

УДК 622.693.2.004.4

ИНФУЗИОННЫЕ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ЗАВЕСЫ И ИХ РАСЧЕТ

Халявкин Ф.Г., Оника С.Г. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь), Войтенко В.С. (ООО «Белорусское горное общество», г. Минск, Беларусь)

В статье приведен анализ области возможного применения инфузