2 | 0,0I2 |

Окончание таблицы 4.2

| $\bar{y}$ | $\alpha$ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,25 | 0,5 | I | 2 | 4 | 6 | 8 | I0 |
| 3 | 0,355 | 0,300 | 0,202 | 0,I08 | 0,035 | 0,0I8 | 0,0I3 | 0,0I3 |
| 4 | 0,438 | 0,338 | 0,236 | 0,I20 | 0,038 | 0,0I9 | 0,0I4 | 0,0I4 |
| 5 | 0,507 | 0,396 | 0,259 | 0,I35 | 0,043 | 0,02I | 0,0I5 | 0,0I5 |

4.2.9. Эффективность работы ряда водопонижающих скважин в условиях наклонного залегания водоупора (рис.4.4) оценивается следующим образом / 66 /.

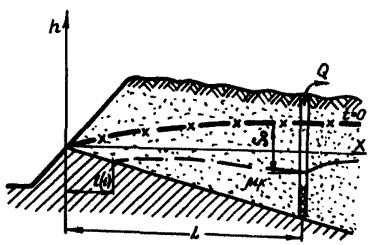


Рис.4.4. Схема к расчету эффективности действия водопонижающих скважин при наклонном водоупоре

Вначале определяется размер осушенной зоны $\ell(t)$ при работе ряда скважин с заданным понижением $S_0$, располагаемого на расстоянии $L$ от разреза, по выражению

$$\ell(t) = \frac{\varkappa t i}{\mu\left(1 - \frac{iL}{S_0}\right)}, \qquad (4.5I)$$

где $i$ - уклон водоупора;

$t$ - время от начала работы ряда скважин.

Затем вычисляется скорость перемещения депрессионной кривой от борта разреза по зависимости

$$v_0 = \frac{l(t)}{t} = \frac{\varkappa i}{\mu(1-\frac{cL}{S_0})}. \qquad (4.52)$$

Необходимый эффект водопонижения достигается при соблюдении условия $v_0 > v_1$ ( $v_1$ - скорость подвигания борта разреза).

## 5. РАСЧЕТ ПРИТОКОВ БЕЗНАПОРНЫХ ВОД К РАЗРЕЗНОЙ ТРАНШЕЕ И ЛИНЕЙНОМУ РЯДУ ВОДОПОНИЖАЮЩИХ СКВАЖИН НА РАБОЧЕМ БОРТУ ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕЙСЯ ФИЛЬТРАЦИИ С УЧЕТОМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОСУШЕНИЯ ПОЛЯ РАЗРЕЗА И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БОРТА / 76 /

5.I. Расчет может быть использован для условий месторождений I и II класса, для которых присущи следующие особенности:

- обводненная надугольная толща представлена в основном песчаными или гравийно-галечниковыми отложениями;
- коэффициент водопроводимости этих отложений не менее I00 $м^2$/сут;
- в основании надугольного водоносного горизонта, который представляет наибольшую опасность при разработке месторождений открытым способом с точки зрения нарушения устойчивости бортов разреза и развития фильтрационных деформаций, залегают водоупорные породы.

5.2. Предварительное осушение района разрезной траншеи в рассматриваемых условиях наиболее целесообразно проводить посредством линейных рядов водопонижающих скважин, которые сооружаются на рабочем и нерабочем бортах будущей разрезной траншеи.

При этом:

- до начала проходки разрезной траншеи предполагается работа двух линейных рядов водопонижающих скважин в течение года;
- в период строительства, который может изменяться от четырех месяцев до четырех лет, дренажный эффект создается за счет совместного действия двух рядов скважин и разрезной траншеи;
- в зависимости от срока сооружения разрезной траншеи скважины на рабочем борту могут работать некоторое время и в период эксплуатации (суммарный срок действия водопонижающих скважин не более 5 лет);
- необходимость работы скважин в период эксплуатации разреза на нерабочем борту должна решаться с позиций устойчивости борта и предотвращения фильтрационных деформаций;

- расстояние между рядами водопонижающих скважин зависит от первоначальной мощности обводненных отложений, годового подвигания фронта горных работ, необходимого коэффициента заслона и стоимости осушения;

- расчет производится при столбе воды в скважине, равном нулю, то есть $\frac{S_0}{h_e} = I$;

- ширина рабочих площадок уступов, углы откосов уступов, ширина разрезной траншеи в верхней и нижней части могут быть различными и выбираются в зависимости от технологии ведения горных работ.

5.3. Дебит водопонижающей скважины на стадии предварительного осушения определяется по формуле В.М.Шестакова /106/

$$Q = \frac{\pi K h^2_{\pi,t}}{\ln \frac{S}{\pi d_c}}, \qquad (5.I)$$

где $h_{\pi,t}$ - приведенный уровень по линии ряда скважин (при замене ряда траншей), который определяется по графику на рис.5.I. для разных отношений $\frac{S}{h_e}$ в зависимости от параметра $\frac{K t h_e}{\mu L^2}$ ( $L$ - расстояние между рядами, $t$ - время от начала совместной работы двух рядов скважин).

5.4. Расчет уровней между двумя рядами водопонижающих скважин на стадии предварительного осушения производится по графику на рис.5.2. Расстояние $x$ отсчитывается от любого из двух рядов скважин.

5.5. Расчет удельного притока подземных вод к рабочему борту разреза $q_t$ при работе ряда водопонижающих скважин и коэффициент заслона $\delta = I - \frac{q_t}{q}$ в строительный период и первые годы эксплуатации следует определять по графику на рис.5.3. в зависимости от параметра $A = \frac{K t h_e}{\mu L l^2}$ ( $l$ - расстояние от ряда скважин до разрезной траншеи),

$t$ - время, отсчитываемое от момента начала работы разрезной траншеи.

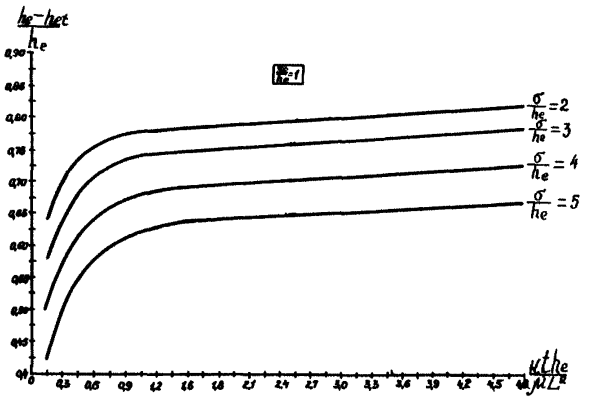


Рис.5.I. График расчета дебита скважины на стадии предварительного осушения при работе двух рядов

Предварительно определяется удельный приток к борту $q$ при условии работы в качестве дрены только разрезной траншеи по уточненной формуле Д.Д.Соколова / 85 /

$$q = \frac{1{,}45 k h_e^2}{l_t}, \qquad (5.2)$$

где

$$l_t = \sqrt{\frac{k t h_e}{0{,}107 \mu}}. \qquad (5.3)$$

При отсутствии данных опытно-фильтрационных работ и режимных наблюдений для определения коэффициента водоотдачи может быть использована формула П.А.Бецинского / 55 /

$$\mu = 0{,}117 \sqrt[7]{k}. \qquad (5.4)$$

В формулу (5.2) $l_t$ подставляется из зависимости (5.3) для времени $t$, когда борт разрезной траншеи не перемещается. Если же борт движется, от значения $l_t$, определенного по зависимости (5.3), необходимо вычесть величину подвигания борта за истекший период.

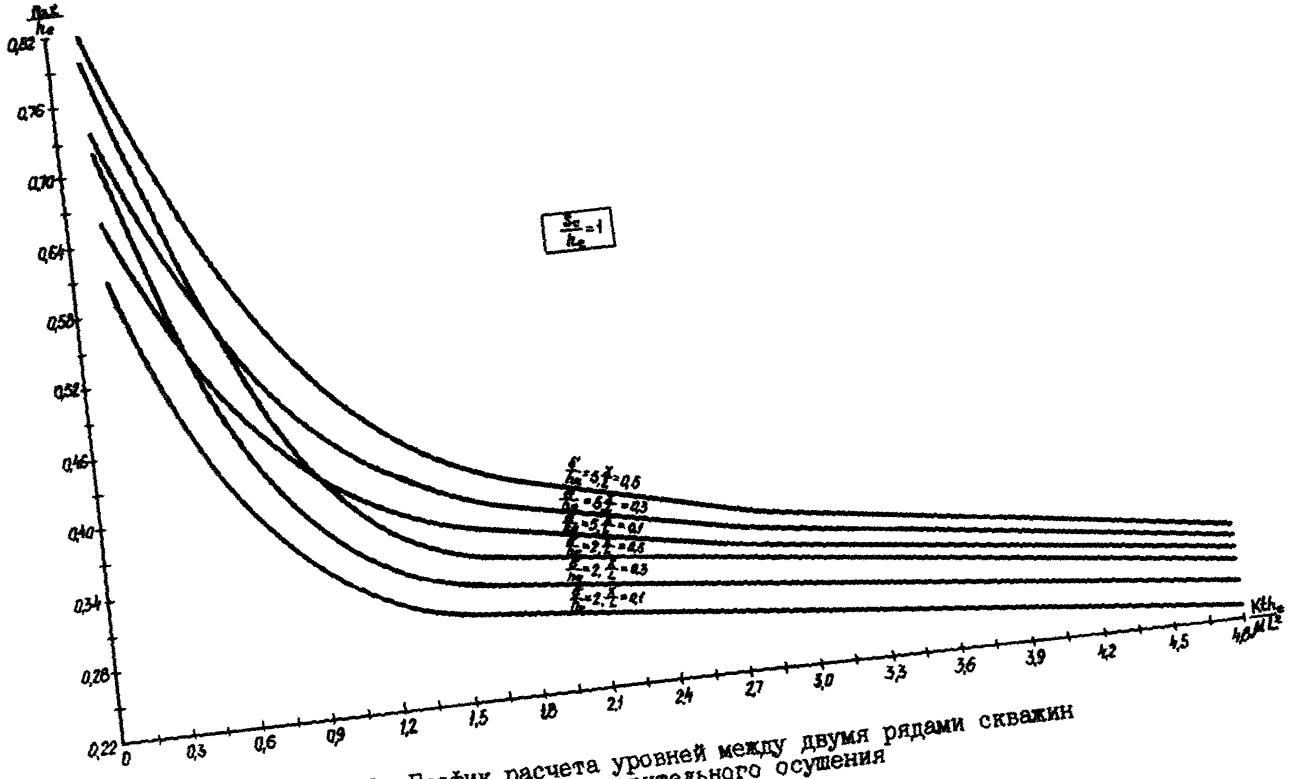


Рис.5.2. График расчета уровней между двумя рядами скважин на стадии предварительного осушения

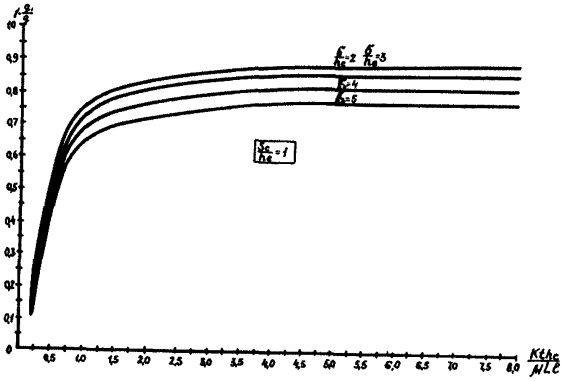

Рис.5.3. График расчета притока подземных вод к рабочему борту разреза при работе ряда водопонижающих скважин

Графиком на рис.5.3. следует пользоваться при значении параметра $A \leqslant 8$. При изменении A от 8 до 76 коэффициент заслона $\delta$ практически не увеличивается и удельные притоки к борту $q_б$ будут равны

для $\frac{\sigma}{h_с} = 2$ $\quad q_б = 0{,}08q,$ (5.5)

для $\frac{\sigma}{h_с} = 5$ $\quad q_б = 0{,}19q.$ (5.6)

Этим же графиком можно пользоваться для определения расстояний между скважинами ряда, рядами скважин и рядом скважин и разрезной траншеей при заданном оптимальном коэффициенте заслона. Под оптимальным понимается такой коэффициент заслона, при котором удельные притоки к борту при работе скважин ниже критических, величина языков оплывания меньше допустимой, и борт устойчив. Он определяется при расчетах устойчивости борта.

5.6. Дебит водопонижающей скважины $Q_c$, когда совместно работают разрезная траншея и ряд водопонижающих скважин, определяют при $A \leqslant 8$ следующим образом: вначале рассчитывается по формуле (5.2) удельный приток к борту $q$ для времени $t$ при условии работы только разрезной траншеи, а затем, используя графики на рис.5.3. для определения $q_c$ и рис.5.4, находят $Q_c$.

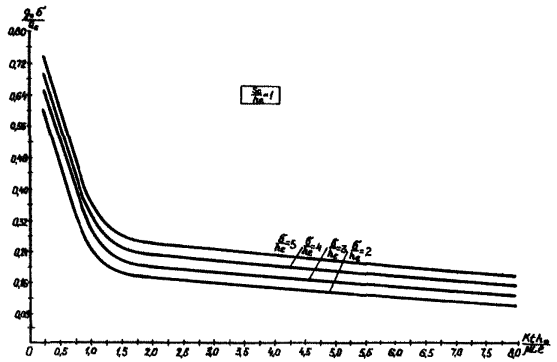

Рис.5.4. График расчета дебита водопонижающей скважины рабочего борта разреза (работают разрезная траншея и ряд водопонижающих скважин)

При изменении A от 8 до 76 дебит водопонижающей скважины уменьшается крайне медленно и для практических целей (с точностью порядка 20%) для его расчета можно пользоваться зависимостями:

для $\frac{\sigma}{he} = 2$ $\quad Q_c = 10\, q_c \sigma$,

для $\frac{\sigma}{he} = 5$ $\quad Q_c = 5{,}6\, q_c \sigma$. (5.7)

5.7. Расчет уровней между рядами водопонижающих скважин и рабочим бортом разреза осуществляется по графикам, приве-

денным на рис.5.5. и рис.5.6. при $A \leq 8$. Расстояние $x$ при этом берется от нижней бровки основного уступа.

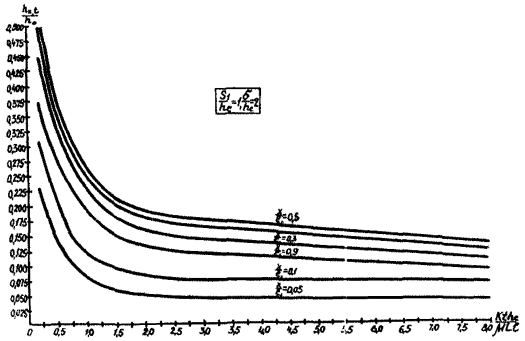

Рис.5.5. График расчета уровней между рядом водопонижающих скважин и рабочим бортом разреза

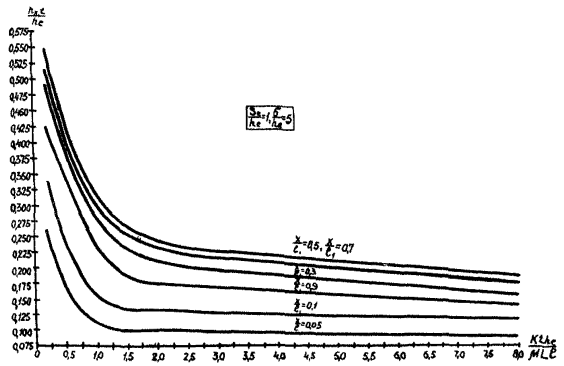

Рис.5.6. График расчета уровней между рядом водопонижающих скважин и рабочим бортом разреза

При изменении А в пределах от 8 до 76 с точностью порядка 20% при расчете уровней подземных вод $h_{x,t}$ (где $h_{x,t}$ - искомый уровень на расстоянии $x$ от нижней бровки уступа для времени $t$) для $\frac{\sigma}{h_e} = 2$ можно пользоваться следующими зависимостями:

для $\frac{x}{l_1} = 0{,}05$, $h_{x,t} = 0{,}041\,h_e - 0{,}00015\frac{\kappa t h_e^2}{\mu L l_1^2}$,

для $\frac{x}{l_1} = 0{,}3$, $h_{x,t} = 0{,}104 h_e - 0{,}00044\frac{\kappa t h_e^2}{\mu L l_1^2}$ (5.8)

для $\frac{x}{l_1} = 0{,}7$, $h_{x,t} = 0{,}128 h_e - 0{,}00044\frac{\kappa t h_e^2}{\mu L l_1^2}$,

для $\frac{x}{l_1} = 0{,}9$, $h_{x,t} = 0{,}095 h_e - 0{,}00044\frac{\kappa t h_e^2}{\mu L l_1^2}$.

Если же $\frac{\sigma}{h_e} = 5$, то

для $\frac{x}{l_1} = 0{,}05$, $h_{x,t} = 0{,}09 h_e - 0{,}00015\frac{\kappa t h_e^2}{\mu L l_1^2}$,

для $\frac{x}{l_1} = 0{,}3$, $h_{x,t} = 0{,}160 h_e - 0{,}00044\frac{\kappa t h_e^2}{\mu L l_1^2}$ (5.9)

для $\frac{x}{l_1} = 0{,}7$, $h_{x,t} = 0{,}179 h_e - 0{,}00044\frac{\kappa t h_e^2}{\mu L l_1^2}$,

для $\frac{x}{l_1} = 0{,}9$, $h_{x,t} = 0{,}142 h_e - 0{,}000295\frac{\kappa t h_e^2}{\mu L l_1^2}$.

5.8. По этим же графикам и формулам производится расчет уровней между рядом водопонижающих скважин и нерабочим бортом разреза.

5.9. Величина скачка во взаимодействующих скважинах линейного ряда значительно меньше, чем в одиночных скважинах. В общем виде зависимость имеет следующий вид:

$$h'_B = \gamma \cdot h_B \qquad (5.10)$$

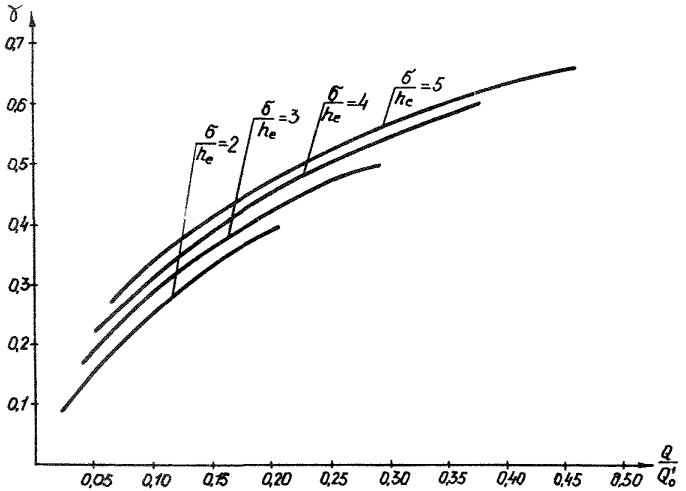


Рис.5.7. Зависимость между величиной гидравлического скачка в одиночной и взаимодействующей скважинах

Таблица 5.I

| | $G(f_o)$ при $f_o$, равном | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $n \cdot 10^{-4}$ | $n \cdot 10^{-3}$ | $n \cdot 10^{-2}$ | $n \cdot 10^{-1}$ | $n \cdot 1$ | $n \cdot 10$ | $n \cdot 10^{2}$ | $n \cdot 10^{3}$ | $n \cdot 10^{4}$ | $n \cdot 10^{5}$ | $n \cdot 10^{6}$ | $n \cdot 10^{7}$ | $n \cdot 10^{8}$ | $n \cdot 10^{9}$ | $n \cdot 10^{10}$ | $n \cdot 10^{11}$ |
| I | 56,9 | I8,34 | 6,I3 | 2,25 | 0,985 | 0,534 | 0,346 | 0,25I | 0,I964 | 0,I608 | 0,I360 | 0,II77 | 0,I037 | 0,0927 | 0,0838 | 0,0764 |
| 2 | 40,4 | I3,II | 4,47 | I,7I6 | 0,803 | 0,46I | 0,3II | 0,232 | 0,I8[illegible]I | 0,I524 | 0,I299 | 0,II3I | 0,I002 | 0,0899 | 0,08I4 | 0,0744 |
| 3 | 33,I | I0,79 | 3,74 | I,477 | 0,7I9 | 0,427 | 0,294 | 0,222 | 0,I777 | 0,I479 | 0,I266 | 0,II06 | 0,0982 | 0,0883 | 0,080I | 0,0733 |
| 4 | 28,7 | 9,4I | 3,30 | I,333 | 0,667 | 0,405 | 0,283 | 0,2I5 | 0,I733 | 0,I449 | 0,I244 | 0,I089 | 0,0968 | 0,0872 | 0,0792 | 0,0726 |
| 5 | 25,7 | 8,47 | 3,00 | I,234 | 0,630 | 0,389 | 0,274 | 0,2I0 | 0,I70I | 0,I426 | 0,I227 | 0,I076 | 0,0958 | 0,0864 | 0,0785 | 0,0720 |
| 6 | 23,5 | 7,77 | 2,78 | I,I60 | 0,602 | 0,377 | 0,268 | 0,206 | 0,I675 | 0,I408 | 0,I2I3 | 0,I066 | 0,0950 | 0,0857 | 0,0779 | 0,07I6 |
| 7 | 2I,8 | 7,23 | 2,60 | I,I03 | 0,580 | 0,367 | 0,263 | 0,203 | 0,I654 | 0,I393 | 0,I202 | 0,I057 | 0,0943 | 0,085I | 0,0774 | 0,07I2 |
| 8 | 20,4 | 6,79 | 2,46 | I,057 | 0,562 | 0,359 | 0,256 | 0,200 | 0,I636 | 0,I380 | 0,II92 | 0,I049 | 0,0937 | 0,0846 | 0,0770 | 0,0709 |
| 9 | I9,3 | 6,43 | 2,36 | I,0I8 | 0,547 | 0,352 | 0,254 | 0,I98 | 0,I62I | 0,I369 | 0,II84 | 0,I043 | 0,0932 | 0,0842 | 0,0767 | 0,0706 |
| I0 | I8,3 | 6,I3 | 2,25 | 0,985 | 0,534 | 0,346 | 0,25I | 0,I96 | 0,I608 | 0,I360 | 0,II77 | 0,I027 | 0,0927 | 0,0838 | 0,0764 | 0,0704 |

где $h'_в$ и $h_в$ – величина скачка соответственно во взаимодействующей и одиночной скважинах;

$\gamma$ – безразмерный коэффициент, определяемый по графику на рис.5.7.

При использовании этого графика дебит взаимодействующей скважины определяется либо по графику на рис.5.I., либо по графику на рис.5.4. Дебит одиночной скважины $Q_o$ для неограниченного пласта в любой момент рассчитывается по формуле / 59 /

$$Q_o = \pi K (h_e^2 - h_o^2) G(f_o), \qquad (5.II)$$

где $G(f_o)$ – функция, зависящая от $f_o = \frac{at}{r_o^2}$ .

Значения данной функции приведены в табл.5.I.

5.I0. Приведенные графические зависимости могут быть использованы также в случае, когда осушение разрезов осуществляется водопонижающими скважинами, сооружаемыми для откачки воды из трещиноватых пород и углей. Задачами осушения при этом являются: охрана подземных вод от истощения и загрязнения, уменьшение притоков воды в разрезную траншею, снижение влажности угля с целью предотвращения его смерзаемости.

## 6. РАСЧЕТ ПРИТОКОВ ВОДЫ К ВОДОПОНИЖАЮЩИМ СКВАЖИНАМ В СЛОЖНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

### 6.I. Расчет притоков воды к скважинам, работающим в двухслойном пласте

6.I.I. Понижение уровня в любой точке, расположенной на расстоянии $r$ от скважины, из которой производится откачка воды из нижнего пласта с постоянным дебитом (верхний пласт представлен единым комплексом менее проницаемых пород, фильтрация в котором происходит только по вертикали), определяется по формулам / II /

для верхнего пласта

$$S_B = \frac{Q}{4\pi km}\left[-E_i(-\alpha) - J(\alpha, \frac{r}{B})\right], \qquad (6.I)$$

для нижнего пласта

$$S_H = \frac{Q}{4\pi km}\left[-E_i(-\alpha) - \left(1 - \frac{h_e - S_0}{h_{cp}}\right) J(\alpha, \frac{r}{B})\right], \qquad (6.2)$$

где $\alpha = \frac{r^2}{4a^{**}t}$; $a^{**} = \frac{km}{\mu_0 + \mu^*}$;

$$B = \sqrt{\frac{km h_{cp} \mu_0}{k_0(\mu_0 + \mu^*)}}; \quad h_{cp} = (0{,}6 \div 0{,}8) h_e;$$

$[-E_i(-\alpha)]$ - функция, определяемая по табл.6.I. / 99 /;
$J(\alpha, \frac{r}{B})$ - функция, рассчитываемая по табл.6.2. /II/.

Второй член в правой части формулы (6.2) быстро уменьшается во времени, и тогда формула по внешнему виду становится похожей на формулу для расчета понижения уровня в изолированном напорном пласте. Это происходит при выполнении соотношения

$$t \geq (3 \div 5) \frac{\mu_0 h_{cp}}{k_0}. \qquad (6.3)$$

Однако по содержанию формулы будут различны, так как в одной из них коэффициент пьезопроводности рассчитывается по зависимости

Таблица 6.I

Таблица функции $-E_i(-x)$

| $x$ | $-E_i(-x)$ | $x$ | $-E_i(-x)$ | $x$ | $-E_i(-x)$ | $x$ | $-E_i(-x)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,00 | $\infty$ | 0,2I | I,I829 | 0,42 | 0,6700 | I,70 | 0,0747 |
| 0,0I | 4,0379 | 0,22 | I,I454 | 0,43 | 0,6546 | I,80 | 0,0647 |
| 0,02 | 3,3547 | 0,23 | I,I099 | 0,44 | 0,6397 | I,90 | 0,0562 |
| 0,03 | 2,959I | 0,24 | I,0762 | 0,45 | 0,6253 | 2,00 | 0,0489 |
| 0,04 | 2,68I3 | 0,25 | I,0443 | 0,46 | 0,6II4 | 2,50 | 0,0249 |
| 0,05 | 2,4679 | 0,26 | I,0I39 | 0,47 | 0,5979 | 3,00 | 0,0I3I |
| 0,06 | 2,2953 | 0,27 | 0,9849 | 0,48 | 0,5848 | 3,50 | 0,0070 |
| 0,07 | 2,I508 | 0,28 | 0,9573 | 0,49 | 0,572I | 4,00 | 0,0038 |
| 0,08 | 2,0269 | 0,29 | 0,9309 | 0,50 | 0,5598 | 4,50 | 0,002I |
| 0,09 | I,9I87 | 0,30 | 0,9057 | 0,55 | 0,5034 | 5,00 | 0,00II |
| 0,I0 | I,8229 | 0,3I | 0,88I5 | 0,60 | 0,4544 | | |
| 0,II | I,737I | 0,32 | 0,8583 | 0,70 | 0,3738 | | |
| 0,I2 | I,6595 | 0,33 | 0,836I | 0,80 | 0,3I06 | | |
| 0,I3 | I,5889 | 0,34 | 0,8I47 | 0,90 | 0,2602 | | |
| 0,I4 | I,524I | 0,35 | 0,7942 | I,00 | 0,2I94 | | |
| 0,I5 | I,4645 | 0,36 | 0,7745 | I,I0 | 0,I860 | | |
| 0,I6 | I,4092 | 0,37 | 0,7554 | I,20 | 0,I584 | | |
| 0,I7 | I,3578 | 0,38 | 0,737I | I,30 | 0,I355 | | |
| 0,I8 | I,3098 | 0,39 | 0,7I94 | I,40 | 0,II62 | | |
| 0,I9 | I,2649 | 0,40 | 0,7024 | I,50 | 0,I000 | | |
| 0,20 | I,2227 | 0,4I | 0,6859 | I,60 | 0,0863 | | |

Таблица 6.2

Значение функции $J(\alpha, \frac{z}{\beta})$

| $\alpha$ | $\frac{z}{\beta}$ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $10^{-4}$ | $10^{-3}$ | $5\cdot10^{-3}$ | $10^{-2}$ | $3\cdot10^{-2}$ | $5.10^{-2}$ | $10^{-1}$ | 0,3 | 0,5 | 1 |
| $10^{-6}$ | 13,208 | 10,518 | 0,223 | 0 | | | | | | |
| $10^{-5}$ | 10,933 | 10,690 | 6,248 | 1,354 | 0 | | | | | |
| $10^{-4}$ | 8,633 | 8,614 | 8,170 | 6,931 | 1,389 | 0,214 | 0 | | | |
| $10^{-3}$ | 6,332 | 6,330 | 6,300 | 6,200 | 5,245 | 3,781 | 0,976 | 0 | | |
| $10^{-2}$ | 4,038 | 4,037 | 4,036 | 4,030 | 3,989 | 3,850 | 3,342 | 0,889 | 0,202 | 0 |
| $10^{-1}$ | 1,823 | 1,823 | 1,823 | 1,823 | 1,820 | 1,816 | 1,796 | 1,594 | 1,268 | 0,513 |
| 0,2 | 1,223 | 1,223 | 1,223 | 1,223 | 1,222 | 1,221 | 1,215 | 1,152 | 1,039 | 0,665 |
| 0,3 | 0,906 | 0,906 | 0,906 | 0,906 | 0,905 | 0,905 | 0,902 | 0,874 | 0,820 | 0,620 |
| 0,5 | 0,540 | 0,540 | 0,540 | 0,540 | 0,540 | 0,540 | 0,538 | 0,538 | 0,532 | 0,450 |
| 0,7 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,373 | 0,370 | 0,362 | 0,328 |
| 1,2 | 0,158 | 0,158 | 0,158 | 0,158 | 0,158 | 0,158 | 0,158 | 0,156 | 0,156 | 0,149 |
| 1,6 | 0,0863 | 0,0863 | 0,0863 | 0,0863 | 0,0863 | 0,0863 | 0,0863 | 0,0858 | 0,0854 | 0,0829 |
| 2,0 | 0,0489 | 0,0489 | 0,0489 | 0,0489 | 0,0489 | 0,0489 | 0,0489 | 0,0487 | 0,0485 | 0,0475 |
| 2,4 | 0,0284 | 0,0284 | 0,0284 | 0,0284 | 0,0284 | 0,0284 | 0,0284 | 0,0283 | 0,0283 | 0,0278 |
| 2,8 | 0,0169 | 0,0169 | 0,0169 | 0,0169 | 0,0169 | 0,0169 | 0,0169 | 0,0168 | 0,0168 | 0,0166 |
| 3,0 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,0128 |
| 5,0 | 0,0011 | 0,0011 | 0,0011 | 0,0011 | 0,0011 | 0,0011 | 0,0011 | 0,0011 | 0,0011 | 0,0011 |

Окончание таблицы 6.2

| $\alpha$ | $\frac{z}{\beta}$ | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I,2 | I,4 | I,6 | I,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 3 | 4 | 5 |
| 0,I | 0,343 | 0,236 | 0,I70 | 0,I28 | 0,I0I | 0,08I4 | 0,0674 | 0,0568 | 0,0485 | 0,0209 | | |
| 0,2 | 0,540 | 0,423 | 0,320 | 0,243 | 0,I96 | 0,I65 | 0,I40 | 0,II7 | 0,097 | 0,0788 | 0,0427 | |
| 0,3 | 0,527 | 0,437 | 0,362 | 0,296 | 0,256 | 0,2I9 | 0,I89 | 0,I63 | 0,I34 | 0,I09 | 0,0588 | |
| 0,5 | 0,42I | 0,382 | 0,343 | 0,306 | 0,268 | 0,239 | 0,2I0 | 0,I84 | 0,I62 | 0,I43 | 0,0803 | 0,0505 |
| 0,7 | 0,320 | 0,295 | 0,278 | 0,257 | 0,23I | 0,I53 | 0,I44 | 0,I34 | 0,I26 | | 0,0878 | 0,0569 |
| I,2 | 0,I45 | 0,I4I | 0,I36 | 0,I3I | 0,I25 | 0,II9 | | 0,I08 | 0,I02 | 0,0964 | 0,0707 | 0,05I2 |
| I,4 | 0,I08 | 0,I06 | 0,I03 | 0,0995 | 0,096I | 0,0925 | 0,0889 | 0,085I | 0,08I3 | 0,0775 | 0,0596 | 0,0450 |
| I,6 | 0,08I4 | 0,0798 | 0,0780 | 0,0759 | 0,0738 | 0,07I5 | 0,069I | 0,0666 | 0,0642 | 0,06I6 | 0,0492 | 0,0384 |
| I,8 | 0,06I6 | 0,0606 | 0,0594 | 0,058I | 0,0567 | 0,0552 | 0,0536 | 0,0520 | 0,0504 | 0,0486 | 0,040I | 0,0322 |
| 2,0 | 0,0469 | 0,0462 | 0,0454 | 0,0446 | 0,0437 | 0,0427 | 0,04I6 | 0,0406 | 0,0394 | 0,0384 | 0,0323 | 0,0266 |
| 2,2 | 0,0359 | 0,0354 | 0,0349 | 0,0343 | 0,0337 | 0,033I | 0,0324 | 0,03I6 | 0,0308 | 0,0300 | 0,0259 | 0,02I8 |
| 2,4 | 0,0276 | 0,0272 | 0,0269 | 0,0263 | 0,026I | 0,0256 | 0,0252 | 0,0247 | 0,024I | 0,0236 | 0,0206 | 0,0I77 |
| 2,6 | 0,02I2 | 0,02I0 | 0,0208 | 0,0205 | 0,0202 | 0,0I99 | 0,0I96 | 0,0I93 | 0,0I89 | 0,0I85 | 0,0I64 | 0,0I43 |
| 2,8 | 0,0I64 | 0,0I63 | 0,0I6I | 0,0I60 | 0,0I58 | 0,0I55 | 0,0I53 | 0,0I5I | 0,0I48 | 0,0I45 | 0,0I3I | 0,0II5 |
| 3,0 | 0,0I28 | 0,0I28 | 0,0I26 | 0,0I24 | 0,0I23 | 0,0I2I | 0,0I20 | 0,0II8 | 0,0II6 | 0,0II4 | 0,0I04 | 0,0092 |
| 4,0 | 0,0037 | 0,0037 | 0,0037 | 0,0037 | 0,0036 | 0,0036 | 0,0036 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0033 | 0,0030 |
| 5,0 | 0,00II | 0,00II | 0,00II | 0,00II | 0,00II | 0,00II | 0,00II | 0,00II | 0,00II | 0,00II | 0,00I0 | 0,00I0 |

$a^{**} = \frac{K m}{\mu_0^* + \mu^*}$ , а в другой - по выражению $a^* = \frac{K m}{\mu^*}$

6.I.2. При откачке воды из скважины с постоянным дебитом из напорного пласта, подстилаемого слабопроницаемыми породами, понижение уровня в хорошо проницаемых отложениях при $t \leq 0{,}1 \frac{m_1^2}{a_*}$ определяется по формуле / 66, I00 /

$$S = \frac{Q}{4\pi K m} H(U, \beta), \qquad (6.4)$$

где $U = \frac{r^2}{4 a^* t}$ ; $\beta = \frac{r K_0 \sqrt{\frac{a^*}{a_*}}}{4 K m}$ .

$H(U, \beta)$ - функция, значение которой определяется по табл.6.3.

По прошествии времени $t \geq 10 \frac{m_1^2}{a_*}$ понижение уровня рассчитывается по зависимости / 66, 99 /

$$S = \frac{Q}{4\pi K m} \left[ -E_i(-\alpha) \right], \qquad (6.5)$$

где $\alpha = \frac{r^2}{4 a^{**} t}$ ; $a^{**} = \frac{K m}{\mu^* + \mu_0^*}$ .

Функция $\left[ -E_i(-\alpha) \right]$ определяется по табл.6.I.

Формула (6.5) по внешнему виду является аналогичной формуле при расчете понижения для условий изолированного напорного пласта. Разница между ними заключается в различных значениях коэффициента пьезопроводности: в одном случае $a^{**} = \frac{K m}{\mu^* + \mu_0^*}$, в другом - $a^* = \frac{K m}{\mu^*}$ .

6.I.3. При действии линейного ряда скважин в условиях мульдообразного залегания напорного пласта, перекрытого водоупорными породами, расчет понижений при одинаковом дебите каждой скважины $Q_c$ осуществляется по зависимостям / I3, 78 / на линии ряда

$$S_\Phi = \frac{Q_c}{\sigma} \left[ \frac{L_0}{2 K m} + \frac{(t - t_0)(1 - \gamma)}{\mu^* L_0 (2 - \gamma) \frac{1 - 2\gamma}{1 - \gamma} + 2 \mu^* m_K} \right], \qquad (6.6)$$

Таблица 6.3

Значения функции $H(u, \beta)$

| $u$ | $\beta$ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $1 \cdot 10^{-3}$ | $5 \cdot 10^{-3}$ | $1 \cdot 10^{-2}$ | $5 \cdot 10^{-2}$ | $1 \cdot 10^{-1}$ | $2 \cdot 10^{-1}$ | $5 \cdot 10^{-1}$ | 1 | 2 | 5 |
| $2 \cdot 10^{-6}$ | 11,536 | 10,221 | 9,568 | 7,991 | 7,302 | 6,613 | 5,701 | 5,014 | 4,331 | 3,441 |
| $4 \cdot 10^{-6}$ | 11,057 | 9,846 | 9,205 | 7,642 | 6,995 | 6,226 | 5,357 | 4,672 | 3,992 | 3,111 |
| $6 \cdot 10^{-6}$ | 10,762 | 9,615 | 8,989 | 7,437 | 6,751 | 6,064 | 5,156 | 4,472 | 3,795 | 2,920 |
| $8 \cdot 10^{-6}$ | 10,546 | 9,450 | 8,835 | 7,290 | 6,607 | 5,920 | 5,013 | 4,331 | 3,656 | 2,786 |
| $2 \cdot 10^{-5}$ | 9,820 | 8,904 | 8,332 | 6,824 | 6,145 | 5,462 | 4,560 | 3,882 | 3,216 | 2,366 |
| $4 \cdot 10^{-5}$ | 9,236 | 8,465 | 7,835 | 6,468 | 5,795 | 5,116 | 4,219 | 3,547 | 2,889 | 2,059 |
| $6 \cdot 10^{-5}$ | 8,882 | 8,194 | 7,694 | 6,258 | 5,590 | 4,913 | 4,020 | 3,352 | 2,700 | 1,884 |
| $8 \cdot 10^{-5}$ | 8,627 | 7,996 | 7,519 | 6,108 | 5,443 | 4,770 | 3,879 | 3,214 | 2,568 | 1,763 |
| $2 \cdot 10^{-4}$ | 7,790 | 7,328 | 6,932 | 5,623 | 4,975 | 4,311 | 3,433 | 2,782 | 2,155 | 1,394 |
| $4 \cdot 10^{-4}$ | 7,139 | 6,784 | 6,454 | 5,246 | 4,616 | 3,964 | 3,100 | 2,462 | 1,854 | 1,135 |
| $6 \cdot 10^{-4}$ | 6,763 | 6,452 | 6,160 | 5,020 | 4,404 | 3,761 | 2,906 | 2,278 | 1,685 | 0,994 |
| $8 \cdot 10^{-4}$ | 6,477 | 6,210 | 5,944 | 4,857 | 4,252 | 3,617 | 2,770 | 2,149 | 1,567 | 0,898 |

Окончание таблицы 6.3

| $\alpha$ | $\beta$ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $1\cdot10^{-3}$ | $5\cdot10^{-3}$ | $1\cdot10^{-2}$ | $5\cdot10^{-2}$ | $1\cdot10^{-1}$ | $2\cdot10^{-1}$ | $5\cdot10^{-1}$ | 1 | 2 | 5 |
| $2\cdot10^{-3}$ | 5,590 | 5,412 | 5,220 | 4,318 | 3,760 | 3,155 | 2,342 | 1,752 | 1,212 | 0,642 |
| $4\cdot10^{-3}$ | 4,914 | 4,784 | 4,640 | 3,886 | 3,375 | 2,803 | 2,025 | 1,466 | 0,966 | 0,450 |
| $6\cdot10^{-3}$ | 4,516 | 4,410 | 4,289 | 3,621 | 3,144 | 2,596 | 1,844 | 1,305 | 0,833 | 0,362 |
| $8\cdot10^{-3}$ | 4,235 | 4,142 | 4,036 | 3,428 | 2,976 | 2,448 | 1,717 | 1,195 | 0,744 | 0,306 |
| $2\ 10^{-2}$ | 3,340 | 3,282 | 3,213 | 2,783 | 2,423 | 1,971 | 1,324 | 0,868 | 0,491 | 0,166 |
| $4\cdot10^{-2}$ | 2,671 | 2,632 | 2,584 | 2,269 | 1,984 | 1,606 | 1,042 | 0,647 | 0,336 | 0,093 |
| $6\cdot10^{-2}$ | 2,287 | 2,256 | 2,219 | 1,963 | 1,722 | 1,391 | 0,884 | 0,530 | 0,259 | 0,063 |
| $8\cdot10^{-2}$ | 2,020 | 1,994 | 1,963 | 1,745 | 1,534 | 1,238 | 0,776 | 0,453 | 0,212 | 0,046 |
| $2\cdot10^{-1}$ | 1,219 | 1,206 | 1,190 | 1,071 | 0,950 | 0,767 | 0,460 | 0,245 | 0,097 | 0,014 |
| $4\cdot10^{-1}$ | 0,701 | 0,694 | 0,685 | 0,622 | 0,554 | 0,448 | 0,262 | 0,130 | 0,044 | 0,004 |
| $6\cdot10^{-1}$ | 0,453 | 0,449 | 0,444 | 0,404 | 0,361 | 0,293 | 0,169 | 0,080 | 0,025 | 0,002 |
| $8\cdot10^{-1}$ | 0,310 | 0,307 | 0,304 | 0,277 | 0,248 | 0,201 | 0,115 | 0,053 | 0,015 | 0,001 |
| 1 | 0,219 | 0,217 | 0,214 | 0,196 | 0,176 | 0,143 | 0,081 | 0,037 | 0,010 | 0,0005 |
| 2 | 0,049 | 0,048 | 0,048 | 0,044 | 0,040 | 0,032 | 0,018 | 0,008 | 0,002 | |
| 3 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,012 | 0,011 | 0,009 | 0,005 | 0,002 | 0,0004 | |
| 5 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,0009 | 0,0008 | 0,0004 | 0,0002 | | |

в скважине

$$S_c = S_\phi + \frac{Q_c}{2\pi k m} \ln \frac{\sigma}{\pi d_0}, \qquad (6.7)$$

на контуре пласта

$$S_{конт} = \frac{S_\phi - Q_c \frac{L_0}{2\sigma k m}}{1-\gamma}, \qquad (6.8)$$

где $L_0$ – расстояние от выхода пласта на поверхность до его средней точки (в месте расположения ряда скважин);

$m_к$ – ширина горизонтального сечения пласта на его контуре;

$$\gamma = \frac{Q_c}{2\pi k m \operatorname{tg}\alpha}; \qquad t_0 = \frac{L_0^2}{\pi a^*};$$

$\alpha$ – угол наклона пласта.

6.2. Расчет притоков воды к скважинам в слоистой толще

6.2.I. Расчеты водопритоков к скважинам в слоистой толще основаны на предпосылке Мятиева-Гиринского, согласно которой движение подземных вод в хорошо проницаемых отложениях осуществляется в горизонтальном направлении, в слабопроницаемых слоях – в вертикальном направлении.

6.2.2. Общая формула для определения понижения уровня в любой точке неограниченного пласта при откачке из скважины с постоянным дебитом в слоистых толщах имеет вид / I0, II /

$$S = \frac{Q}{4\pi k m} R\left(\alpha, \frac{r}{B}\right), \qquad (6.9)$$

где $R\left(\alpha, \frac{r}{B}\right)$ – функция, определяемая по специальным таблицам / I00 /;

$\alpha = \frac{a^* t}{r^2}$; $B = \sqrt{\frac{a^*}{\beta}}$ – параметр перетекания.

При времени $t \geq (2 \div 2{,}5)\frac{r^2}{a^*}$ и $\frac{r}{B} \leq 0{,}2$ функция

$$R\left(\alpha, \frac{r}{B}\right) \approx 2K_0\left(\frac{r}{B}\right) - J_0\left(\frac{r}{B}\right)\left[E_i\left(-\frac{a^* t}{B^2}\right)\right], \qquad (6.10)$$

где $J_0\left(\frac{r}{B}\right)$ и $K_0\left(\frac{r}{B}\right)$ - функции Бесселя первого и второго рода от мнимого аргумента нулевого порядка, определяемые по таблицам 6.4. и 6.5. / II /;

$\left[-E_i\left(-\frac{a^*t}{B^2}\right)\right]$ - функция, определяемая по табл.6.I;

$\beta$ - параметр неустановившегося перетекания.

Таким образом, формула (6.9) будет выглядеть так

$$S = \frac{Q}{4\pi km}\left\{2K_0\left(\frac{r}{B}\right) - J_0\left(\frac{r}{B}\right)\left[-E_i\left(-\frac{a^*t}{B^2}\right)\right]\right\}. \qquad (6.II)$$

По прошествии времени $t \geq \frac{3B^2}{a^*}$ второй член в формуле (6.II) становится весьма малым, и величина понижения становится постоянной величиной

$$S = \frac{Q}{2\pi km} K_0\left(\frac{r}{B}\right). \qquad (6.I2)$$

При этом понижение в самой скважине определяется по зависимости

$$S_0 = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{1{,}12\,B}{r_0}. \qquad (6.I3)$$

Величины фильтрационных параметров в приведенных формулах определяются в зависимости от расчетной схемы фильтрации в слоистой толще и местоположения водоприемной части скважины.

6.2.3. При низких фильтрационных свойствах слабопроницаемого слоя принимается, что при откачке из скважины сохраняется постоянным напор в соседних водоносных горизонтах. В таком случае для условий пренебрежения упругими запасами слабопроницаемого слоя расчетные параметры пласта для некоторых расчетных схем фильтрации приведены в табл.6.6. / II /.

Приток воды из питающего пласта оценивается по формуле

$$Q_n = Q\left(1 - e^{-\gamma}\right), \qquad (6.I4)$$

где $\gamma = \frac{at}{B^2}$.

Таблица 6.4

Значения функции $J_0(x)$

| $x$ | $J_0(x)$ | $x$ | $J_0(x)$ | $x$ | $J_0(x)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,0 | I,0000 | 0,42 | I,0446 | 0,84 | I,I843 |
| 0,02 | I,000I | 0,44 | I,0490 | 0,86 | I,I936 |
| 0,04 | I,0004 | 0,46 | I,0560 | 0,88 | I,2032 |
| 0,06 | I,0009 | 0,48 | I,0609 | 0,90 | I,2I30 |
| 0,08 | I,00I6 | 0,50 | I,0635 | 0,92 | I,223I |
| 0,I0 | I,0025 | 0,52 | I,0687 | 0,94 | I,2334 |
| 0,I2 | I,0036 | 0,54 | I,0742 | 0,96 | I,2440 |
| 0,I4 | I,0049 | 0,56 | I,0799 | 0,98 | I,2549 |
| 0,I6 | I,0064 | 0,58 | I,0859 | I,00 | I,266I |
| 0,I8 | I,008I | 0,60 | I,0920 | I,I0 | I,3262 |
| 0,20 | I,0I00 | 0,62 | I,0984 | I,20 | I,3937 |
| 0,22 | I,0I2I | 0,64 | I,I050 | I,30 | I,4693 |
| 0,24 | I,0I44 | 0,66 | I,III9 | I,40 | I,5534 |
| 0,26 | I,0I70 | 0,68 | I,II90 | I,50 | I,6467 |
| 0,28 | I,0I97 | 0,70 | I,I263 | I,60 | I,7500 |
| 0,30 | I,0226 | 0,72 | I,I339 | I,70 | I,8640 |
| 0,32 | I,0258 | 0,74 | I,I4I7 | I,80 | I,9896 |
| 0,34 | I,029I | 0,76 | I,I497 | I,90 | 2,I277 |
| 0,36 | I,0326 | 0,78 | I,I580 | 2,00 | 2,2796 |
| 0,38 | I,0364 | 0,80 | I,I665 | | |
| 0,40 | I,0404 | 0,82 | I,I753 | | |

Таблица 6.5

Значения функции $K_0(x)$

| $x$ | $K_0(x)$ | $x$ | $K_0(x)$ | $x$ | $K_0(x)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,0 | $\infty$ | | | | |
| 0,I | 2,427I | 2,I | 0,I008 | 4,I | 0,0098 |
| 0,2 | I,7527 | 2,2 | 0,0893 | 4,2 | 0,0089 |
| 0,3 | I,3725 | 2,3 | 0,079I | 4,3 | 0,0080 |
| 0,4 | I,II45 | 2,4 | 0,0702 | 4,4 | 0,007I |
| 0,5 | 0,9244 | 2,5 | 0,0623 | 4,5 | 0,0064 |
| 0,6 | 0,7775 | 2,6 | 0,0554 | 4,6 | 0,0057 |
| 0,7 | 0,6605 | 2,7 | 0,0492 | 4,7 | 0,005I |
| 0,8 | 0,5653 | 2,8 | 0,0438 | 4,8 | 0,0046 |
| 0,9 | 0,4867 | 2,9 | 0,0390 | 4,9 | 0,004I |
| I,0 | 0,42I0 | 3,0 | 0,0347 | 5,0 | 0,0037 |
| I,I | 0,3656 | 3,I | 0,03I0 | 5,I | 0,0033 |
| I,2 | 0,3I85 | 3,2 | 0,0276 | 5,2 | 0,0030 |
| I,3 | 0,2782 | 3,3 | 0,0246 | 5,3 | 0,0027 |
| I,4 | 0,2437 | 3,4 | 0,0220 | 5,4 | 0,0024 |
| I,5 | 0,2I38 | 3,5 | 0,0I96 | 5,5 | 0,002I |
| I,6 | 0,I880 | 3,6 | 0,0I75 | 5,6 | 0,00I9 |
| I,7 | 0,I655 | 3,7 | 0,0I56 | 5,7 | 0,00I7 |
| I,8 | 0,I459 | 3,8 | 0,0I40 | 5,8 | 0,00I5 |
| I,9 | 0,I288 | 3,9 | 0,0I25 | 5,9 | 0,00I4 |
| 2,0 | 0,II39 | 4,0 | 0,0II2 | 6,0 | 0,00I2 |

Таблица 6.6

| Расчетная схема фильтрации | $K/m$ | $\alpha$ | $\beta$ | $B^2=\frac{\alpha}{\beta}$ | $He\,(he)$ | $S=He-H(r,t)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Откачка воды скважиной производится из верхнего безнапорного пласта. Слабопроницаемый слой расположен между верхним и нижним напорным пластами | $K_1 h_{ср}$ | $\frac{K_1 h_{ср}}{\mu}$ | $\frac{K_0}{\mu_1 m_0}$ | $\frac{K_1 h_{ср} m_0}{K_0}$ | $h_e$ | $S=h_e-h(r,t)$ |
| Откачка воды скважиной ведется из верхнего напорного пласта, отделяемого слабопроницаемым слоем от нижнего напорного пласта | $K_1 m_1$ | $\frac{K_1 m_1}{\mu_1^*}$ | $\frac{K_0}{\mu_1^* m_0}$ | $\frac{K_1 m_1 m_0}{K_0}$ | $He_1$ | $S=He_1-H_1(r,t)$ |
| Из нижнего напорного пласта откачивают воду скважиной. Слабопроницаемый слой расположен между нижним и верхним безнапорным пластами | $K_2 m_2$ | $\frac{K_2 m_2}{\mu_2^*}$ | $\frac{K_0}{\mu_2^* m_0}$ | $\frac{K_2 m_2 m_0}{K_0}$ | $He_2$ | $S=He_2-H_2(r,t)$ |
| Из нижнего напорного пласта осуществляется отбор воды скважиной. Слабопроницаемый слой залегает между нижним и верхним напорными пластами | $K_2 m_2$ | $\frac{K_2 m_2}{\mu_2^*}$ | $\frac{K_0}{\mu_2^* m_0}$ | $\frac{K_2 m_2 m_0}{K_0}$ | $He_2$ | $S=He_2-H_2(r,t)$ |
| Отбор воды производится из напорного пласта, в кровле и почве которого залегают слабопроницаемые слои. Верхний водоносный горизонт - безнапорный | $K_2 m_2$ | $\frac{K_2 m_2}{\mu_2^*}\frac{1}{\mu_2^*\left(\frac{K_0}{m_0}+\frac{K_{00}}{m_{00}}\right)}$ | | $\frac{K_2 m_2}{\frac{K_0}{m_0}+\frac{K_{00}}{m_{00}}}$ | $He_2$ | $S=He_2-H_2(r,t)$ |
| Между двумя слабопроницаемыми слоями расположен напорный пласт, из которого скважина откачивает воду. Верхний водоносный горизонт - напорный | $K_2 m_2$ | $\frac{K_2 m_2}{\mu_2^*}\frac{1}{\mu_2^*\left(\frac{K_0}{m_0}+\frac{K_{00}}{m_{00}}\right)}$ | | $\frac{K_2 m_2}{\frac{K_0}{m_0}+\frac{K_{00}}{m_{00}}}$ | $He_2$ | $S=He_2-H_2(r,t)$ |

В формулу (6.14) подставляются значения $Q$, $a$ и $B^2$, характеризующие пласт, из которого проводится откачка воды.

6.2.4. Если водоотбор осуществляется любым образом расположенными скважинами, то при тех же условиях понижение уровня определяется по формулам / 10, 11 /

при $t \geq (2 \div 2{,}5)\,\frac{r_{i\,макс}^2}{a^*}$ и $\frac{r_{i\,макс}}{B} \leq 0{,}2$

$$S = \frac{Q_{сум}}{2\pi km} \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \left\{ K_0\left(\frac{r_i}{B}\right) - \frac{1}{2} Y_0\left(\frac{r_i}{B}\right) \left[ -E_i\left(-\frac{a^* t}{B^2}\right) \right] \right\}, \quad (6.15)$$

при $t \geq \frac{3B^2}{a^*}$

$$S = \frac{Q_{сум}}{2\pi km} \sum_{i=1}^{n} \alpha_i K_0\left(\frac{r_i}{B}\right), \quad (6.16)$$

где $\alpha_i = \frac{Q_i}{Q_{сум}}$;

$Q_i = Q_1, Q_2, \cdots, Q_n$ – дебит каждой из взаимодействующих скважин;

$Q_{сум}$ – суммарный дебит всех скважин;

$r_i = r_1, r_2, \cdots, r_n$ – расстояние от скважин до точки, в которой определяется понижение.

6.2.5. Понижение уровня в любой точке неограниченного пласта $x$ при действии линейного ряда скважин определяется по формуле

$$S_{(x,t)} = \frac{q_0 x}{km} R\left(F_0, \frac{x}{B}\right), \quad (6.17)$$

где $q_0$ – удельный расход скважин вдоль линии, на которой они располагаются;

$F_0 = \frac{a^* t}{x^2}$; $B = \sqrt{\frac{a^*}{\beta}}$;

$R\left(F_0, \frac{x}{B}\right)$ – функция, определяемая по табл.6.7.

6.2.6. Наибольший интерес представляет решение задачи о работе скважины в слоистой толще, когда происходит перетекание через разделяющий два напорных водоносных пласта слабопроницаемый слой и учитываются его упругие запасы.

Таблица 6.7

Значения функции $R(F_o, \frac{x}{\beta})$

| $F_o$ | $\frac{x}{\beta}$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,06 | 0,08 | 0,I | 0,I5 | 0,2 | 0,5 |
| 0,082 | 0,00I | 0,00I | 0,00I | 0,00I | 0,00I | 0,00I |
| 0,I35 | 0,006 | 0,006 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| 0,223 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,0I9 | 0,0I9 |
| 0,368 | 0,052 | 0,052 | 0,05I | 0,05I | 0,05I | 0,048 |
| 0,606 | 0,I09 | 0,I08 | 0,I08 | 0,I08 | 0,I07 | 0,099 |
| I,000 | 0,I99 | 0,I98 | 0,I98 | 0,I97 | 0,I95 | 0,I74 |
| I,649 | 0,330 | 0,330 | 0,329 | 0,325 | 0,320 | 0,269 |
| 2,7I8 | 0,5I2 | 0,5I0 | 0,508 | 0,499 | 0,489 | 0,375 |
| 4,482 | 0,755 | 0,75I | 0,745 | 0,726 | 0,70I | 0,477 |
| 7,389 | I,072 | I,068 | I,052 | I,020 | 0,958 | 0,558 |
| I2,I82 | I,482 | I,472 | I,463 | I,403 | I,246 | 0,593 |
| 20,086 | 2,002 | I,958 | I,886 | I,737 | I,538 | 0,604 |
| 33,II5 | 2,649 | 2,560 | 2,452 | 2,I32 | I,789 | 0,606 |

Окончание таблицы 6.7

| $Fo$ | $\frac{x}{B}$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,06 | 0,08 | 0,I | 0,I5 | 0,2 | 0,5 |
| 54,598 | 3,433 | 3,255 | 3,048 | 2,480 | I,955 | 0,606 |
| 90,0I7 | 4,346 | 4,002 | 3,627 | 2,722 | 2,028 | 0,606 |
| I48,4I3 | 5,340 | 4,7I9 | 4,099 | 2,837 | 2,045 | 0,606 |
| 244,692 | 6,3I2 | 5,290 | 4,393 | 2,866 | 2,047 | 0,606 |
| 403,429 | 7,II3 | 5,625 | 4,502 | 2,869 | 2,047 | 0,606 |
| 665,I42 | 7,609 | 5,747 | 4,523 | 2,869 | 2,047 | 0,606 |
| I096,633 | 7,807 | 5,768 | 4,524 | 2,869 | 2,047 | 0,606 |
| I808,042 | 7,844 | 5,769 | 4,524 | 2,869 | 2,047 | 0,606 |
| 2980,096 | 7,845 | 5,769 | 4,524 | 2,869 | 2,047 | 0,606 |

Решение найдено / 66 / при условии, что откачка воды происходит из одного какого-либо пласта, но понижения уровней имеют место в обоих пластах.

При откачке воды из верхнего пласта I формулы имеют вид

$$S_1 = \frac{Q_1}{4\pi(K_1 m_1 + K_2 m_2)}\left[-Ei(-\alpha) + \nu_2 J(\alpha, \frac{r}{B})\right], \quad (6.18)$$

$$S_2 = \frac{Q_1}{4\pi(K_1 m_1 + K_2 m_2)}\left[-Ei(-\alpha) - J(\alpha, \frac{r}{B})\right]; \quad (6.19)$$

при откачке воды из нижнего пласта 2

$$S_1 = \frac{Q_2}{4\pi(K_1 m_1 + K_2 m_2)}\left[-Ei(-\alpha) - J(\alpha, \frac{r}{B})\right]; \quad (6.20)$$

$$S_2 = \frac{Q}{4\pi(K_1 m_1 + K_2 m_2)}\left[-Ei(-\alpha) + \nu_1 J(\alpha, \frac{r}{B})\right], \quad (6.21)$$

где $\alpha = \frac{r^2}{4a^{**}t}$; $\quad \frac{1}{a^{**}} = \left(\frac{1}{a_1^*} + \frac{1}{a_2^*}\right):2$;

$a_1^* = \frac{K_1 m_1}{\mu_1^* + \frac{1}{3}\mu_0^*}$; $\quad a_2^* = \frac{K_2 m_2}{\mu_2^* + \frac{1}{3}\mu_0^*}$;

$B_1 = \sqrt{\frac{m_1 K_1 m_0}{K_0(1+\nu_1)}}$ - при откачке воды из верхнего пласта;

$B_2 = \frac{m_2 K_2 m_0}{K_0(1+\nu_2)}$ - при водоотборе из нижнего пласта;

$\nu_1 = \frac{K_1 m_1}{K_2 m_2}$; $\quad \nu_2 = \frac{K_2 m_2}{K_1 m_1}$,

$-Ei(-\alpha)$ и $J(\alpha, \frac{r}{B})$ - функции, определяемые по таблицам 6.1. и 6.2.

Переток из нижнего пласта в верхний пласт при откачке из последнего вычисляется по зависимости

$$Q_{m_2} = Q_1 \frac{K_2 m_2}{K_1 m_1 + K_2 m_2}(1 - \ell^{-\delta_1}), \quad (6.22)$$

переток из верхнего в нижний пласт при водоотборе из последнего определяется по выражению

$$Q_{n_1} = Q_2 \frac{K_1 m_1}{K_1 m_1 + K_2 m_2} \left(1 - e^{-\beta_2}\right), \qquad (6.23)$$

где $\beta_1 = \frac{a_1^* t}{B_1^2}$; $\beta_2 = \frac{a_2^* t}{B_2^2}$.

## 6.3. Расчет водопритоков к скважинам при учете криогенных факторов

6.3.1. Угольные месторождения Иркутской, Читинской, Магаданской областей и Якутской АССР расположены в районах развития многолетнемерзлых пород, что предопределяет особый подход к расчету водопритоков к дренажным устройствам.

6.3.2. Отличительная особенность формирования притоков воды к скважинам в районах развития многолетнемерзлых пород состоит в следующем:

- толща многолетнемерзлых пород является практически водонепроницаемой, что приводит к заметному уменьшению инфильтрационного питания подземных вод и увеличению поверхностного стока;

- на месторождениях выделяют надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные подземные воды, условия питания и режим которых существенно отличаются от подземных вод, расположенных вне зоны многолетней мерзлоты;

- наличие в геологическом разрезе месторождения многолетнемерзлых пород накладывает специфику при расчетном обосновании водопритоков.

6.3.3. Среди надмерзлотных подземных вод выделяют водоносные горизонты / 90 / сезонно-талого слоя (воды слоя сезонного протаивания), сезонно-мерзлого слоя (частично промерзающие воды) и надмерзлотных таликов (непромерзающие воды). Питание надмерзлотных подземных вод осуществляется за счет атмосферных осадков и поверхностных вод. Вследствие того, что летом водоносные горизонты сезонно-талого слоя и сезонно-мерзлого слоя оттаивают, а в зимний период полностью или частично промерзают, расчеты по определению притоков воды к водопонижающим скважинам производятся по разным формулам /90/:

в летний период

$$Q = \frac{\pi k S (2H - S)}{\ln \frac{R}{r_0}}, \qquad (6.24)$$

в зимний период

$$Q = \frac{2\pi k M S}{\ln \frac{R}{r_0}}, \qquad (6.25)$$

где $H$ - мощность надмерзлотного водоносного горизонта, принимаемая постоянной на рассматриваемый период времени;

$M$ - мощность непромороженной части водоносного горизонта.

6.3.4. Приток воды к разрезу из надмерзлотных водоносных горизонтов осуществляется по расчетным формулам для условий безнапорного или напорного потока в зависимости от того, где находятся надмерзлотные воды по следующим схемам / 38, 90 /:

- в слое сезонного протаивания;
- в слое сезонного промерзания;
- ниже глубины сезонного промерзания.

6.3.5. Межмерзлотные воды приурочены к мерзлой зоне и движутся между промороженными породами и углями.

Расчет притоков воды к водопонижающим скважинам в этом случае производится по зависимости для напорного потока /90/:

при установившейся фильтрации по формуле (6.25);

при неустановившейся фильтрации по формуле

$$Q = \frac{2\pi k M S}{\ln \frac{1{,}5\sqrt{a^2 t}}{r}}, \qquad (6.26)$$

где $M$ - мощность межмерзлотных вод.

6.3.6. Подмерзлотные воды приурочены к коренным породам, залегающим под зоной многолетнемерзлых пород. Расчет воды к водопонижающим скважинам в условиях установившейся и неустановившейся фильтрации осуществляется соответственно по формулам (6.25), (6.26).

6.3.7. Расчет линейного ряда водопонижающих скважин для межмерзлотных и подмерзлотных водоносных горизонтов в неогра-

ниченных пластах производится так же, как и для водоносных горизонтов вне зоны многолетней мерзлоты.

6.3.8. При отработке месторождений открытым способом происходит оттаивание многолетнемерзлых пород. Примерный объем воды за счет оттаивания ледяных включений составляет / 38 /

$$V = \gamma_л i \rho , \qquad (6.27)$$

где $\gamma_л$ - объемный вес льда;

$i$ - средняя объемная льдистость многолетнемерзлой породы, которая определяется при геокриологических исследованиях;

$\rho$ - объем оттаивающей породы.

Приток воды в разрез за счет статических запасов подземных вод, представленных включениями льда, составит

$$Q = \frac{V}{T_{от.}} \qquad (6.28)$$

где $T_{от.}$ - время оттаивания массива мерзлых пород.

## 7. РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДРЕНАЖНЫХ СКВАЖИН

### 7.I. Установившаяся фильтрация

7.I.I. Горизонтальные скважины расположены перпендикулярно борту разреза.

Расчет системы параллельных взаимодействующих горизонтальных скважин, закладываемых нормально к линии простирания откоса борта разреза (рис.7.I) над водоупорным ложем, производится по формулам В.А.Мироненко / 24, 78 /.

Приток воды к горизонтальной скважине $Q_c$ определяется по зависимости

$$Q_c = Q_{вн}\left(1-\frac{2}{\pi}\arcsin\frac{1}{ch\frac{\pi\ell}{\sigma}}\right)=Q_{вн}\,f\left(\frac{\ell}{\sigma}\right), \quad (7.I)$$

где $\ell$ - длина скважины;

$\sigma$ - расстояние между скважинами;

$Q_{вн}$ - внешний приток к участку борта разреза шириной $\sigma$, определяемый по формуле

$$Q_{вн.} = \frac{q_0\sigma}{1-\frac{\sigma}{L}f_1\left(\frac{\ell}{\sigma}\right)}, \quad (7.2)$$

$q_0$ - расход, поступающий к откосу при отсутствии скважины;

$L$ - расстояние от разреза до области питания ( $L>\ell+\sigma$ );

$\delta=f\left(\frac{\ell}{\sigma}\right)$ - определяется по графику на рис.7.2;

$f_1\left(\frac{\ell}{\sigma}\right)$ - функция, вычисляемая по табл.7.I.

Таблица 7.I

| $\frac{\ell}{\sigma}$ | 0,25 | 0,50 | I,0 | I,5 | 2,0 | 2,5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $f_1\left(\frac{\ell}{\sigma}\right)$ | 0,08 | 0,29 | 0,78 | I,29 | I,78 | 2,28 |

Максимальное значение удельного расхода, высачивающегося посредине между горизонтальными скважинами, определяется по формуле

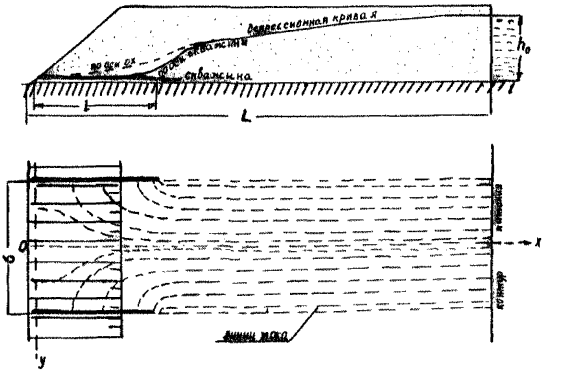


Рис.7.I. Схема к расчету горизонтальных дренажных скважин

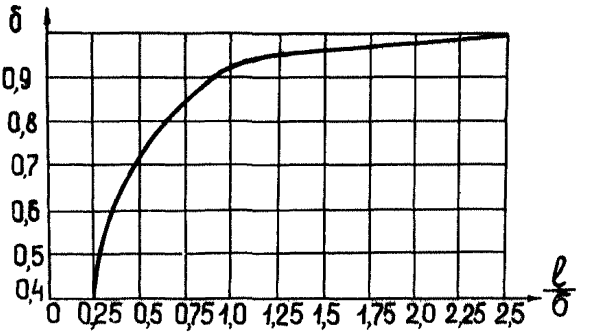


Рис.7.2. График зависимости $\delta$ от отношения $\frac{\ell}{\delta}$

$$q_в = \frac{Q_0}{\sigma} \cdot \frac{1}{ch\frac{\pi\ell}{\sigma}}, \qquad (7.3)$$

где $ch(z)$ - обозначение гиперболической функции.

Глубина потока по линии, проходящей посредине между скважинами, находится по зависимости

$$h_x = \sqrt{\frac{2Q_{вн}}{\pi K} arcsh \frac{sh\frac{\pi x}{\sigma}}{ch\frac{\pi\ell}{\sigma}}} . \qquad (7.4)$$

Коэффициент заслона $\delta_м$ вычисляется по формуле

$$\delta_м = 1 - \frac{q_в}{q_0} = 1 - \frac{1}{ch\frac{\pi\ell}{\sigma}} . \qquad (7.5)$$

По приведенным формулам могут рассчитываться и наклонные скважины, пройденные под углами менее $15^0$ к горизонту / 24 /.

7.I.2. Кустовое заложение горизонтальных скважин.

Для ряда схем кустового заложения скважин и нормального заложения скважин при отношении $\frac{\ell}{\sigma} = 4$ ( $\ell$ - длина скважин при нормальном заложении, $2\sigma$ - расстояние между скважинами) обеспечивается в условиях установившейся фильтрации полный перехват подземных вод в глубине массива.

При этом общий метраж бурения горизонтальных скважин составляет для I варианта заложения скважин -60%, II-66%, III-92% и IУ-80% по сравнению с нормальным заложением скважин при $\frac{\ell}{\sigma}=4$, принятым за I00% (рис.7.3).

Сравнение гидродинамических сеток движения подземных вод к кустам горизонтальных скважин с вариантом заложения одиночных скважин и скважин в кустах при $\frac{\ell}{\sigma}=4$ показывает, что в рассматриваемых случаях движение подземных вод на незначительном расстоянии от скважин является плоскопараллельным. Искривление линий токов и линий равных напоров наблюдается лишь в зоне непосредственного расположения скважин на расстояниях от борта, не превышающих $2{,}5\ell$.

Для оценки эффективности кустового заложения горизонтальных скважин предлагается следующая зависимость / 95 /

$$Q_к + Q_б = \frac{кH^2 \cdot 2\sigma}{2L\left(1 - \frac{\ell}{L} + \frac{\varepsilon\sigma}{L}\right)} , \qquad (7.6)$$

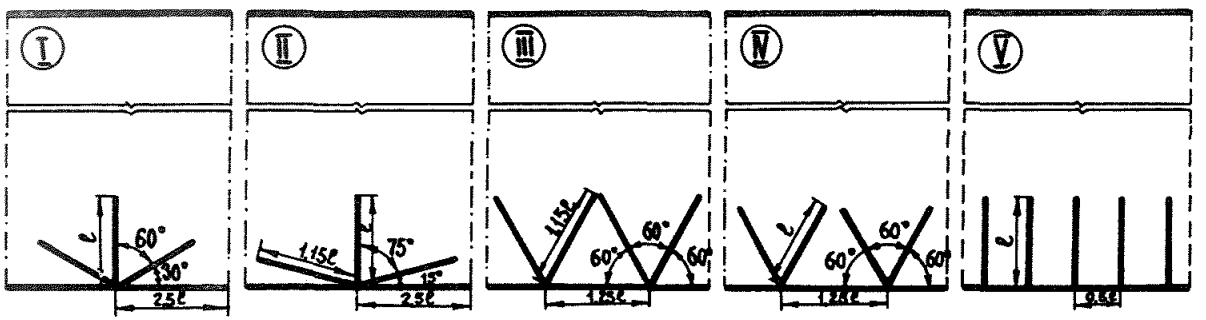


Рис.7.3. Кустовое заложение горизонтальных скважин

где $H$ - мощность водоносного горизонта на контуре питания, удаленном от откоса борта на расстояние $L$;

$\varepsilon$ - коэффициент, равный $\frac{\Delta L}{\sigma}$;

$\Delta L$ - фильтрационное сопротивление на участке пространственного движения потока $f$.

Приток к борту между кустами определяется по зависимости

$$Q_{\sigma} = \frac{K H^2 \cdot 2\sigma}{2L\left(1 - \frac{\rho}{L} + \frac{\varepsilon\sigma}{L}\right)} \cdot \frac{f}{1+f} \quad . \qquad (7.7)$$

Приток воды к кусту скважин - по формуле

$$Q_{к} = \frac{K H^2 \cdot 2\sigma}{2L\left(1 - \frac{\rho}{L} + \frac{\varepsilon\sigma}{L}\right)} \cdot \frac{f}{1+f} \quad , \qquad (7.8)$$

где $f = \frac{Q_{\sigma}}{Q_{к}}$.

Коэффициент заслона вычисляется по формуле

$$\delta = \frac{1}{1+f} \quad . \qquad (7.9)$$

Значения величин $2\sigma$, $\rho$, $\varepsilon$ и $\delta$ для рассматриваемых вариантов заложения кустов скважин приведены в табл.7.2.

Таблица 7.2

| Параметр | Кусты из трех скважин | | Кусты из двух скважин | |
|---|---|---|---|---|
| | варианты | | | |
| | I | II | III | IУ |
| Расстояние между кустами $2\sigma$ | $2{,}5\ell$ | $2{,}5\ell$ | $1{,}25\ell$ | $1{,}25\ell$ |
| Зона распространения пространственного движения $\rho$ | $2{,}25\ell$ | $2{,}50\ell$ | $2{,}25\ell$ | $2{,}11\ell$ |
| Коэффициент, учитывающий фильтрационное сопротивление, $\varepsilon$ | 1,34 | 1,565 | 2,27 | 2,17 |
| Коэффициент заслона $\delta$, % | 93,2 | 98,6 | 100,0 | 98,4 |

Решение справедливо для любых размеров длин горизонтальных скважин (при соблюдении схемы заложения куста и соотношения расстояния между кустами) и различных расстояний до контура питания.

7.2. Неустановившаяся фильтрация

Расчет эффективности действия горизонтальных дренажных скважин в условиях неустановившейся фильтрации в потоке подземных вод производится по безразмерным графикам, для различных отношений $\frac{\ell}{\sigma}$ в зависимости от переменной во времени функции $\Psi = \frac{t K H_e}{\mu \sigma^2}$ / 86, 95 /.

7.2.I. Вычисление притока подземных вод к горизонтальным скважинам $Q_c$ осуществляется по графику на рис.7.4., а притока воды к участку борта между горизонтальными скважинами $Q_o$ - по графику на рис.7.5.

На графиках приняты следующие условные обозначения: $t$ - время от начала действия горизонтальных скважин; $h_e$ - глубина потока подземных вод посредине между горизонтальными скважинами на расстоянии $\ell$ от основания откоса борта разреза; $\ell$ - длина горизонтальной скважины; $Q_н$ - приток воды к борту разреза на участке шириной $2\sigma$ до начала действия горизонтальных скважин.

7.2.2. Коэффициент заслона определяется по зависимости

$$\delta = \frac{Q_c}{Q_c + Q_o} . \qquad (7.10)$$

7.2.3. Оценка изменения уровней подземных вод во времени в процессе дренажа горизонтальными скважинами в точке по оси междренного сечения по линии забоев скважин ( $h_e, t$ ) производится для разных отношений $\frac{\ell}{\sigma}$ по графику на рис.7.6. в зависимости от функции понижения $\Psi = \frac{h_e - h_{et}}{h_e}$ . Глубина потока подземных вод определяется по формуле

$$h_{et} = h_e(1-\Psi). \qquad (7.11)$$

7.2.4. В случае значительной величины водопроводимости, больших значений длин скважин и расстояний между ними работа горизонтальных скважин может происходить и при полном заполнении их водой, то есть в условиях напорного режима внутри скважины.

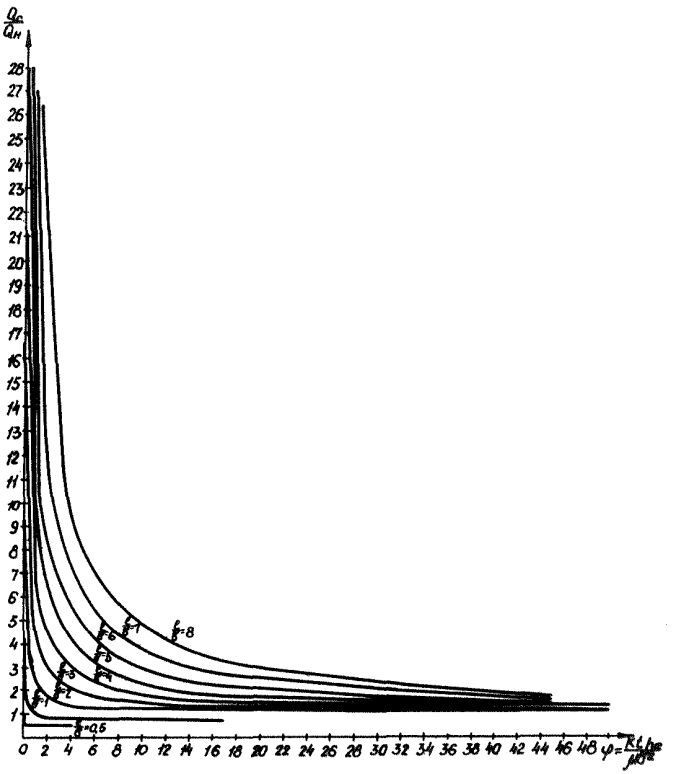


Рис.7.4. График расчета притока подземных вод к горизонтальным скважинам

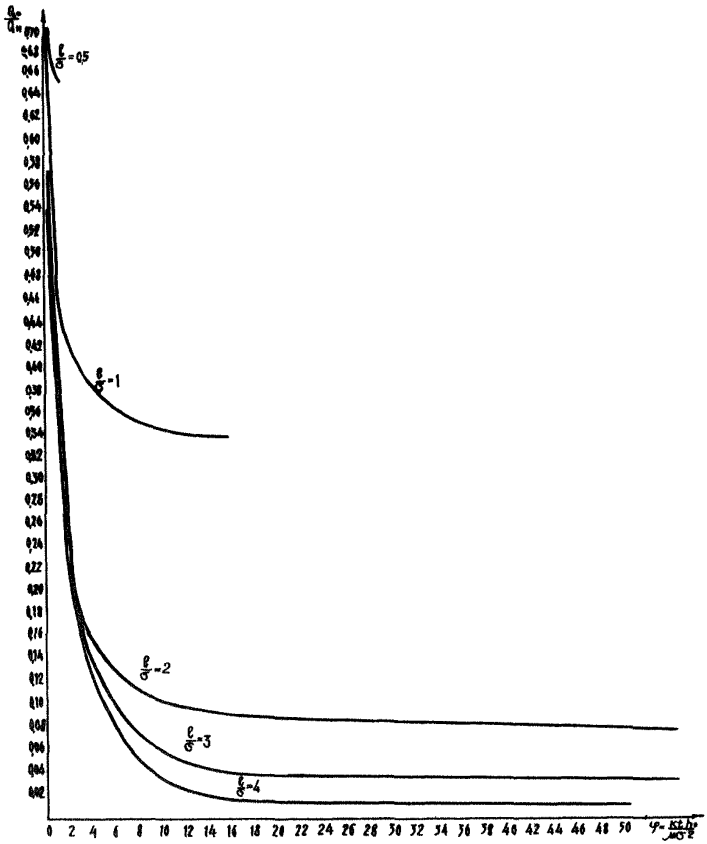


Рис.7.5. График расчета притоков подземных вод к участку борта разреза между горизонтальными скважинами

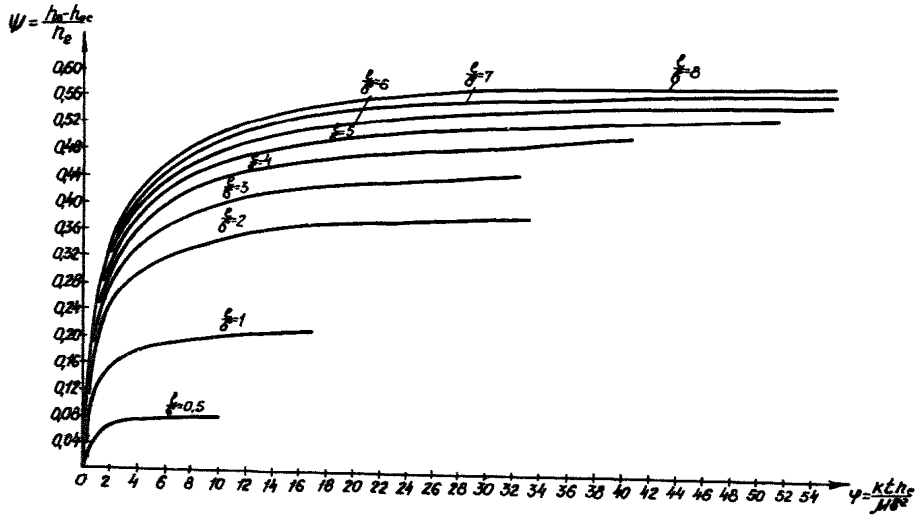


Рис.7.6. График для определения функции понижения $\psi$ по оси междренного пространства в точке по линии забоев скважин

Для обоснования системы горизонтальных скважин в этом случае осуществляют проверку пропускной способности и режима движения воды в скважине / 87 /.

Приток воды к скважине, при котором она будет работать при полном заполнении, определяется по формуле

$$Q = 0{,}35\, c d^{\frac{5}{2}} i^{\frac{1}{2}}, \qquad (7.12)$$

где $i$ - уклон скважины; $c = \frac{1}{n} R^{y}$, по Н.Н.Павловскому;

$n$ - коэффициент шероховатости дренажных труб, может быть принят равным в среднем 0,0125;

$y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}\,(\sqrt{n} - 0{,}1)$;

$R$ - гидравлический радиус, равный для труб с полным заполнением $\frac{d}{4}$.

Расчет движения воды в скважине можно оценить, если сравнить величину притока воды к скважине по формуле (7.12) и по графику на рис.7.4., с учетом поправки на неравномерность притока по длине скважины / I /.

Если пропускная способность скважины превышает максимальное значение величины притока к скважине, полученное по графику на рис.7.4. за расчетный период времени, то в этом случае скважина работает в безнапорном режиме.

Исследования показали / 87 /, что напорный режим движения внутри скважины при изменении ее диаметра от I00 до 400мм вызывает изменение притока воды к скважине на I0-I5% в начальный момент дренирования, продолжается недолго и не вносит существенного изменения в общую картину процесса фильтрации к горизонтальным скважинам, так как в конечной стадии дренирования приводит к такому же эффекту, что и при работе скважин с неполным заполнением. По мере уничтожения нависания над скважиной процесс осушения водоносного горизонта скважинами различного диаметра характеризуется практически одинаковой эффективностью.

7.2.5. При использовании горизонтальных дренажных скважин, длина которых более, чем в три раза превышает ширину заходки, в пологих пластах (месторождения П класса) вся вода в пределах заходки срабатывается полностью, а за ее пределами статические запасы подземных вод будут значительно уменьшены.

При отработке месторождений с наклоном пластов в сторону развития фронта горных работ остаточная обводненная мощность ниже отметки заложения горизонтальных скважин зависит от угла наклона пласта, ширины заходки и высоты уступа. Так для условий перспективных разрезов Канско-Ачинского бассейна (месторождения подкласса Па), характеризующихся углом наклона угольных пластов до $5^0$, шириной добычной заходки 60 м и высотой нижнего угольного уступа 30 м максимальная обводненная мощность в пределах заходки составит: при угле наклона $I^0$ - I,0 м, $3^0$ - 2,7м, $5^0$ - 5,2 м. Общий объем обводненного угля в заходке в рассматриваемых условиях будет при угле наклона $I^0$ - I,7%, $3^0$ - 5,0%.

Большое значение при сооружении горизонтальных скважин имеет продольный уклон пласта вдоль разрезной траншеи, обуславливающий естественные условия стока воды. При движении горных машин вдоль разрезной траншеи по восстанию пласта происходит самотечный отток воды от забоя и остаточная обводненная мощность, сформировавшаяся в пределах заходки после работы горизонтальных скважин, уменьшается за счет дренажа забоя пропорционально квадрату отношения максимальной и остаточной обводненной мощности. Вследствие этого как остаточный объем обводненного угля в пределах заходки, так и объем гравитационной воды в массиве угля будут сокращены до минимальных значений.

При перемещении экскаватора вдоль разрезной траншеи по падению пласта вода скапливается в забое. В данных условиях дренирование угольного пласта совместно с горизонтальными скважинами, сооружаемыми перпендикулярно борту разреза, должно осуществляться и наклонными по отношению к фронту ведения горных работ скважинами. В зависимости от наклона пласта по направлению развития фронта горных работ и вдоль разрезной траншеи определяется местоположение и длина наклонных скважин, обеспечивающих самотечный отвод воды и сокращающих до минимума остаточную обводненную мощность в пределах заходки.

В случае необходимости наклонные скважины следует применять и при перемещении добычного забоя вдоль разрезной траншеи по восстанию пласта.

## 8. РАСЧЕТ ВОДОПРИТОКОВ В ПОДЗЕМНЫЕ ДРЕНАЖНЫЕ ВЫРАБОТКИ

8.1. Водопритоки в подземную дренажную систему определяются дренирующим действием:

- собственно дренажных штреков;
- восстающих скважин, сквозных фильтров, наклонных или горизонтальных дренажных скважин подземной системы.

8.2. При отсутствии нависания над штреками расчет водопритоков в одиночные или параллельные штреки осуществляется по зависимостям для горизонтальных дрен (раздел 3). Критерием, когда нависанием можно пренебречь, служит соотношение $t > (10 \div 15)\frac{h_2^2}{a}$ / 24 /.

8.3. При последовательном включении в работу параллельных дренажных штреков (или штрека, параллельному борту разреза), когда к моменту включения очередной дрены фильтрация является установившейся, расчет уровней в междренном пространстве может производиться по графику на рис.8.1. /24,78/.

8.4. При расположении штреков по прямоугольной сетке определение уровней в центре дренажной панели производится по графику на рис.8.2. / 24, 78 /. На графике $h_0$ и $h_4$ – первоначальная и сниженная глубины в центре панели.

Расчет водопритоков в дренажные штреки из ограниченного штреками пространства определяется по зависимостям

для квадратной сетки штреков

$$Q = 2{,}7\,K\,h_4^2 , \qquad (8.1)$$

для прямоугольной сетки штреков

$$Q = 1{,}33\,K\,h_4^2 \cdot \frac{a^2+b^2}{ab} , \qquad (8.2)$$

где $a$ и $b$ – стороны сетки штреков.

8.5. Для полузамкнутых панелей дренажных штреков определение уровней осуществляется по графику на рис.8.3. Графиком следует пользоваться при соотношении сторон панели штреков $\frac{a}{b} = 0{,}5 \div 2$. Кривая I показывает изменение во времени обводненной мощности пласта $h_7$ по оси симметрии в центре панели, кривая 2 – в точке 2 в конце панели.

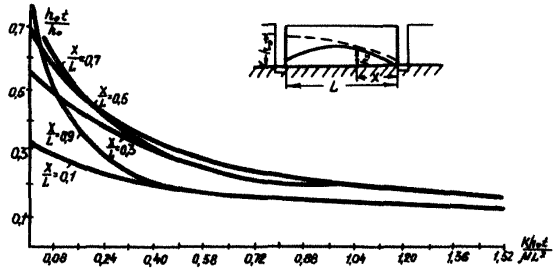


Рис.8.I. Расчет системы параллельных дрен, включаемых последовательно

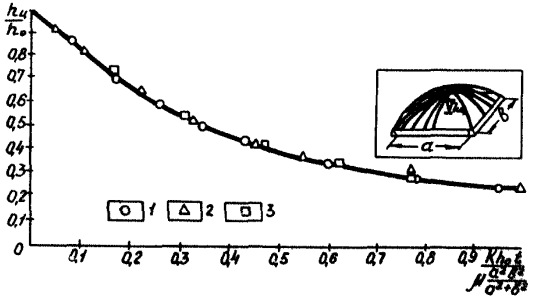


Рис.8.2. График относительного снижения уровня в центре участка, ограниченного штреками

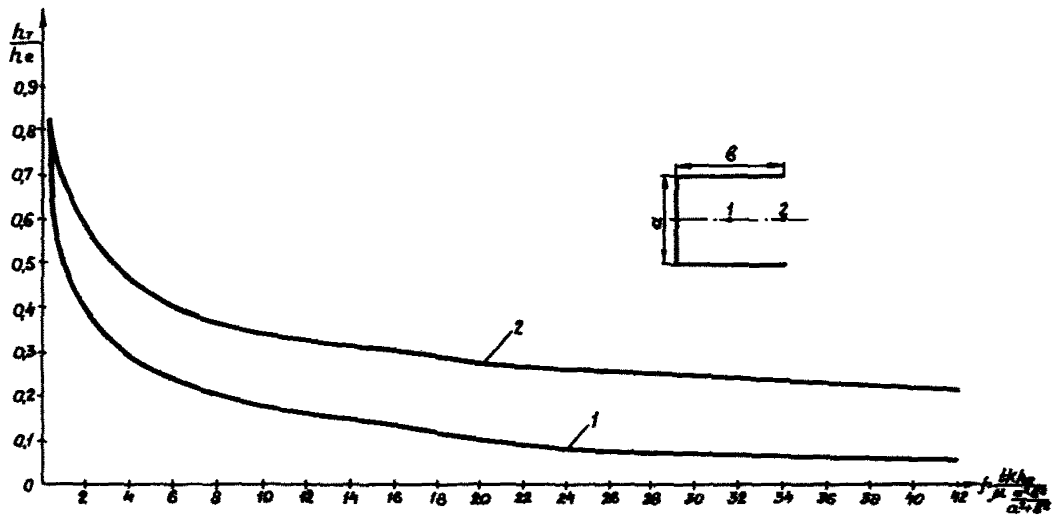


Рис.8.3. График изменения во времени уровней подземных вод в центре (I) и в конце по оси симметрии (2) полузамкнутых панелей штреков

Точность определения $h_T$ для заданного времени по графику колеблется в интервале ±5% от первоначальной мощности пласта $h_2$.

8.6. При коэффициентах фильтрации К < 0,5 м/сут. расчет водопритоков в штреки и определение депрессионной поверхности в зоне действия штреков должны проводиться при учете нависания, что может быть осуществлено с использованием метода математического моделирования.

Так например, при мощности водоносного пласта 60 м, величине напора 55 м и значении коэффициента фильтрации 0,18 м/сут. нависание над штреком срабатывается за 3,5 года; при той же мощности пласта, напоре 116 м и коэффициенте фильтрации 0,01 м/сут. время сработки нависания составит 48 лет / 35 /.

8.7. Если дренажный штрек пройден в слабопроницаемом слое, над которым залегает хорошо проницаемый пласт (рис.8.4а), то при отношении коэффициентов фильтрации $\frac{K_1}{K} > 20 \div 30$ дренирующее влияние штрека на верхний горизонт не сказывается / 78, 90 /.

Водопритоки к штреку при этом определяются по выражению

$$q = \frac{K H q}{0{,}37 \lg\left[\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{8}\cdot\frac{4e_1-a}{m}\right)\operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{8}\cdot\frac{a}{m}\right)\right]}, \quad (8.3)$$

для условий, представленных на рис.8.4б,

$$q = K\,\frac{(H_1-H_2)\frac{e}{m_2}+H_2-e-m_2}{0{,}37 \lg\left[\frac{4}{\pi}\,\frac{m_2}{a}\cos\frac{\pi(2e-m_2)}{2m_2}\right]}, \quad (8.4)$$

где $a$ – приведенный диаметр штрека.

8.8. Расчет сквозных фильтров или восстающих скважин производится по формулам для расчета притоков воды к водопонижающим скважинам (разделы 4 и 6).

8.9. Расчет горизонтальных дренажных скважин, сооружаемых из штреков (рис.8.5), рекомендуется проводить по зависимостям С.В.Кравчука / 45 /.

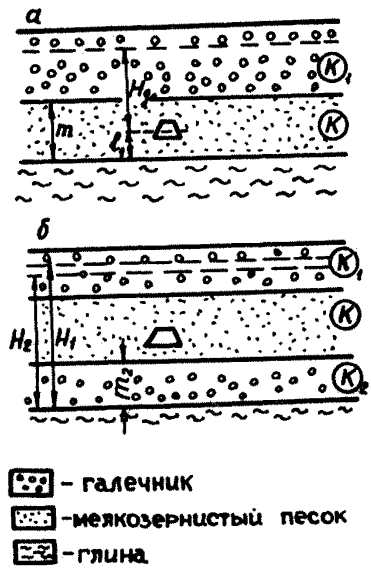


Рис.8.4. Схемы к расчету притоков к дренажному штреку

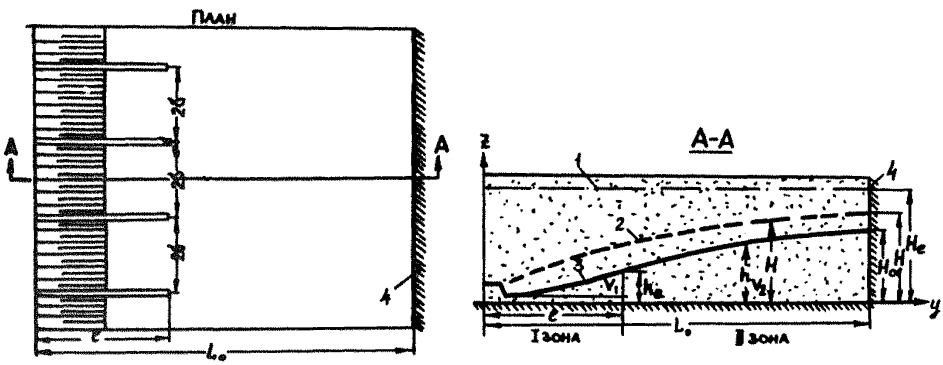


Рис.8.5. Схема к расчету горизонтальных скважин, сооружаемых из подземных дренажных выработок

На рис.8.5. приведены: I - естественный уровень; 2 - депрессионная поверхность на момент включения горизонтальных дренажных скважин в работу; 3 - то же, после включения скважин в работу; 4 - непроницаемый контур (половина расстояния между дренажными штреками).

Определение обводненной мощности на момент включения горизонтальных скважин в работу выполняется по формуле

$$H = \frac{H_0}{1 + \frac{4K \cdot 4t_0}{\pi \mu L_0^2}}, \qquad (8.5)$$

где $t_0$ - время снижения уровня на непроницаемом контуре на момент включения скважин в работу.

Мощность водоносного горизонта на расстоянии $\ell$ от штрека в сечении, проходящем посредине между скважинами, на момент времени $t - t_0$ после включения скважин в работу определяется по формуле

$$h_e = \frac{H}{\sqrt{\frac{L_0 - \ell}{2G} M + 1}\left[\frac{KH(t-t_0)}{f \mu G^2} + 1\right]}, \qquad (8.6)$$

где $f$ - функция, определяемая по графикам на рис.8.6.

Высота высачивания посредине между горизонтальными дренажными скважинами определяется по формуле

$$h_1 = \frac{\beta G}{1{,}5E}\left(\sqrt{1 + \frac{2{,}2DEh_e^2}{\beta G^2}} - 1\right). \qquad (8.7)$$

Положение депрессионной кривой за пределами заложения горизонтальных скважин ( $\ell \le y \le L_0$) определяется по зависимости

$$h = h_e \sqrt{\left[\frac{M(L_0 - \ell)}{2G} + 1\right] - \frac{M[(L_0 - \ell) - (y - \ell)]^2}{2G(L_0 - \ell)}}. \qquad (8.8)$$

Приток к горизонтальной скважине равен

$$Q_e = KC(h_e^2 + h_1^2). \qquad (8.9)$$

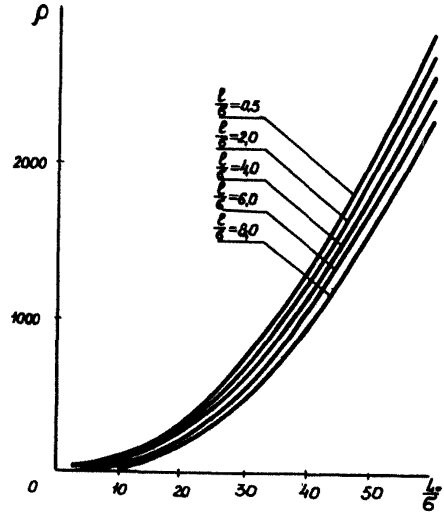


Рис.8.6. График зависимости $\rho$ от отношения $\frac{L_e}{\sigma}$ и $\frac{e}{\sigma}$

Приток к штреку на участке между горизонтальными скважинами равен

$$Q_e = \kappa (D h_2^2 + E h_1^2) \cdot \qquad (8.10)$$

Коэффициенты $\alpha$, $A$, $C$, $D$, $E$, $M$, $\beta$ в зависимости от отношения $\frac{e}{\sigma}$ определяются по табл.8.I.

Таблица 8.I

| $\frac{e}{\sigma}$ | $A$ | $C$ | $D$ | $E$ | $M$ | $\alpha$ | $\beta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,5 | 0,090 | 0,464 | I,386 | I,980 | I,850 | I,788 | I,577 |
| I,0 | 0,I80 | 0,778 | 0,502 | I,480 | I,280 | I,742 | I,595 |
| 2,0 | 0,360 | I,000 | 0,I08 | I,32I | I,I08 | I,594 | I,653 |
| 3,0 | 0,540 | 0,992 | 0,039 | I,I85 | I,03I | I,372 | I,73I |

Окончание таблицы 8.I

| $\frac{\ell}{\sigma}$ | $f$ | $C$ | $D$ | $E$ | $M$ | $\alpha$ | $\beta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4,0 | 0,685 | 0,912 | 0,022 | I,030 | 0,934 | I,I4I | I,804 |
| 5,0 | 0,760 | 0,838 | 0,0I3 | 0,9I9 | 0,85I | 0,995 | I,847 |
| 6,0 | 0,790 | 0,804 | 0,007 | 0,867 | 0,8II | 0,929 | I,866 |
| 7,0 | 0,805 | 0,785 | 0,003 | 0,839 | 0,788 | 0,895 | I,875 |
| 8,0 | 0,825 | 0,762 | 0,002 | 0,8I0 | 0,764 | 0,86I | I,882 |

8.I0. Расчет притоков воды к дренажным штрекам в случае сооружения из них горизонтальных скважин можно определять по формулам для горизонтальных дрен (раздел 3) при условии уменьшения значений $L$ (половина расстояния между параллельными дренажными штреками) на величину $\Delta L = \ell f(\frac{\ell}{\sigma})$, где $f(\frac{\ell}{\sigma})$ определяется по графику на рис.8.7.

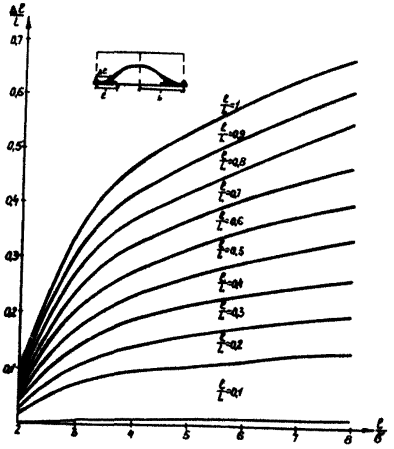

Рис.8.7. График для определения величины $f(\frac{\ell}{\sigma})$

8.11. Расчет притоков воды и положений депрессионной поверхности при действии параллельных наклонных скважин, сооружаемых из дренажных штреков под углом $15^{\circ}$, проводится таким же образом, как для горизонтальных скважин (п.8.9).

8.12. Интенсификация работы дренажных устройств вертикального типа путем вакуумирования приводит к увеличению понижения на величину вакуума $h_{вк}$, что позволяет проводить расчет водопритоков при постоянном уровне по формулам, изложенным в разделах 4 и 6.

## 9. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОТОКОВ И ВОДОЕМОВ НА ПРИТОКИ ВОДЫ В ОТКРЫТЫЕ ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

9.I. При расположении уреза воды в реках (водоемах) выше отметки подошвы разреза (почвы водоносных отложений) возможна гидравлическая взаимосвязь поверхностных и подземных вод.

Различают следующие виды гидравлической связи поверхностных и подземных вод:

- тесная гидравлическая связь, когда река полностью прорезает русловые отложения;
- затрудненная гидравлическая связь, обусловленная несовершенством вреза реки в водоносный горизонт, заиленностью русловых отложений и кольматацией подрусловых отложений.

В последнем случае имеют место следующие режимы фильтрации / 5I /:

- подпертый режим, когда отрыва депрессионной поверхности от заиленного слоя не происходит;
- режим, при котором лишь частично наблюдается отрыв;
- свободный режим, при котором осуществляется отрыв кривой депрессии от заиленного слоя и происходит инфильтрация с разрывом сплошности потока из реки.

9.2. Чтобы судить о режиме фильтрации под руслом реки, применяют критерии В.М.Григорьева / 26 /.

Свободный режим фильтрации будет иметь место при выполнении соотношения

$$A \geq \frac{(h_0 - m)\, 46\, (d_0 + b)}{K\,(m^2 - h^2) - 2\,\gamma_1 (d_0 + 2b)}, \qquad (9.I)$$

где $h_0$ - расстояние от уреза воды в водотоке до водонепроницаемого слоя (высота слоя воды в реке);

$m$ - мощность водоносного горизонта под руслом водотока;

$h$ - остаточный столб воды на линии ряда скважин или в открытой горной выработке;

$d_0$ - расстояние от ряда скважин или горной выработки до реки;

$q_1$ - единичный расход естественного потока подземных вод, которые дренируются водотоком, на противоположном от разреза берегу.

При частичном отрыве депрессионной поверхности выполняется соотношение

$$ch\frac{2b}{\sqrt{km\Delta_0}} > \frac{(H_0-m)\sqrt{km\Delta_0}\,sh\frac{2b}{\sqrt{km\Delta_0}}+2q_1\Delta_0}{k(m^2-h^2)} \qquad (9.2)$$

Когда соотношения (9.I) и (9.2) не выполняются, будет существовать подпертый режим фильтрации.

9.3. Степень совершенства гидравлической взаимосвязи поверхностных и подземных вод зависит от различных факторов / 50, 5I /:

- водопроводимости подрусловых отложений ($km$);
- расстояния от реки до контура дренажных выработок или устройств;
- коэффициента фильтрации ( $k_0$ ) и мощности ($m_0$) заиленного слоя;
- ширины реки;
- эксплуатационной кольматации русловых отложений;
- разности отметок уреза воды в реке и подошвы разреза (почвы водоносных отложений).

9.4. Условия взаимосвязи поверхностных и подземных вод характеризуются следующими параметрами / 50, 5I /:

$\Delta L$ - суммарное сопротивление русловых отложений, которое обусловлено несовершенством вреза реки в водоносный горизонт, неоднородностью русловых отложений и заиленным слоем. Шестаковым В.М. предложен прием / I06 /, при котором река принимается совершенной при условии удлинения потока подземных вод от водозаборного сооружения на величину $\Delta L$; $\Delta_0 = \frac{m_0}{k_0}$ - коэффициент сопротивления заиленного слоя; Григорьев В.М. / 26 / рекомендует для приближенных расчетов принимать следующие значения $\Delta_0$ : для горных рек I-5 суток, для предгорных участков рек 5-I0 суток, для равнинных рек I0-I5 суток, для зарегулированных небольших рек 20-30 суток.

$A = \frac{1}{\sqrt{km}A_0}$ - коэффициент перетекания, принимаемый при слоистом строении русловых отложений.

9.5. Параметры $\Delta L$ и $A_0$ связаны следующей зависимостью / 50 /

$$\Delta L = \sqrt{km}A_0 \cdot cth\frac{2b}{\sqrt{km}A_0}, \qquad (9.3)$$

где $2b$ - ширина реки.

Для широких рек величину $cth\frac{2b}{\sqrt{km}A_0}$ принимают равной I.

9.6. Параметр $\Delta L$ можно определять:

- по графикам Минкина Е.Л. / 5I /, представленным на рис.9.I.;

- по результатам опытно-фильтрационных работ, обработанных способом площадного прослеживания / 9 /.

9.7. Параметр $A_0$ определяется либо из выражения (9.3), либо по методике Бочевера Ф.М. / II /, основанной на решении Форхгеймера с учетом дополнительного гидравлического сопротивления.

Решение Бочевера Ф.М. для определения понижения в любой точке водоносного пласта ( $S$ ) на берегу, где расположена скважина, представлено в виде / II, 5I /

$$(2H-S)S = \frac{Q}{\pi K}(R_1+R_2), \qquad (9.4)$$

где $Q$ - дебит опытной скважины;

$H$ - первоначальная обводненная мощность подрусловых отложений;

$R_1$ - гидравлическое сопротивление при условии совершенной связи поверхностных и подземных вод;

$R_2$ - дополнительное гидравлическое сопротивление, учитывающее несовершенство вреза русла реки в водоносный горизонт и заиленность русловых отложений.

Сопротивление $R_2$ определяется по зависимости / 5I /

$$R_2 = \frac{\pi KS(2H-S)}{Q} - \ell n\frac{a_0+x}{a_0-x}, \qquad (9.5)$$

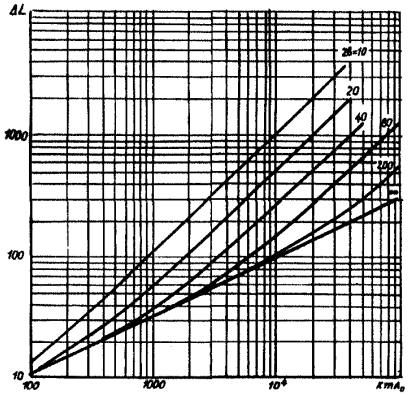


Рис.9.1. Графики зависимости $\Delta L = f(K, m, C, A_0)$

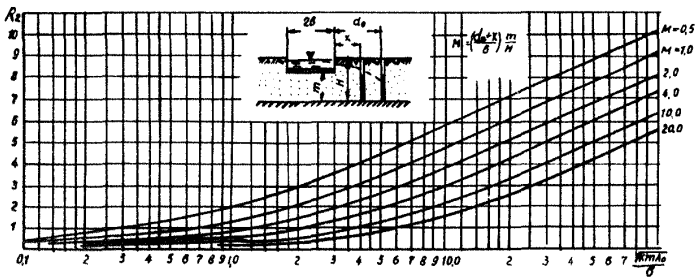


Рис.9.2. Графики для определения сопротивления $R_z$

где $d_0$ и $x$ – расстояния от реки соответственно до опытной и наблюдательной скважин.

По значению $R_2$ и величине $M = \left(\frac{d_0+x}{b}\right)\frac{m}{H}$ по графикам Минкина Е.Л. / 51 /, представленным на рис.9.2. определяют величину $\sqrt{\frac{1+mA_0}{b}}$, после чего находят значения $A_0$ и $A$.

9.8. В приведенных примерах параметр $\Delta L$ определяется при наличии однородных подрусловых отложений в условиях стационарной фильтрации, при подпертом режиме.

Для ориентировочного определения периода времени, когда может произойти стабилизация под влиянием реки, применяется формула / 50 /

$$t \geqslant \frac{2{,}5\,(2d_0)^2}{a}. \qquad (9.6)$$

Величина снижения уровня на урезе реки не должна быть больше допустимого понижения $S$ доп. / 51 /

$$S_{доп} \leq h_0 + m_0 . \qquad (9.7)$$

9.9. При извилистом очертании реки определение параметра $\Delta L$ следует осуществлять на разных участках реки в пределах влияния водозабора, так как на вогнутых участках излучин реки гидравлическая связь поверхностных и подземных вод является более совершенной по сравнению с выпуклыми участками излучин / 51 /.

9.10. Необходимо учитывать, при каком уровне реки был определен параметр $\Delta L$, так как при высоких уровнях рассматриваемый параметр приобретает минимальное значение, а при низких уровнях – максимальное.

9.11. Различают два вида кольматации русловых отложений / 91 /: естественную, которая имеет место до начала работы открытых выработок и дренажных устройств, и эксплуатационную, возникающую в процессе работы дрен.

В связи с этим необходимо параметр $\Delta L$ определять как до начала разработки угольных месторождений, находящихся у реки, так и в процессе их освоения.

9.12. Для рек с заиленным слоем в русле реки пропускная способность русловых отложений определяется по формуле / 9, 50 /

$$q = \frac{h_0 + m_0}{A_0} \cdot 2b , \qquad (9.8)$$

где $q$ – максимальный суммарный расход за счет фильтрации поверхностных вод.

9.13. При большой мощности подрусловых водоносных отложений пропускная способность рассчитывается по формуле / 9, 50 /

$$q = \frac{h_0 + \sum_{i=1}^{n} m_i}{A_z} , \qquad (9.9)$$

где $$A_z = \frac{m_0}{K_0} + \sum_{i=1}^{n} \frac{m_i}{K_i} , \qquad (9.10)$$

$m_i, K_i$ – соответственно мощность и коэффициент фильтрации в вертикальном сечении в $i$-ом интервале водоносной толщи.

9.14. При совершенной гидравлической связи поверхностных и подземных вод единичный приток воды к разрезу при установившейся фильтрации можно рассчитать по формуле

$$q = \frac{K(H_p^2 - h^2)}{2L} , \qquad (9.11)$$

где $H_p$ – глубина потока на урезе реки;
$h$ – столб воды на контуре дренажа.

9.15. При тех же условиях, если между рекой и разрезом расположен ряд водопонижающих скважин, то единичный приток воды к разрезу определяется по выражению / 18 /

$$q = \frac{K H_p^2}{2L} - Q_c \frac{e_1}{\pi L} , \qquad (9.12)$$

где $Q$ – дебит скважины ряда;
$e_1$ – расстояние от реки до ряда скважин.

9.16. При подпертом режиме фильтрации единичный приток воды к разрезу следует рассчитывать по зависимости

$$q = \frac{K(H_p^2 - h^2)}{2(L + \Delta L)} . \qquad (9.13)$$

9.17. При свободном режиме фильтрации единичный приток воды к разрезу рекомендуется определять по формулам

$$q = \frac{h_0 + m_0}{\lambda_c} 2b + q_1 \qquad (9.14)$$

или

$$q = \frac{h_0 + \sum_{i=1}^{n} m_i}{\lambda_z} + q_1 , \qquad (9.15)$$

где $q_1$ – единичный приток к реке с противоположного берега, который может быть определен по известным значениям коэффициента фильтрации и уровням подземных вод в двух сечениях.

9.18. При совершенной гидравлической связи поверхностных и подземных вод для однородных пластов ущерб речному стоку может быть подсчитан по формуле / 51 /

$$Q_{ущ} = Q\, erfc\left(\frac{L}{2\sqrt{at}}\right), \qquad (9.16)$$

где $Q_{ущ}$ – ущерб речному стоку на момент времени $t$ после начала откачки воды;

$Q$ – приток воды к разрезу со стороны реки, определяемый по фактическим замерам;

$erfc$ – специальная функция, значения которой даны в табл.9.1.

Суммарные потери речного стока за время от 0 до $t$ рассчитываются по зависимости / 51 /

$$V_e = 4Qti^2 erfc\left(\frac{L}{2\sqrt{at}}\right), \qquad (9.17)$$

где $i^2erfc$ – специальная функция, значения которой представлены в табл.9.1.

Формулами (9.16) и (9.17) можно пользоваться и в случае наличия дополнительного сопротивления русловых отложений при выполнении критерия / 50 /

$$\frac{L}{\sqrt{k_1 m_1 \lambda_1}} + \frac{\alpha t}{k_1 m_1 \lambda_1} \geq 10. \qquad (9.18)$$

Таблица 9.I

| $\frac{L}{2\sqrt{at}}$ | $erfc\left(\frac{L}{2\sqrt{at}}\right)$ | $i^2erfc\left(\frac{L}{2\sqrt{at}}\right)$ | $\frac{L}{2\sqrt{at}}$ | $erfc\left(\frac{L}{2\sqrt{at}}\right)$ | $i^2erfc\left(\frac{L}{2\sqrt{at}}\right)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,00 | I | 0,2500 | 0,40 | 0,57I6 | 0,0925 |
| 0,0I | 0,9887 | 0,2444 | 0,42 | 0,5525 | 0,0875 |
| 0,02 | 0,9774 | 0,2438 | 0,44 | 0,5338 | 0,0828 |
| 0,03 | 0,9662 | 0,2335 | 0,46 | 0,5I53 | 0,0783 |
| 0,04 | 0,9549 | 0,2282 | 0,48 | 0,4973 | 0,0740 |
| 0,05 | 0,9436 | 0,2230 | 0,50 | 0,4795 | 0,0700 |
| 0,06 | 0,9324 | 0,2I79 | 0,54 | 0,445I | 0,0623 |
| 0,07 | 0,92II | 0,2I29 | 0,58 | 0,4I2I | 0,0555 |
| 0,08 | 0,9099 | 0,2080 | 0,60 | 0,396I | 0,0523 |
| 0,09 | 0,8987 | 0,203I | 0,62 | 0,3806 | 0,0492 |
| 0,I0 | 0,8875 | 0,I984 | 0,66 | 0,3506 | 0,0436 |
| 0,I2 | 0,8652 | 0,I892 | 0,70 | 0,3232 | 0,0382 |
| 0,I4 | 0,843I | 0,I803 | 0,74 | 0,2953 | 0,0340 |
| 0,I6 | 0,82I0 | 0,I7I8 | 0,78 | 0,2700 | 0,0299 |
| 0,I8 | 0,799I | 0,I635 | 0,80 | 0,2579 | 0,0280 |
| 0,20 | 0,7773 | 0,I557 | 0,84 | 0,2349 | 0,0246 |
| 0,22 | 0,7557 | 0,I48I | 0,88 | 0,2I33 | 0,02I5 |
| 0,24 | 0,7343 | 0,I408 | 0,90 | 0,203I | 0,020I |
| 0,26 | 0,7I3I | 0,I338 | 0,94 | 0,I837 | 0,0I75 |
| 0,28 | 0,692I | 0,I27I | 0,98 | 0,I658 | 0,0I52 |
| 0,30 | 0,67I4 | 0,I207 | I,00 | 0,I573 | 0,0I42 |
| 0,32 | 0,6509 | 0,II45 | I,20 | 0,0897 | 0,0068 |
| 0,34 | 0,6306 | 0,I087 | I,40 | 0,0477 | 0,0030 |
| 0,36 | 0,6I07 | 0,I030 | I,60 | 0,0237 | 0,00I3 |
| 0,38 | 0,59I0 | 0,0976 | I,80 | 0,0I09 | 0,0005 |
| | | | 2,00 | 0,0047 | 0,0002 |

## 10. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ И ВОДОПОНИЖЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРИТОКОВ ВОДЫ В РАЗРЕЗЫ

10.1. При разработке угольных месторождений открытым способом в результате дренирующего действия горных выработок и специальных дренажных сооружений и устройств происходит изменение условий формирования водопритоков в разрезы, проявляющееся в:

- изменении условий питания, движения и разгрузки подземных вод;
- изменении составляющих речного, поверхностного и подземного стока;
- изменении химического состава подземных вод;
- изменении величин фильтрационных параметров в связи с изменением напряженного состояния горных пород.

Поскольку о первых трех изменениях условий формирования водопритоков в разрезы речь уже шла в предыдущих разделах, следует более подробно остановиться на изменении значений фильтрационных параметров, обусловленном изменением напряженного состояния горных пород под влиянием водопонижения и отработки вскрышных пород и угольных пластов.

10.2. Чтобы оценить изменения фильтрационных параметров, необходимо прежде всего изложить приемы определения нормальных напряжений на разных стадиях освоения месторождения.

Нормальные напряжения при нисходящей фильтрации с учетом гидродинамических (фильтрационных) сил и наличии слабопроницаемых слоев следует рассчитывать по следующим зависимостям

$$\sigma = \sum \gamma_i z - \gamma_i \left[ h'_{max} - i/(m_p - \Delta m) \right], \quad (10.1)$$

или

$$\sigma = \sum \gamma_i z_i + \gamma_i i/(m_p - \Delta m), \quad (10.2)$$

где $\sigma$ - нормальные напряжения;

$\gamma_i$ - объемная масса пород с учетом или без учета взвешивания (послойное суммирование);

$z$ - расчетная глубина залегания слоя;

$\sum m_i$ – мощность слоев с объемной массой $\gamma_i$;

$h_{max}$ – максимальная высота напоров (уровней) в двух смежных расчетных водоносных горизонтах;

$i$ – градиент фильтрации;

$m_{пр}$ – мощность, включающая слабопроницаемый слой и приведенную высоту водоносного горизонта;

$\Delta m$ – расстояние расчетной точки от кровли слабопроницаемого слоя $(m \gg \Delta m \gg 0)$.

При восходящей фильтрации нормальные напряжения с учетом влияния гидродинамических (фильтрационных) сил рассчитываются по следующим зависимостям:

$$\sigma = \sum \gamma_0 H - \gamma_i [h_{min} + i(m_{пр} - \Delta m)], \quad (10.3)$$

или

$$\sigma = \sum \gamma_i H_i - \gamma_в i (m_{пр} - \Delta m), \quad (10.4)$$

где $h_{min}$ – минимальная высота напоров в двух смежных водоносных горизонтах;

$\Delta m$ – расстояние расчетной точки от почвы слабопроницаемого слоя.

Мощность $m_{пр}$ определяется по зависимости

$$m_{пр} = m_0 + m \frac{K_в}{K}. \quad (10.5)$$

Градиент фильтрации $i$ определяется с учетом приведенной мощности по выражению

$$i = \frac{\Delta H}{m_{пр}} = \frac{K \cdot \Delta H}{m_0 K + m K_0}, \quad (10.6)$$

где $\Delta H$ – разность напоров (уровней) расчетных водоносных горизонтов.

10.3. Чередование в геологическом разрезе угольных месторождений водоносных отложений и слабопроницаемых слоев предопределяет необходимость оценки в естественных условиях гидравлической связи водоносных горизонтов и прогноза ее изменения при осушении поля разреза и выемки горных пород. Наличие или отсутствие гидравлической связи между водоносны-

ми горизонтами определяет и принципы расчетов напряженного состояния.

10.4. Исходя из современного состояния развития теории механики грунтов следует считать, что взаимосвязь смежных водоносных горизонтов определяется целым комплексом исходных гидрогеомеханических свойств слабопроницаемых слоев. К ним, прежде всего, следует отнести степень водонасыщения, состояния плотности - влажности, наличие начальных (предельных) градиентов фильтрации при той или иной разности действующих напоров.

10.5. Наличие гидравлической связи (и, следовательно, гидростатического взвешивания) рекомендуется определять несколькими методами, как известными в литературе, так и предлагаемыми на основе дополнительно проведенных исследований. При этом под термином гидравлическая связь подразумеваются варианты возможности конвективного влагопереноса в отличие от диффузионного, который определяется не законами гидростатики. Сущность предлагаемых методов и порядок расчетов сводится к следующему.

По предпосылкам механики грунтов при степени водонасыщения слоя $G$ = 0,85 - 0,90 прямая гидравлическая связь через него отсутствует / 103 /. Оценка $G$ производится общепринятыми методами сопоставлением естественной влажности и влажности полного водонасыщения.

Лабораторными испытаниями и полевыми наблюдениями Маслова Н.Н. / 48 / установлено, что зависимость между временем консолидации слоя и образца определяется следующей формулой

$$T = t\left(\frac{H}{h}\right)^{n}, \qquad (10.7)$$

где $T, t$ - соответственно время консолидации слоя мощностью H и образца высотой $h$;

$n$ - показатель консолидации, варьирующий в пределах $0 \leq n \leq 2$.

По Маслову Н.Н. / 48 /, показатель $n = 2$ соответствует чисто фильтрационной стадии консолидации при текучем состоянии грунта. С уменьшением показателя консолидации в зависи-

мости от гидрофильных свойств пород уменьшается и величина вплоть до 0 в породах твердой и полутвердой консистенции.

Из сказанного следует вывод, что величина $\eta$ определяется в первую очередь соотношением в породе фаз связанной и свободной воды. В породах, в которых свободная и, частично, рыхлосвязанная вода отсутствуют, $\eta$ становится равной 0. В породе такого типа нагружение не должно приводить к формированию избыточного порового давления и отжатия воды. В принципе при $\eta = 0$ должна отсутствовать и гидравлическая связь, так как из испытаний следует, что, по крайней мере, прочно связанная вода воспринимает внешние нагрузки адекватно с твердой фазой.

В табл.10.1. приводятся предельные значения коэффициента консистенции при соответствующих им числах пластичности пород, при которых $\eta = 0$. Если показатель консистенции пород ниже табличных значений, то можно считать, что гидравлическая связь и гидростатическое взвешивание пород отсутствуют.

Таблица 10.1

| Показатель консистенции | Число пластичности | $\eta$ |
|---|---|---|
| +0,30 | 5 | 0 |
| +0,21 | 10 | 0 |
| +0,11 | 15 | 0 |
| -0,02 | 20 | 0 |
| -0,15 | 25 | 0 |
| -0,26 | 30 | 0 |

Одним из вариантных способов оценки гидравлической связи может служить также метод, основывающийся на следующих предпосылках. Известно, что между скоростью капиллярной фильтрации и относительной степенью водонасыщения $\bar{C}$ (при учете только содержания свободной воды) имеется четкая функциональная зависимость / 55 /. Из этой зависимости следует, что до относительной степени водонасыщения $\bar{C} \leq 0,4$

фильтрация, а следовательно, и конвективный перенос отсутствуют. Должна, в принципе, отсутствовать и гидравлическая связь.

Аналитическая обработка графической зависимости / 55 / и переход к общепринятому понятию степени водонасыщения $G$ позволил для $G$ = 0,4 оценить критические величины $G$, при которых в породах отсутствует гидравлическая связь:

$$G \leq 0,4 + 0,6 \frac{W_c}{W_п}, \qquad (10.8)$$

где $W_c$ - прочносвязанная вода, %;

$W_п$ - полная влагоемкость образца, %.

Из (10.8) следует, что критическая величина $G$ зависит от гидрофильных свойств пород и, соответственно, количества связанной воды.

В малогидрофильных породах гидравлическая связь будет отсутствовать уже при $G$ несколько меньше 1,0 при относительно более высоких показателях коэффициента консистенции В. В гидрофильных породах $G < 1,0$ достигается при более низких показателях В.

В качестве одного из способов оценки гидравлической связи может служить метод, основанный на расчете исходного напряженного состояния пород. Сущность его основывается на следующих положениях:

- разгрузка кернов образцов пород из скважин одновременно сопровождается их капиллярным обжатием. Сочетание этих двух процессов и формирует исходное (на поверхности земли) состояние степени водонасыщения образцов;

- последующая загрузка образцов в приборы с жесткими стенками (одометры, компрессионно-фильтрационные и др.) и испытания на компрессию в водной среде приводят к снятию капиллярного обжатия. При этом невозможность бокового расширения образца в условиях наличия дополнительных напряжений приводит к быстрой вертикальной деформации образца;

- нагрузка противодавления, приводящая образец в исходное (разуплотненное на поверхности) состояние через общепринятые в механике грунтов показатели (коэффициент Пуассона), нагрузка противодавления) / 102 / оценивается как капиллярное

давление, действующее на образец после выноса керна на поверхность;

- нагрузки, приводящие к уплотнению образца после подавления сил, должны в расчетах суммироваться с капиллярными.

Если принять, что в естественных условиях степень водонасыщения $G = 1{,}0$ или меньше, но определена любым другим способом, то расчетная величина нормальной нагрузки (с учетом капиллярных сил) и является действующей на образец на той или иной глубине. Соответствующая оценка гравитационных напряжений в вариантах гидростатического взвешивания и при его отсутствии позволяет оценить естественное напряженное состояние и наличие гидравлической взаимосвязи.

10.6. Необходимые показатели свойств пород для оценок гидравлической связи и гидростатического взвешивания определяются общепринятыми методами. Диапазон нагрузок при постановке компрессионных испытаний определяется глубиной залегания пород и прогнозной оценкой использования исследуемой территории (разгрузка горными работами, нагружение отвалами, неизменные глубины при предварительном осушении и т.д.).

10.7. Комплексная оценка условий гидравлической связи рекомендуемыми методами, естественно, должна по возможности уточняться опытно-фильтрационным, опытно-эксплуатационным понижением, режимными наблюдениями. При прогнозных оценках поведения пород во всех аспектах горных работ ставятся также дополнительные испытания на консолидацию, набухание и т.д.

10.8. Для определения расчетных зависимостей изменения фильтрационных параметров от эффективных напряжений должны проводиться компрессионно-фильтрационные испытания горных пород.

В качестве примера приведены результаты компрессионно-фильтрационных испытаний переуплотненных горных пород с двойной пористостью.

10.9. Компрессионно-фильтрационные испытания пород, проведенные по общепринятым методикам и схемам, показали следующее:

- компрессионные кривые трещиноватых разностей пород характеризуются сложными очертаниями как участков компрессии (уплотнения), так и декомпрессии (разуплотнения).

На кривой $\mathcal{E}, n = f(\lg \sigma)$ при уплотнении могут быть выделены следующие четыре участка:

- участок начальных стадий компрессии, когда рост нормальных нагрузок практически не приводит к росту плотности пород;

- участок затухающих деформаций, когда увеличение нормальных нагрузок приводит к соответствующему росту модуля общей деформации и уменьшению коэффициента сжимаемости $a_v$ :

$$a_v = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{\sigma_2 - \sigma_1}, \qquad (10.9)$$

где $\mathcal{E}_1$ и $\mathcal{E}_2$ - коэффициент пористости соответственно при нормальных нагрузках $\sigma_1$ и $\sigma_2$ ;

- участок ускоренной сжимаемости породы, который на графике $\mathcal{E}, n = f(\lg \sigma)$ фиксируется в виде отрезка прямой после излома в точке $\mathcal{E}_{кр} - \sigma'_{кр}$ .

Участок в общем виде находит объяснение только в варианте деформирования трещиноватых сред. При этом нормальное напряжение $\sigma'_{кр}$ должно быть сопоставлено с таким известным параметром как сопротивление одноосному сжатию массива. Обработка большого количества лабораторных испытаний пород Ангрена и КАТЭКа, а также наблюдений за плотностью пород Донбасса показывает, что отношение $\sigma'_{кр}$ к сопротивлению одноосному сжатию образца $\sigma_{сж}$ варьирует в пределах 0,22-0,43 и в среднем отношение $\frac{\sigma'_{кр}}{\sigma_{сж}}$ составляет 0,30. Эта величина совпадает с литературными данными по оценкам прочности массива при расчетах сдвижения пород;

- четвертый участок компрессионной кривой фиксируется по резкому скачкообразному увеличению модуля общей деформации и уменьшению коэффициента сжимаемости. Обработка результатов испытаний показывает, что отношение $\sigma''_{кр}$ к сопротивлению одноосному сжатию варьирует в пределах $(0{,}75 \div 1{,}08)\,\sigma_{сж}$ при среднем значении $0{,}95\,\sigma_{сж}$ , что принципиально соответствует исходной предпосылке трактовки поведения пород при компрессионных испытаниях.

10.10. Из проведенного комплекса лабораторных испытаний на компрессию следует, что для пород с двойной пористостью общий характер их деформирования в массиве по параметрам критических нагрузок может быть установлен по образцам относительно небольшого размера. Ясно, что в естественных условиях их абсолютная сжимаемость будет большей.

10.11. В качестве одного из способов перехода к деформируемому массиву рекомендуется следующий:

- принимается, что деформируемость массивов пород, в основном, определяется характером и степенью их трещиноватости;
- влияние трещиноватости на модуль общей деформации может быть учтено следующей зависимостью / 81 /:

$$E_M = \frac{E_0}{1 + \frac{5}{8} n \eta}, \qquad (10.10)$$

где $E_M, E_0$ - соответственно модуль деформации массива и образца, кгс/см$^2$;

$n$ - количество систем трещин;

$$\eta = \frac{\delta}{\rho \cdot h}, \qquad (10.11)$$

$\delta$ - ширина раскрытия трещин, см;

$h$ - расстояние между трещинами, см;

$\rho$ - коэффициент, учитывающий шероховатость трещин и по многочисленным определениям, равный $3 \cdot 10^{-4}$.

Из общих закономерностей механики грунтов следует, что между модулем общей деформации $E_0$ и коэффициентом относительной сжимаемости $\alpha_0$ существует зависимость

$$E_0 = \frac{\beta}{\alpha_0}, \qquad (10.12)$$

где $\beta$ - коэффициент перехода от лабораторных к натурным осадкам.

В общем величина $\beta$ зависит от коэффициента бокового распора $\xi$

$$\beta = \frac{(1-\xi)(1+2\xi)}{(1+\xi)}. \qquad (10.13)$$

Исходя из возможных значений $\xi$, $\beta$ может принимать значения от I (безраспорная среда) до 0 (пластическое состояние). Для условий открытых горных работ, когда и при предварительном осушении превалируют в конечном счете процессы разгрузки $\beta \approx 0{,}95$. С учетом того, что

$$\alpha_0 = \frac{\alpha_v}{1+\varepsilon}, \qquad (10.14)$$

$$E_0 = \frac{0{,}95(1-\varepsilon_0)}{\alpha_v}. \qquad (10.15)$$

В реальных массивах возможные соотношения между сжимаемостью образца и массива будут иными и должны определяться экспериментально. В общем же виде можно сделать вывод, что сжимаемость массива примерно на порядок выше сжимаемости образца. С уменьшением ширины раскрытия трещин в пределе сжимаемость массива будет стремиться к значениям сжимаемости образца.

10.12. Вскрытие тех или иных горизонтов фронтом горных работ с неизбежностью приводит к существенным изменениям исходного напряженного состояния, в первую очередь, к уменьшению нормальных нагрузок и разуплотнению пород.

Экспериментальные исследования показали, что как ветви уплотнения компрессионных кривых, так и ветви разгрузки трещиноватых сред характеризуются определенной спецификой. Так, в диапазоне нагрузок $\sigma''_{кр} > \sigma > \sigma'_{кр}$ их уменьшение практически не приводит к разуплотнению породы, то есть достигнутая степень плотности породы и определяемые ею фильтрационно-емкостные свойства при нагрузках, превышающих сопротивление одноосному сжатию массива, при разгрузке увеличиваются незначительно. Угол наклона кривой разуплотнения в этом диапазоне нагрузок, в общем, соответствует наклону участка уплотнения при $\sigma > \sigma'_{кр}$, то есть тому участку, где напряжения превышают сопротивление одноосному сжатию образца.

При нагрузках $\sigma < \sigma'_{кр}$, когда происходит дальнейшая разгрузка, процессы разуплотнения интенсифицируются.

Характерно, что абсолютные значения прироста пористости - трещинной пустотности определяются исходной величиной действующих нормальных напряжений в зоне $\sigma > \sigma'_{кр}$. Обработка многочисленных компрессионных испытаний показала, что интенсивность разуплотнения на этом участке ( $\sigma < \sigma'_{кр}$ ) зависит от соотношения прочности пород в образце и в массиве, а также угла разуплотнения в зоне $\sigma > \sigma_{кр}$. Из опытов следует, что длительные естественно-исторические процессы формирования фильтрационно-емкостных свойств пород определяют и их поведение при разгрузке горизонтов, залегающих на той или иной глубине. При этом выведение пород с более глубоких зон в приповерхностные зоны бортов разрезов изменяет их исходные свойства в меньшей степени, чем с относительно небольших глубин.

При этом граничной зоной минимальных нормальных нагрузок, при которых интенсивность процессов разуплотнения резко уменьшается, является участок начальных стадий компрессии (структурная прочность, давление набухания, капиллярное давление). В пределах этих напряжений дальнейшая разгрузка фактически уже не приводит к дополнительному приросту фильтрационно-емкостных свойств пород.

10.13. С целью проверки установленных закономерностей деформационных свойств пород в массиве для углей Березовского и Ангренского месторождений были проведены определения плотности-влажности в массиве в скважинах и уступах, а также обобщены результаты многочисленных наблюдений за этими же показателями в процессе отработки месторождений. Сопоставление полученных таким путем компрессионных кривых с расчетными по лабораторным испытаниям показало, что по значениям $\varepsilon$, $n$, критических нагрузок ( $\sigma'_{кр}, \sigma''_{кр}$ ) они идентичны. А поэтому лабораторные испытания на сжимаемость в сочетании с рекомендуемым способом учета трещиноватости позволяет с достаточной для практики точностью прогнозировать деформационное поведение массивов пород с двойной пористостью.

Кроме того, разгрузка массивов пород горными работами сопровождается увеличением их исходных фильтрационно-емкостных свойств, однако степень разуплотнения пород при этом ниже, чем в условиях естественно-исторического процесса дости-

жения равновесного состояния. Подтверждается это как закономерным ростом по мере углубки объемного веса, так и постепенным уменьшением рабочей (естественной) влажности. Ясно, что при прогнозировании поведения трещиноватых массивов пород в рабочих или нерабочих бортах и уступах разрезов необходимо учитывать как их дальнейшее постепенное разуплотнение за счет роста трещинной пустотности, так и абсолютное увеличение влажности слаботрещиноватых блоков пород в зоне гипергенеза.

10.14. При отработке месторождений открытым способом уменьшение или увеличение фильтрационно-емкостных свойств трещиноватых массивов пород определяются в первую очередь изменениями трещинной пустотности.

Изменения коэффициента фильтрации массивов пород такого типа могут рассчитываться по зависимости

$$K_p = K_н \left(\frac{\sigma_0}{\sigma}\right)^n, \qquad (10.16)$$

где $K_н$ - исходная величина коэффициента фильтрации;
$K_p$ - расчетное значение коэффициента фильтрации;
$\sigma_0, \sigma$ - соответственно исходное и текущее значение нормальных нагрузок;
$n$ - безразмерный показатель.

$$n = 2\frac{3+\alpha}{2+\alpha} \cdot \alpha \cdot \sigma_c, \qquad (10.17)$$

где $\alpha$ - коэффициент сжимаемости пород;
$\sigma_c$ - исходное значение нормальных нагрузок;
$\alpha$ - коэффициент, характеризующий структуру трещинно-поровых каналов.

В уравнении (10.17) параметр $\alpha$ может характеризоваться как сжимаемость образца, так и массивов пород. Что касается коэффициента $\alpha$, то для испытанных разностей пород он изменяется в пределах от (-1,5) до (-1,95 -1,98) и в общем должен определяться экспериментальным путем, либо по лабораторным опытам, либо по результатам опытно-фильтрационных работ.

Расчетные значения $\alpha$ для тех или иных значений $\alpha$ устанавливаются по графику $\alpha = f(\alpha)$.

10.15. Для пористых сред изменение коэффициента фильтрации с глубиной может быть получено по зависимостям / 55 /:

для несцементированных песков

$$K_p = K_н \cdot e^{-4\alpha_v \sigma}, \qquad (10.18)$$

для сцементированных песков

$$K_p = K_н \cdot e^{-14,5 \div 24 \alpha_v \sigma}, \qquad (10.19)$$

где $K_p, K_н$ – расчетное и исходное значение коэффициента фильтрации, м/сутки;

$\alpha_v$ – коэффициент относительной сжимаемости, $см^2/кгс$;

$\sigma$ – нормальная нагрузка, $кгс/см^2$.

10.16. Отработка месторождений открытым способом сопровождается разуплотнением пород и увеличением их емкостных свойств, а предварительное осушение приводит к соответствующему росту нормальных нагрузок и снижению исходных емкостных показателей за счет закрытия трещин и микротрещин.

На начальных стадиях консолидации при предварительном водопонижении исходные значения плотности-влажности остаются неизменными. В дальнейшем в процессе рассеивания порового давления увеличиваются эффективные напряжения и, как результат, увеличивается плотность пород. Испытания показывают, что в основном эти явления характерны для первой стадии (стадии фильтрационной консолидации). На стадии вторичной консолидации интенсивность вертикальных деформаций незначительна, но в трещиноватых породах затухающий характер ползучести носит прерывистый характер. На затухающих кривых консолидации фиксируются незакономерные "всплески" быстрых осадок, вызванных скорее всего закрытием отдельных трещин и микротрещин. Из испытаний можно сделать вывод, что полностью равновесное состояние "нагрузка - плотность" в породах с двойной пористостью на стадии фильтрационной консолидации не наступает, хотя основная величина осадок и протекает довольно быстро.

10.17. Для практических прогнозов изменения фильтрационно-емкостных свойств пород при изменении напряженного состояния могут быть рекомендованы известные методы механики

грунтов, расчетами по компрессионным кривым. При этом, как подчеркивалось выше, правомерность такого расчета определяется тем, что для трещиноватых сред изменение их плотности происходит, в основном, за счет трещинной пустотности массивов и образцов.

Если исходить из того, что при нагрузках $\sigma = \sigma_{сж}$ коэффициент водоотдачи $\mu$ практически равен нулю, то абсолютные значения водоотдачи могут быть определены по разнице в полной влагоемкости для соответствующей глубины и глубины, при которой $\mu = 0$.

10.18. В зависимости от изменения нагрузки, вызванной процессом осушения месторождения, с одной стороны, и вскрышными работами, с другой стороны, значения коэффициента фильтрации и коэффициента водоотдачи могут увеличиваться и уменьшаться.

На участке поля разреза, где вскрышные работы еще не проводятся, но снижение уровней подземных вод наблюдается, будет проходить уменьшение значений рассматриваемых фильтрационных параметров. В приоткосной части, где преобладающим является влияние уменьшения нагрузки за счет выемки вскрышных пород, будет наблюдаться увеличение значений коэффициента фильтрации и коэффициента водоотдачи. В последнем случае это приводит к выполаживанию депрессионной поверхности, что наблюдалось, например, на Ангренском буроугольном месторождении.

10.19. Изменения фильтрационных параметров должны учитываться при прогнозировании водопритоков в разрезы на различных стадиях освоения месторождений. Наиболее целесообразным методом расчета водопритоков в данном случае является метод моделирования с использованием аналоговых и электронно-вычислительных машин.

## II. УЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ПРИТОКОВ ВОДЫ В РАЗРЕЗЫ

### II.I. Учет влияния наклона водоупора на эффективность действия дренажных выработок и устройств

II.I.I. Наличие наклона водоупора следует принимать во внимание при расчете притоков воды в горные выработки и к дренажным устройствам при величине угла наклона $2^0$ и более.

Целесообразным методом расчета в данных условиях является метод математического моделирования с использованием аналоговых и электронно-цифровых вычислительных машин.

II.I.2. При расчете притоков воды к горным выработкам в условиях безнапорной неустановившейся фильтрации можно пользоваться формулами, справедливыми для горизонтального водоупора, при замене $h$ на $h + 0{,}5\,ix$ ( $h$ – глубина потока в точке с координатой $x$ ; $i$ – наклон водоупора) /52,105/. При этом значение $h_{ср}$ в выражении коэффициента уровнепроводности заменяется величиной ( $h + 0{,}5\,ix$ ) ср.

II.I.3. При действии линейного ряда скважин, когда понижение в них отвечает подошве водоносного пласта, критерием устранения высачивания подземных вод на откос борта разреза служит соотношение / 24 /

$$\frac{1}{2\pi}\,\sigma \ln\frac{\sigma}{\pi d_0} \le i\,\frac{l_1 l_2}{H_1 - H_2}, \qquad \text{(II.I)}$$

где $l_1$ и $l_2$ – расстояние от ряда скважин соответственно до контуров питания и дренажа;

$H_1$ и $H_2$ – напоры на контурах питания и дренажа.

### II.2. Учет напорно-безнапорного потока подземных вод

II.2.I. При установившейся фильтрации расчет притоков воды в условиях напорно-безнапорного движения производится по формулам безнапорного движения путем перехода к расчетной глубине потока / 78 /

$$h_p = \sqrt{2mH_0 - m^2}\,. \qquad \text{(II.2)}$$

II.2.2. Расчет притоков воды при неустановившейся напорно-безнапорной фильтрации производится следующим образом / 24, 78 /:

при выполнении соотношения

$$0{,}3 < \frac{m}{H_0 - m}\sqrt{\frac{\mu}{\mu^*}} = A < 3 \qquad \text{(II.3)}$$

расчет проводится с использованием зависимости (II.2);

при $A < 0{,}3$ вычисления осуществляются по формулам для напорного пласта;

при $A > 3$ расчет проводится по формулам для безнапорного пласта.

II.3. Учет инфильтрационного питания и перетекания

II.3.I. В естественных условиях и при небольших возмущениях, вызванных откачкой воды из горных выработок и дренажных устройств, инфильтрационное питание учитывается автоматически, так как значение его находит отражение в глубине потока подземных вод / I0 /.

II.3.2. При отработке угольных месторождений открытым способом величины понижения уровней достигают десятков метров, что приводит к необходимости при расчете водопритоков учитывать изменение значений инфильтрационного питания (вернее, модуля питания, представляющего разность значений инфильтрации и испарения). Особенно существенные изменения модуля питания должны наблюдаться в приоткосной зоне, где, кроме процесса понижения уровней, имеют место явления, вызванные выемкой горных пород. Обнажение пород и углей в бортах разреза приводит к изменению условий питания водоносных горизонтов: величина модуля питания теперь зависит не от проницаемости почвенного слоя, как это имело место в естественных условиях, а от проницаемости различных по литологическому составу пород и углей (с учетом их разуплотнения). Таким образом, в результате водопонижения и выемки горных пород величина модуля питания по отношению к естественным условиям будет изменяться неравномерно: наименьшие изменения будут вдали от откосов, наибольшие - в приоткосной зоне. Изменения в величинах модуля питания, как правило, имеющих положительное значение, вызывают дополнительный приток воды к

разрезу. Величина дополнительного питания будет состоять из отдельных составляющих притока на различных участках поля разреза $\Delta Q_{yr}$, которые могут быть определены по зависимости

$$\Delta Q_{yr} = \Delta \varepsilon F , \qquad (II.4)$$

где $\Delta \varepsilon$ – дополнительная величина модуля питания в пределах участка;

$F$ – площадь участка.

Значения $\Delta \varepsilon$ могут быть определены по результатам гидрогеологических, гидрологических и специальных исследований на опорных режимных станциях.

II.3.3. Осушение поля разреза и выемка горных пород существенно изменяют естественные условия перетекания: происходят изменения уровней и напоров подземных вод и значений фильтрационных параметров водоносных и слабопроницаемых слоев. Для учета происходящих изменений нужно проводить целенаправленные гидрогеологические и инженерно-геологические исследования.

Условия перетекания наиболее ощущаются в районе разрезной траншеи. Приток воды за счет перетекания в разрезную траншею определяется по формуле / 78 /

$$Q_{пер} = \frac{K_0 \Delta H F}{m_0} , \qquad (II.5)$$

где $\Delta H$ – разность отметок напора воды и подошвы разрезной траншеи, м;

$F$ – площадь разрезной траншеи или отдельного ее участка, м$^2$.

Учет перетекания при расчете водопонижающих скважин освещен в разделе 6.

II.4. Учет несовершенства водопонижающих скважин

II.4.I. Различают два типа несовершенства в скважинах / I08 /:

– несовершенство по степени вскрытия пласта, обусловленное зависимостью длины фильтра от мощности пласта;

- несовершенство по характеру вскрытия пласта, зависящее от целого ряда факторов.

Несовершенство скважин обуславливает уменьшение ее дебита по сравнению с совершенной скважиной или при условии равенства дебитов совершенной и несовершенной скважин - большее понижение в несовершенной скважине.

II.4.2. При расчете скважин учет их несовершенства проводится путем введения в расчетные формулы дополнительного гидравлического сопротивления $\zeta_0$

$$\zeta_0 = \zeta_1 + \zeta_2 , \qquad (II.6)$$

где $\zeta_1$ и $\zeta_2$ - сопротивления по степени и характеру вскрытия пласта.

II.4.3. Таким образом, при определении понижения уровня в самой скважине, считая дебит скважины постоянным, вводится в расчетные формулы (разделы 4,5 и 6) дополнительное гидравлическое сопротивление $\zeta_0$.

Например, для случая одиночной скважины в условиях неустановившейся напорной фильтрации расчетные формулы будут иметь вид

$$S_c = \frac{Q}{4\pi k m}\left[-E_i\left(-\frac{r_c^2}{a^* t}+2\zeta_0\right)\right], \qquad (II.7)$$

$$S_c = \frac{Q}{2\pi k m}\left[\ln\frac{1{,}5\sqrt{a^* t}}{r_c}+\zeta_0\right]. \qquad (II.8)$$

II.4.4. Несовершенство скважины может быть также учтено при введении расчетного радиуса скважины $r_c'$, связанного с гидравлическим сопротивлением $\zeta_0$ соотношением / 59 /

$$r_c' = r_c e^{-\zeta_0}. \qquad (II.9)$$

В таком случае формула (II.8) будет выглядеть следующим образом

$$S_c = \frac{Q}{2\pi k m}\ln\frac{1{,}5\sqrt{a^* t}}{r_c'} \qquad (II.10)$$

А.В.Надарейшвили / 59 / считает, что приведенный радиус влияния при учете несовершенства следует определять по формуле

$$R_n = 1{,}5\,\frac{r_0}{r_0'}\sqrt{a^*t}\,, \qquad (II.11)$$

и только в частном случае при $r_0 = r_0'$ формула (II.11) приобретает известный вид

$$R_n = 1{,}5\sqrt{a^*t}\,. \qquad (II.12)$$

Используя соотношение (II.9) можно формулу (II.11) выразить и таким образом

$$R_n = \frac{1{,}5}{\ell^{-\xi_c}}\cdot\sqrt{a^*t} = 1{,}5\,\ell^{\xi_c}\sqrt{a^*t}\,. \qquad (II.13)$$

II.4.5. Значения $\xi_0$ и $r_0'$ определяются по данным опытно-фильтрационных работ / 9, 59 /.

Если $\xi_0$ неизвестно, то гидравлическое сопротивление $\xi_1$ определяют по табл.II.I. / I6 /, а сопротивление $\xi_2$ - по расчетным зависимостям и данным откачек для различных ее составляющих.

Чтобы сохранить вид формул (II.7) - (II.13), нами значения $\xi_1$ в табл.II.I. по сравнению с таблицей Н.Н.Веригина / I6 / уменьшены в два раза.

В табл.II.I. $\ell$ - длина фильтра. При пользовании этой таблицей для условий безнапорного водоносного горизонта мощность пласта уменьшается на половину понижения уровня воды в скважине. Когда фильтр незатопленный, длину фильтра уменьшают на половину длины осушенной части фильтра. По таблице определение гидравлических сопротивлений осуществляется при расположении фильтра у кровли или подошвы пласта. Если фильтр расположен внутри пласта, то, по рекомендации Ф.М.Бочевера, величины $\xi_1$ нужно уменьшать: при $\ell/m$ = 0,3 на I,5, при $\ell/m$ = 0,5 на 0,7.

II.4.6. Величина гидравлического сопротивления состоит из следующих составляющих / I8, 2I, 30, 75 /:

для скважины в безнапорном пласте

$$\xi_2 = \xi_{2ф} + \xi_{2т} + \xi_{2п} + \xi_{2н.л} + \xi_{дгф}\,, \qquad (II.14)$$

где $\xi_{2ф}$ - гидравлическое сопротивление, обусловленное конструкцией фильтра;

Таблица II.I

| $\ell/m$ | $m/r_0$ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,5 | I,0 | 3 | I0 | 30 | I00 | 200 | 500 | I000 | 2000 |
| 0,I | 0,00I96 | 0,06I | I,02 | 5,2 | I2,I5 | 2I,4 | 26,9 | 34,75 | 39,8 | 45,45 |
| 0,3 | 0,00I93 | 0,0453 | 0,645 | 2,39 | 4,6 | 7,25 | 8,85 | I0,75 | I2,45 | I4,I |
| 0,5 | 0,00083 | 0,0247 | 0,328 | I,I3 | 2,I05 | 3,25 | 3,93 | 4,82 | 5,50 | 6,2 |
| 0,7 | 0,000273 | 0,0083 | 0,II9 | 0,439 | 0,845 | I,035 | I,62 | 2,005 | 2,29 | 2,60 |
| 0,9 | 0,000024 | 0,00075 | 0,0I25 | 0,064 | 0,I5 | 0,264 | 0,332 | 0,423 | 0,492 | 0,56 |

$\zeta_{2T}$ - гидравлическое сопротивление, возникающее при движении воды по трубам;

$\zeta_{2П}$ - гидравлическое сопротивление за счет изменения проницаемости в прискважинной зоне;

$\zeta_{2НЛ.}$ - гидравлическое сопротивление, учитывающее отклонение от линейного закона фильтрации;

$\zeta_{деф}$ - гидравлическое сопротивление, вызванное резким искривлением линий тока вблизи скважины.

Для скважины в напорном пласте $\zeta$ деф. = 0.

II.4.7. Определение $\zeta_{2ф}$ осуществляется следующим образом.

Для дырчатых фильтров - по усовершенствованной И.А.Чарным формуле В.И.Щурова / I04 /

$$\zeta_{2ф} = \frac{320m}{n\,D\,\ell}, \qquad (II.I5)$$

где $m$ - мощность напорного пласта (для безнапорных пластов $m = h_\ell$), м;

$\ell$ - длина рабочей части фильтра, м;

$n$ - число круглых отверстий на I м перфорированной части;

$D$ - диаметр фильтрового отверстия, см.

Для фильтров со щелевыми отверстиями, расположенными в вертикальной плоскости (фильтры из стержней без проволочной обмотки), - по формуле Кордуэлла и Додсона / 2I /

$$\zeta_{2ф} = \frac{2}{n}\ln\frac{2}{\pi\eta} \quad при\ \eta \le 0.3, \qquad (II.I6)$$

где $n$ - число щелей;

$\eta$ - скважность.

Для фильтров со щелевыми отверстиями, расположенными в горизонтальной плоскости (каркасно-стержневые фильтры с проволочной обмоткой), - по формуле А.Л.Хейна / 2I /

$$\zeta_{2\varphi} = \frac{d^3}{\pi^3 r_c b^2}\left[6{,}835\frac{b}{d}\left(1-\frac{b}{d}\right)-2L_i\left(\pi\frac{b}{d}\right)+x\left(\frac{b}{d};2\frac{r_c}{d}\right)\right], \quad \text{II.I7)}$$

где $d$ – расстояние между центрами соседних щелей, см;

$b$ – высота щели, см;

$x\left(\frac{b}{d};2\frac{r_c}{d}\right)$ – табулированная функция, значения которой приведены в табл.II.2.;

$L_i\left(\pi\frac{b}{d}\right)$ – интегральная функция Лобачевского, определяемая по табл.II.3.

II.4.8. Определение $\zeta_{2T}$ производится по формулам, полученным на основе работы Э.А.Грикевича / 30 /:

при одинаковых диаметрах глухих труб и фильтра

$$\zeta_{2T} = \frac{5{,}02\,Q_c^{0,85}\,K\pi L}{D_1^5}, \qquad \text{(II.I8)}$$

при разных диаметрах глухих труб и фильтра

$$\zeta_{2T} = \frac{3{,}72Q_c^{0,85}K\pi L}{D_1^5} + \frac{7{,}3Q_c^{0,85}K\pi\ell}{D_2^5} + \frac{0{,}6\,Q_c K\pi\varphi}{D_2^4}, \qquad \text{(II.I9)}$$

где $Q_c$ – дебит скважины, л/сек;

$L$ – общая длина глухих труб, м;

$D_1$ – внутренний диаметр глухих труб, см;

$D_2$ – внутренний диаметр рабочей части фильтра, см;

$\ell$ – длина рабочей части фильтра, м;

$\varphi=\left(\frac{W_2}{W_1}-1\right)$, $W_2, W_1$ – площади поперечного сечения глухих труб и фильтра.

В формуле (II.I9) слагаемые учитывают соответственно потери напора за счет

трения при движении воды внутри глухих труб,

трения при движении воды внутри рабочей части фильтра,

изменения диаметра труб.

II.4.9. Гидравлическое сопротивление, обусловленное изменением проницаемости в прискважинной зоне, определяется по зависимостям / 2I /:

Таблица II.2

ЗНАЧЕНИЯ ФУНКЦИИ $\chi(z,y)$

| $x$ | Величина функции $\chi(x,y)$ при различных значениях $y$ | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,I | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | I,0 | I,4 | 2 | 4 | 6 | 8 | I0 |
| 0,00000 | -0,0000 | | | | | | | | | | | |
| 0,02 | -0,00422 | -0,00287 | -0,00I77 | -0,00I30 | -0,00I0I | -0,00083 | -0,0006I | -0,00043 | -0,00036 | -0,000I4 | -0,000II | -0,00009 |
| 0,04 | -0,0I624 | -0,0I090 | -0,00677 | -0,00497 | -0,00393 | -0,003I9 | -0,00237 | -0,00I68 | -0,00090 | -0,00060 | -0,00045 | -0,00035 |
| 0,06 | -0,03572 | -0,023I4 | -0,0I447 | -0,0I062 | -0,00845 | -0,00695 | -0,005I7 | -0,00374 | -0,00200 | -0,00I34 | -0,00099 | -0,00080 |
| 0,08 | -0,057II | -0,03890 | -0,02448 | -0,0I786 | -0,0I432 | -0,0II83 | -0,00882 | -0,00638 | -0,00344 | -0,00227 | -0,00I72 | -0,00I36 |
| 0,I0 | -0,08390 | -0,05752 | -0,03635 | -0,02680 | -0,02I35 | -0,0I766 | -0,0I3I6 | -0,00953 | -0,005I3 | -0,00347 | -0,00256 | -0,00206 |
| 0,20 | -0,24766 | -0,I7345 | -0,III68 | -0,08289 | -0,06656 | -0,05498 | -0,04I22 | -0,02999 | -0,0I62I | -0,0I08I | -0,008I5 | -0,0065I |
| 0,30 | -0,4097I | -0,29025 | -0,I8885 | -0,I4069 | -0,II326 | -0,0944I | -0,07052 | -0,05I20 | -0,02792 | -0,0I862 | -0,0I403 | -0,0II22 |
| 0,40 | -0,52334 | -0,37303 | -0,244I0 | -0,I8245 | -0,I4622 | -0,I2202 | -0,09I88 | -0,06659 | -0,03646 | -0,0243I | -0,0I832 | -0,0I468 |
| 0,50 | -0,565I0 | -0,403I8 | -0,264I7 | -0,I9778 | -0,I5875 | -0,I3232 | -0,I0000 | -0,07208 | -0,0396I | -0,02638 | -0,0I988 | -0,0I59I |

Таблица II.3

Значения интегральной функции Лобачевского $L_i(x)$

| $x$ | $L_i(x)$ | $x$ | $L_i(x)$ | $x$ | $L_i(x)$ | $x$ | $L_i(x)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,000 | 0,000 | 0,384 | 0,228 | 0,768 | 0,299 | I,I52 | 0,3I4 |
| 0,0I8 | 0,0I8 | 0,40I | 0,234 | 0,785 | 0,300 | I,I69 | 0,3I4 |
| 0,035 | 0,035 | 0,4I9 | 0,239 | 0,802 | 0,30I | I,I87 | 0,3I4 |
| 0,052 | 0,05I | 0,436 | 0,243 | 0,820 | 0,303 | I,204 | |
| 0,070 | 0,066 | 0,454 | 0,248 | 0,838 | 0,304 | I,222 | |
| 0,087 | 0,079 | 0,47I | 0,252 | 0,855 | 0,305 | I,239 | |
| 0,I05 | 0,092 | 0,489 | 0,257 | 0,873 | 0,306 | I,257 | |
| 0,I22 | 0,I04 | 0,506 | 0,26I | 0,890 | 0,307 | I,274 | |
| 0,I40 | 0,II6 | 0,524 | 0,264 | 0,908 | 0,308 | I,292 | |
| 0,I57 | 0,I27 | 0,54I | 0,268 | 0,925 | 0,309 | I,309 | 0,3I5 |
| 0,I75 | 0,I37 | 0,559 | 0,27I | 0,950 | 0,309 | I,327 | |
| 0,I92 | 0,I47 | 0,576 | 0,274 | 0,960 | 0,3I0 | I,344 | |
| 0,209 | 0,I56 | 0,593 | 0,277 | 0,977 | 0,3I0 | I,36I | |
| 0,227 | 0,I65 | 0,6II | 0,280 | 0,995 | 0,3I0 | I,379 | |
| 0,244 | 0,I73 | 0,628 | 0,283 | I,0I2 | 0,3I2 | I,396 | |
| 0,262 | 0,I82 | 0,646 | 0,285 | I,030 | 0,3I2 | I,4I4 | |
| 0,297 | 0,I97 | 0,68I | 0,290 | I,065 | 0,3I2 | I,449 | |
| 0,3I4 | 0,204 | 0,698 | 0,292 | I,082 | 0,3I3 | I,466 | |
| 0,332 | 0,2I0 | 0,7I6 | 0,293 | I,I00 | 0,3I3 | I,484 | |
| 0,349 | 0,2I6 | 0,733 | 0,295 | I,II7 | 0,3I4 | I,50I | |
| 0,367 | 0,222 | 0,75I | 0,297 | I,I35 | 0,3I4 | I,57I | |

Таблица II.4

Значения функции $K_1(x)$

| $x$ | $K_1(x)$ | $x$ | $K_1(x)$ | $x$ | $K_1(x)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,0 | $\infty$ | | | | |
| 0,02 | 49,9547 | 0,42 | 2,0590 | 0,82 | 0,8298 |
| 0,04 | 24,9233 | 0,44 | I,9449 | 0,84 | 0,7993 |
| 0,06 | I6,5637 | 0,46 | I,8405 | 0,86 | 0,7704 |
| 0,08 | I2,3742 | 0,48 | I,7447 | 0,88 | 0,7428 |
| 0,I0 | 9,8538 | 0,50 | I,6564 | 0,90 | 0,7I65 |
| 0,I2 | 8,I688 | 0,52 | I,5749 | 0,92 | 0,69I5 |
| 0,I4 | 6,96I5 | 0,54 | I,4994 | 0,94 | 0,6675 |
| 0,I6 | 6,0533 | 0,56 | I,4292 | 0,96 | 0,6447 |
| 0,I8 | 5,3447 | 0,58 | I,3638 | 0,98 | 0,6228 |
| 0,20 | 4,7760 | 0,60 | I,3028 | I,00 | 0,60I9 |
| 0,22 | 4,3092 | 0,62 | I,2458 | I,I0 | 0,5098 |
| 0,24 | 3,9I9I | 0,64 | I,I923 | I,20 | 0,4346 |
| 0,26 | 3,5880 | 0,66 | I,I420 | I,30 | 0,3725 |
| 0,28 | 3,3033 | 0,68 | I,0948 | I,40 | 0,3208 |
| 0,30 | 3,0560 | 0,70 | I,0503 | I,50 | 0,2774 |
| 0,32 | 2,8390 | 0,72 | I,0083 | I,60 | 0,2406 |
| 0,34 | 2,6470 | 0,74 | 0,9686 | I,70 | 0,2094 |
| 0,36 | 2,4760 | 0,76 | 0,93II | I,80 | 0,I826 |
| 0,38 | 2,3227 | 0,78 | 0,8955 | I,90 | 0,I597 |
| 0,40 | 2,I844 | 0,80 | 0,86I8 | 2,00 | 0,I399 |

при скачкообразном изменении проницаемости пород в пласте

$$\xi_{2П} = \left(\frac{K_П}{K_Ц} - 1\right) \ln \frac{r_Ц}{r_0}, \qquad (II.20)$$

при линейном изменении проницаемости прифильтровой зоны

$$\xi_{2П} = \frac{q_э - q}{q} \ln \frac{R}{r_c}, \qquad (II.21)$$

где $K_П$ - коэффициент фильтрации водоносного горизонта;

$K_Ц$ - коэффициент фильтрации пород у скважины в зоне радиусом $r_Ц$;

$q_э = \frac{2\pi K_П m}{\ln \frac{R}{r_c}}$ - функция пластовой водопроводимости;

$q = \frac{Q}{S_c}$ - отношение текущего дебита скважины к величине депрессии пластового напора.

II.4.I0. Гидравлическое сопротивление $\xi_{2Н.Л}$ при работе водопонижающих скважин в большинстве случаев, особенно при наличии гравийных обсыпок, отсутствует, так как сохраняется линейный закон фильтрации.

В тех случаях, когда отклонение от линейного закона фильтрации может иметь место (значительные величины коэффициентов фильтрации, большие значения понижений), определение $\xi_{2Н.Л}$ осуществляют по данным откачек при установившейся и квазиустановившейся фильтрации с использованием формулы Н.Н.Веригина / 60 /

$$\xi_{2Н.Л} = \frac{\varphi Q (\varphi - 1)}{2\pi K_П m \Delta_1}, \qquad (II.22)$$

где

$$\varphi = \frac{1 - \frac{Q_1}{Q_2}}{1 - \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2 \frac{\Delta_2}{\Delta_1}}; \qquad (II.23)$$

$\Delta_1$ и $\Delta_2$ - разности понижений в центральной и наблюдательной скважинах при дебитах $Q_1$ и $Q_2$ соответственно.

II.4.II. Для условий напорного пласта расчет гидравлических сопротивлений, учитывающих несовершенство скважины, на этом заканчивается.

II.4.I2. Для безнапорного пласта следует определить еще $\zeta$ деф., которое при столбе воды в скважине, равном нулю и установившейся фильтрации, рассчитывается следующим образом.

Сначала определяется значение высоты высачивания по формуле (4.8), затем вычисляется величина гидравлического сопротивления $\frac{\zeta}{}$ деф. в долях единицы от суммарного сопротивления ( $\ell n \frac{R}{r_0} + \zeta_{деф}$) по выражению

$$\zeta_{деф} = \frac{h_в^2}{h_e^2} . \qquad (II.24)$$

Зная значение $\ell n \frac{R}{r_c}$ , определяют абсолютное значение $\zeta$ деф.

II.5. Учет начального градиента фильтрации

II.5.I. В приведенных выше в "Методических указаниях..." расчетных формулах подразумевалось, что имеет место линейный закон фильтрации (закон Дарси)

$$v = \kappa J , \qquad (II.25)$$

согласно которому скорость фильтрации прямо пропорциональна напорному градиенту $J$ .

В слабопроницаемых слоях движение воды может происходить в случае превышения напорным градиентом начального градиента фильтрации $i_0$ . Скорость фильтрации при наличии начального градиента определяется выражением

$$v = \kappa (J - i_0) . \qquad (II.26)$$

Если выразить напорный градиент в виде отношения напора H к длине пути фильтрации $\ell$ , то выражение (II.26) примет вид

$$v = \kappa \left( \frac{H}{\ell} - i_0 \right) . \qquad (II.27)$$

Величину напорного градиента можно выразить двояко: в виде отношения критического напора к постоянному значению длины пути фильтрации $\frac{H_{кр}}{\ell}$ или как отношение неизменного напора к критической длине пути фильтрации $\frac{H}{\ell_{кр}}$ / 101 /.

Значение $H_{кр} = \ell' \cdot i_0$ . Тогда при $H < H_{кр}$ фильтрации не будет, при $H > H_{кр}$ будет происходить движение воды, при $H = H_{кр}$ вода находится в предельном состоянии.

Величина $i_{кр} = \frac{H}{\ell_0}$ . В этом случае при $i' < i_{кр}$ в слабопроницаемом слое происходит фильтрация, при $i' > i_{кр}$ движение воды не осуществляется и при $i' = i_{кр}$ – предельное состояние воды в порах породы.

II.5.2. Если два водоносных горизонта, разделенные слабопроницаемым слоем с начальным градиентом фильтрации $i_0$, вскрываются горизонтальной дреной, то приток к выработке, приведенной к большому колодцу, определяется по формуле /78/

$$Q = 2\pi k m \left[ (\Delta H_2 - i_0 m_0) \sqrt{3}\, r_к \frac{K_1(r_к\sqrt{B})}{K_0(r_к\sqrt{B})} + A_0 \right], \quad \text{(II.28)}$$

где $\Delta H_2$ – разность уровней горизонтов на контуре дренажа;

$K_0$ и $K_1$ – функции Бесселя второго рода нулевого и первого порядков, определяемые соответственно по таблицам 6.5. и II.4.

$$B = \frac{k_0}{k m m_0}; \quad A_0 = \frac{Q_п}{2\pi k_п m_п};$$

$Q_п$ – приток воды в выработку из более водообильного водоносного горизонта.

II.5.3. При условии, что фильтрация в слабопроницаемом слое происходит при жестком режиме ( $\mu_c^* = 0$), расчет понижений в верхнем и нижнем напорных пластах осуществляется по формулам / 66 /

при откачке из нижнего горизонта (2)

$$S_2 = \frac{Q_2}{4\pi(k_1 m_1 + k_2 m_2)} \left[ -E_i(-\alpha) + \gamma_1 \gamma(\alpha, \frac{r}{B}) \right], \quad \text{(II.29)}$$

$$S_1 = \frac{Q_2}{4\pi(k_1 m_1 + k_2 m_2)} \left[ -E_i(-\alpha) - \gamma(\alpha, \frac{r}{B}) \right], \quad \text{(II.30)}$$

где $\alpha = \frac{r^2}{4 a^{**} t}$; $B = \sqrt{\frac{m_0 k_2 m_2}{k_0(1+\gamma_2)}}$; $\frac{1}{a^{**}} = \left(\frac{1}{a_1^*} + \frac{1}{a_2^*}\right)^2$;

$a_1^* = \frac{K_1 m_1}{\mu_1^*}$; $a_2^* = \frac{K_2 m_2}{\mu_2^*}$; $\gamma_1 = \frac{K_1 m_1}{K_2 m_2}$; $\gamma_2 = \frac{K_2 m_2}{K_1 m_1}$,

$\left[-E_i(-\alpha)\right]$ и $J(\alpha \frac{r}{B})$ - функции, определяемые соответственно по таблицам 6.I. и 6.2.

Эти формулы справедливы для $t \geq t_0$, при котором $S_2 > i_0 m_0$. До этого момента времени понижение уровней в соседнем горизонте не происходит ($S_1 = 0$), а в нижнем горизонте понижение определяется по формуле для однородного пласта с непроницаемыми кровлей и почвой.

Размер зоны перетекания (подвижной границы) при откачке из одиночной скважины определяется по формуле

$$R(t) = \sqrt{(\beta + \gamma_0^2)\rho^2 - \beta}, \qquad (II.3I)$$

где $\beta = \frac{Q_2}{\pi i_0 K_0}$, $\rho = \frac{i_0 K_0 t}{n m_2}$,

$n$ - эффективная пористость нижнего пласта.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

I. Абрамов Н.Н., Гениев Н.Н., Павлов В.И. Водоснабжение. - М.: Стройиздат, I950.

2. Абрамов С.К., Скиргелло О.Б., Чельцов М.И. Осушение шахтных полей и карьеров. - М.: Госгортехиздат, I96I, 399с.

3. Абрамов С.К., Скиргелло О.Б. Способы, системы и расчеты осушения карьерных полей. - М.: "Недра", I968, 255с.

4. Абрамов С.К., Газизов М.С., Костенко В.И. Защита карьеров от воды. - М.: "Недра", I976, 230с.

5. Аравин В.И., Нумеров С.Н. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде. - М.: Гостехиздат, I953, 6I6с.

6. Бабинец А.Е., Огняник Н.С., Шестопалов В.М., Ситников А.Б. и др. Введение в моделирование гидрогеологических процессов. - Киев: "Наукова думка". I980, 25Iс.

7. Биндеман Н.Н. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. - М.: Госгеолтехиздат, I963, 203с.

8. Бондаренко Н.Ф. Физика движения подземных вод. - Л.: Гидрометеоиздат, I973.

9. Боревский Б.В., Самсонов Б.Г. Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. - М.: "Недра", I979, 326с.

I0. Бочевер Ф.М., Веригин Н.Н. Методическое пособие по расчетам эксплуатационных запасов подземных вод для водоснабжения. - М.: Госстройиздат, I96I, I99с.

II. Бочевер Ф.М. Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. - М.: "Недра", I968, 325с.

I2. Бочевер Ф.М., Лапшин Н.Н., Хохлатов Э.М. Расчет притока подземных вод к скважинам в долинах рек. Ж-л "Разведка и охрана недр". I968, № 9, с.44-49.

13. Бочевер Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В., Шестаков В.М. Основы гидрогеологических расчетов. - М.: "Недра", 1969, 367с.

14. Бочевер Ф.М., Лапшин Н.Н., Хохлатов Э.М. Оценка производительности водозаборов подземных вод в речных долинах. Ж-л "Водные ресурсы", 1978, № 1, с.16-28.

15. Бэр Я., Заславски Д., Ирмей С. Физико-математические основы фильтрации воды. - М.: "Мир", 1971, 452с.

16. Веригин Н.Н. Методы определения фильтрационных свойств горных пород. - М.: Госстройиздат, 1962, 180с.

17. Вишневский П.Ф. Ливни и ливневой сток на Украине (на укр.яз.). - Киев: "Наукова думка". 1969.

18. Водопонижение в гидротехническом строительстве. (Воробков Л.Н., Гаврилко В.М., Лобачев П.В., Шестаков В.М.) - М.: Госстройиздат, 1960, 244с.

19. Временная инструкция по проектированию осушения месторождений полезных ископаемых. - Белгород: ин-т ВИОГЕМ, 1968, 66с.

20. Временные технические требования угольной промышленности к геологоразведочным работам и исходным геологическим материалам, представленным для проектирования нового строительства и реконструкции шахт и разрезов. - М.: Минуглепром СССР, 1970, 24с.

21. Гаврилко В.М. Фильтры водозаборных, водопонизительных и гидрогеологических скважин. - М.: Стройиздат, 1968, 397с.

22. Гаврилко В.М., Алексеев В.С. Фильтры буровых скважин. - М.: "Недра", 1976, 344с.

23. Ганиев К.Г. Испарение и инфильтрационное питание грунтовых вод (на примере орошаемых массивов). - Ташкент: Фан, 1979, 212с.

24. Гидрогеологические исследования в горном деле. (Под ред. Мироненко В.А.) - М.: "Недра", 1976, 352с.

25. Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород (Веригин Н.Н., Васильев С.В., Саркисян В.С., Шержуков Б.С.) - М.: "Недра", 1977, 271с.

26. Григорьев В.М. Расчет подрусловых инфильтрационных водозаборов. - М.: Тр. ВНИИВОДГЕО, 1966, вып.13 (Гидрогеология), с.66-83.

27. Григорьев К.Н. Канско-Ачинский угольный бассейн. - М.: "Недра", 1968, 183с.

28. Гидротехника в горном деле и строительстве. - М.: "Недра", 1978, 407с.

29. Гордеев П.В., Шемелина В.А., Шулякова О.К. Руководство к практическим занятиям по гидрогеологии. - М.: "Высшая школа", 1981, 152с.

30. Грикевич Э.А. Влияние гидравлических сопротивлений скважины на приток воды. - Рига: "Зинатне", 1969, 245с.

31. Давыдов Л.К., Дмитриева А.А., Конкина Н.Г. Общая гидрология. - Л.: Гидрометеоиздат, 1973, 462с.

32. Дробноход Н.И. Оценка запасов подземных вод. - Киев: "Вища школа", 1976, 215с.

33. Жернов И.Е., Шестаков В.М. Моделирование фильтрации подземных вод. - М.: "Недра", 1971, 224с.

34. Жернов И.Е., Павловец И.Н. Моделирование фильтрационных процессов. - Киев: "Вища школа", 1976, 192с.

35. Жук С.Г., Спивак О.А., Турчин И.В. Оценка эффективности действия подземной дренажной системы на разрезе "Уропский-1". - М.: ИГД им.А.А.Скочинского, Сб. "Научные сообщения". Технология и оборудование для угольных разрезов, вып. 177, 1979, с.33-41.

36. Зарубинский Я.И., Минаева А.Б. Гидрогеологические исследования при разведке карьерных угольных полей. - Ростов-на-Дону: ДонбассНИЛ, 1974, 29с.

37. Зеленин И.В. Оценка параметров фильтрации водоносных пластов с применением методов математической статистики. - Кишинев: "Штиинца", 1976, 150с.

38. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий при разведке и освоении месторождений твердых полезных ископаемых (Пересунько Д.И., Прохоров С.П. и др.). - М.: "Недра", 1969, 408с.

39. Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям углей и горючих сланцев. Инструкция о порядке внесения, содержания и оформления материалов по подсчету запасов углей и горючих сланцев, представляемых для утверждения в государственную комиссию по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР. - М.: "Недра", 1968, 64с.

40. Инструкция по проведению опытно-фильтрационных работ при разведке угольных месторождений (Сердюков Л.И., Норватов Ю.А.) - Л.: ВНИМИ, 1977, 39с.

41. Ионат В.А. Расчет горизонтального дренажа в неоднородных грунтах. - Таллин: ЭНИИЗиМ, 1962, 347с.

42. Каменец Б.А. Литолого-гидрогеологическая типизация внутренних отвалов, их оснований и требования, предъявляемые к осушению. - Киев: "Техника". Сб. ин-та УкрНИИпроект. Технология открытых горных работ, 1971, с.33-38.

43. Каменский Г.Н. Основы динамики подземных вод. - М.: Госгеолиздат, 1943, 260с.

44. Климентов П.П., Кононов В.М. Динамика подземных вод. - М.: "Высшая школа", 1973, 440с.

45. Кравчук С.В. Расчет системы горизонтальных дренажных скважин при защите бортов карьеров от подземных вод. - Белгород: Изд-во ин-та ВИОГЕМ, 1969, 79с.

46. Куваев Н.Н., Карпенко Е.П. Инженерно-геологические условия буроугольных месторождений Канско-Ачинского бассейна: Экспресс-информация, - М.: ЦНИЭИуголь, 1977.

47. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. - М.: Гостоптехиздат, 1949, 628с.

48. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства. - М.: Стройиздат, 1977, 320с.

49. Методические указания по определению гидрогеологических параметров при разведке и освоении угольных месторождений. - Л.: Изд-во ВНИМИ, 1974, 140с.

50. Методическое руководство по разведке и оценке эксплуатационных запасов подземных вод для водоснабжения. - М.: Изд-во ВСЕГИНГЕО, 1979, 132с.

51. Минкин Е.Л. Взаимосвязь подземных и поверхностных вод и ее значение при решении некоторых гидрогеологических и воднохозяйственных задач. - М.: Стройиздат, 1973, 102с.

52. Мироненко В.А., Норватов Ю.А. Осушение карьеров при наклонном залегании водоносных пластов. - Л.: "Недра", Записки Ленинградского горного института, том XLУШ, вып.2. Гидрогеология и инженерная геология. 1965, с.17-21.

53. Мироненко В.А. Учет уклона водоупора в задачах безнапорной неустановившейся фильтрации. - Л.: Тр. ВНИМИ. Горное давление, сдвижение горных пород и методика маркшейдерских работ. Сб. LXУП, 1967, с.256-265.

54. Мироненко В.А. О неустановившейся фильтрации вблизи открытых горных выработок в условиях напорно-безнапорного режима. - Л.: Тр. ВНИМИ. Горное давление, сдвижение горных пород и методика маркшейдерских работ. Сб. LXУП, 1967, с.276-281.

55. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики. - М.: "Недра", 1974, 295с.

56. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. - М.: "Недра", 1978, 325с.

57. Мироненко В.А., Румынин В.Г., Учаев В.К. Охрана подземных вод в горнодобывающих районах. - Л.: "Недра", 1980, 320с.

58. Молоков М.В., Шифрин В.Н. Очистка поверхностного стока с территорий городов и промышленных площадок. - М.: Стройиздат, 1977.

59. Надарейшвили А.В. Методы исследований опытных гидродинамических работ и явлений в системе пласт-скважина. - М.: "Недра", 1978, 224с.

60. Олейник А.Я. Фильтрационные расчеты вертикального дренажа. - Киев: "Наукова думка", 1978, 202с.

61. Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа. - Киев: "Наукова думка", 1981, 283с.

62. Опыт водопонижения на месторождениях полезных ископаемых со сложными гидрогеологическими условиями (Газизов М.С., Лебедянская З.П., Унковская Н.Ф. и др.). - М.: Изд-во АН СССР, 1963, 413с.

63. Опыт осушения буроугольных разрезов в ГДР (Мироненко В.А., Устинов С.А., Волчанский В.Я., Сердюков Л.И.). - М.: ЦНИЭИуголь, 1971, 47с.

64. Опытно-фильтрационные работы. Под ред. Шестакова В.М. и Башкатова Д.Н. - М.: "Недра", 1974, 202с.

65. Осушение выработок в неоднородных водоносных системах (Бунтман А.Д., Малышев Л.И., Хасин М.Ф. и др.). - М.: "Недра", 1977, 208с.

66. Осушение месторождений при строительстве железорудных предприятий (Оксанич И.Ф., Береснев В.С. и др.). - М.: "Недра", 1977, 285с.

67. Панюков Н.Н. Инженерная геология. - М.: Госгортехиздат, 1962, 344с.

68. Пеньковский В.И., Рыбакова С.Т. Фильтрация в напорном пласте с учетом начальных градиентов кровли и подошвы. - Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1968, № 6, с.173-176.

69. Писанец Е.П., Мироненко В.А. Опыт водопонижения на карьерах КМА. - М.: "Недра", 1968, 135с.

70. Плотников Н.И., Сыроватко М.В., Щеголев Д.И. Подземные воды рудных месторождений. - М.: Металлургиздат, 1957, 614с.

7I. Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения. Под ред. Биндемана Н.Н. - М.: "Недра", I969, 329с.

72. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. - М.: "Наука", I977, 664с.

73. Попов Е.Г. Гидрологические прогнозы. - Л.: Гидрометеоиздат, I979, 256с.

74. Пыхачев Г.Б. Подземная гидравлика. - М.: Гостоптехиздат, I96I, 300с.

75. Руднев Е.Н., Устинов С.А. Критерии применимости водопонижающих скважин для целей осушения угольных разрезов. - Киев: Изд-во ин-та УкрНИИпроект. Сб. "Технология открытых горных работ с применением техники непрерывного действия". I976, с.30-38.

76. Руднев Е.Н. Осушение разреза водопонижающими скважинами с учетом перемещения борта. Ж-л "Уголь Украины", № I2, I979, с.I4-I6.

77. Руководство по дренированию карьерных полей. Разделы I и П (Мироненко В.А., Фисенко Г.Л., Норватов Ю.А., Бокий Л.Л., Жернов И.Е., Устинов С.А.) - Л.: Изд-во ВНИМИ, I968, I7Iс.

78. Руководство по дренированию карьерных полей. Разделы Ш и IУ (Мироненко В.А., Норватов Ю.А., Бокий Л.Л., Жернов И.Е., Устинов С.А., Спивак О.А.). - Л.: Изд-во ВНИМИ, I968, 2I2с.

79. Руководство по дренированию карьерных полей. Разделы У и УI (Мироненко В.А., Фисенко Г.Л., Рюмин А.Н., Сердюков Л.И.). - Л.: Изд-во ВНИМИ, I970, I73с.

80. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. - Л.: Гидрометеоиздат, I976, IIIс.

8I. Руппенейт К.В. Деформируемость массивов трещиноватых горных пород. - М.: "Недра", I975, 224с.

82. Ситников А.Б. Динамика воды в ненасыщенных и насыщенных грунтах зоны аэрации. - Киев: "Наукова думка", I978, I56с.

83. Ситников А.Б. Современные методы изучения зоны аэрации на опорных режимных станциях. - Киев: Изд-во Института геологических наук АН УССР, I978, 60с.

84. Скабалланович И.А. Гидрогеологические расчеты по динамике подземных вод. - М.: Госгортехиздат, I960, 407с.

85. Соколов Ю.Д. Об одной осесимметричной задаче теории неустановившихся движений грунтовых вод. - Украинский математический журнал т.УI, I955, № I, с.28-38.

86. Спивак О.А. Расчет системы горизонтальных скважин в условиях неустановившейся фильтрации. - Сб. научных трудов Киевского ун-та. Материалы по геологии, гидрогеологии, геофизике, геохимии Украины, Урала, Казахстана, Алтая и Сибири. I972, № 8, с.85-88.

87. Спивак О.А., Устинов С.А., Рудиев Е.Н. Влияние диаметра на эффективность работы горизонтальных скважин. - Сб. научных трудов Киевского ун-та. Материалы по геологии, гидрогеологии, геофизике, геохимии Украины, Казахстана, Кавказа и Забайкалья, I974, № I0, с.I5-2I.

88. Справочное руководство гидрогеолога. - Л.: Гостоптехиздат, I959, 836с.

89. Справочное руководство гидрогеолога. Т.I. - Л.: "Недра", I967, 592с.

90. Справочное руководство гидрогеолога. Т.I. - Л.: "Недра", I979, 5I2с.

9I. Субботина Л.А. К вопросу изучения кольматации русловых отложений по данным эксплуатации инфильтрационных водозаборов. Новые методы изучения гидрогеологических и инженерно-геологических процессов. - М.: Тр. ВСЕГИНГЕО, вып.I2I, I978, с.8-I2.

92. Сыроватко М.В. Гидрогеология и инженерная геология при освоении угольных месторождений. - М.: Госгортехиздат, I960, 499с.

93. Троянский С.В., Белицкий А.С., Чекин А.И. Гидрогеология и осушение месторождений полезных ископаемых. - М.: Углетехиздат, I956, с.300.

94. Угольные месторождения для разработки открытым способом. - М.: "Недра", 1971, с.180.

95. Устинов С.А., Спивак О.А. Применение горизонтальных скважин при дренаже карьеров и методика их расчетного обоснования. - Киев: "Техника". Сб. ин-та УкрНИИпроект. Технология открытых горных работ. 1971, с.22-28.

96. Устинов С.А., Спивак О.А., Каменец Б.А., Руднев Е.Н., Сысуев Д.И. Дренажные работы на разрезах и повышение их эффективности. Экспресс-информация. - М.: ЦНИЭИуголь, 1975, 40с.

97. Устинов С.А. Расчет параметров безнапорного фильтрационного потока вблизи совершенной скважины в условиях стационарного режима. - В кн.: Устинов С.А., Отняник Н.С. Изменение гидрогеологических условий при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом и строительстве крупных гидротехнических сооружений. - Киев: "Знание", 1980, с.6-16.

98. Фисенко Г.Л. Мироненко В.А. Дренаж карьерных полей. - М.: "Недра", 1972, 185с.

99. Хантуш М.С. Анализ данных опытных откачек из скважины в водоносных горизонтах с перетеканием. - В кн.: Вопросы гидрогеологических расчетов. - М.: "Мир", 1964, с.27-42.

100. Хантуш М.С. Новое в теории перетекания. - В кн.: Вопросы гидрогеологических расчетов. - М.: "Мир", 1964, с.43-60.

101. Ходьков А.Е., Валуконис Г.Ю. Формирование и геологическая роль подземных вод. - Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1968, 216с.

102. Цытович Н.А. Механика грунтов. - М.: Госстройиздат, 1963, 636с.

103. Цытович Н.А. Механика грунтов. - М.: "Высшая школа", 1973, 280с.

104. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика. - М.: Гостоптехиздат, 1963, 396с.

105. Шестаков В.М. Неустановившаяся фильтрация при наклонном водоупоре. Докл. АН СССР, т.108. - М.: 1956, № 5.

106. Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. - М.: Изд-во Моск.ун-та, 1965, 233с.

107. Шестаков В.М., Кравченко И.П., Пашковский И.С. Практикум по динамике подземных вод. - М.: Изд-во Моск.ун-та, 1969, 224с.

108. Щелкачев В.Н. Разработка нефтеводоносных пластов при упругом режиме. - М.: Гостоптехиздат, 1959, 467с.

109. Kashef A.I. Exact free surface of gravity wells.- Journal of the hydraulics division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Hj 4, July, 1965, pp.167-184.

110. Kirhkam D. Exact theory for the shape of the free water surface about a well in a semiconfined aquifer.- J. Geophys. Res. 69, No.12, 1964, pp.2537-2549.

# С О Д Е Р Ж А Н И Е


| | стр. |
|---|---|
| I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ..... | 6 |
| I.I. Исходные фильтрационные, метеорологические и гидрологические параметры для определения притоков в разрезы ..... | 6 |
| I.2. Факторы, влияющие на выбор способа осушения разреза и его расчетное обоснование ..... | 7 |
| I.3. Требования к осушению разрезов ..... | I2 |
| I.4. Условия применения различных способов осушения ..... | I3 |
| I.5. Классификация угольных месторождений с открытым способом разработки для прогнозирования притоков воды в горные выработки при различных гидрогеологических условиях ..... | I7 |
| 2. ВЫБОР РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИТОКОВ ВОДЫ В РАЗРЕЗЫ ..... | 23 |
| 2.I. Основные принципы прогнозирования ..... | 23 |
| 2.2. Схематизация природных условий ..... | 24 |
| 2.3. Порядок определения водопритоков в разрезы ..... | 32 |
| 3. РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДРЕН ..... | 50 |
| 3.I. Установившаяся фильтрация ..... | 50 |
| 3.2. Неустановившаяся фильтрация ..... | 55 |
| 4. РАСЧЕТ ПРИТОКОВ ВОДЫ К ВОДОПОНИЖАЮЩИМ СКВАЖИНАМ В ПРОСТЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ..... | 67 |

4.1. Расчет одиночных скважин ..... 67

4.2. Расчет линейных рядов водопонижающих скважин ..... 74

5. РАСЧЕТ ПРИТОКОВ БЕЗНАПОРНЫХ ВОД К РАЗРЕЗНОЙ ТРАНШЕЕ И ЛИНЕЙНОМУ РЯДУ ВОДОПОНИЖАЮЩИХ СКВАЖИН НА РАБОЧЕМ БОРТУ ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕЙСЯ ФИЛЬТРАЦИИ С УЧЕТОМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОСУШЕНИЯ ПОЛЯ РАЗРЕЗА И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БОРТА ..... 82

6. РАСЧЕТ ПРИТОКОВ ВОДЫ К ВОДОПОНИЖАЮЩИМ СКВАЖИНАМ В СЛОЖНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ..... 93

6.1. Расчет притоков воды к скважинам, работающим в двухслойном пласте ..... 93

6.2. Расчет притоков воды к скважинам в слоистой толще ..... 100

6.3. Расчет водопритоков к скважинам при учете криогенных факторов ..... 109

7. РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДРЕНАЖНЫХ СКВАЖИН ..... 112

7.1. Установившаяся фильтрация ..... 112

7.2. Неустановившаяся фильтрация ..... 117

8. РАСЧЕТ ВОДОПРИТОКОВ В ПОДЗЕМНЫЕ ДРЕНАЖНЫЕ ВЫРАБОТКИ ..... 123

9. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОТОКОВ И ВОДОЕМОВ НА ПРИТОКИ ВОДЫ В ОТКРЫТЫЕ ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ ..... 132

10. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ И ВОДОПОНИЖЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРИТОКОВ ВОДЫ В РАЗРЕЗЫ ..... 140

II. УЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ПРИТОКОВ ВОДЫ В РАЗРЕЗЫ ..... 153

II.1. Учет влияния наклона водоупора на эффективность действия дренажных выработок и устройств ..... 153

II.2. Учет напорно-безнапорного потока подземных вод ..... 153

II.3. Учет инфильтрационного питания и перетекания ..... 154

II.4. Учет несовершенства водопонижающих скважин ..... 155

II.5. Учет начального градиента фильтрации .. 165

Список использованных источников ..... 168

Старший редактор Н.И.Федорова

ЛБ 20371... К печати 14.02.84. Формат бумаги 60x84 1/16
Печат.л. 10,23 Тираж 500 экз. Цена ...79.400
Заказ .038:84.

Типография ВЦ Статуправления

gost.e-ecolog.ru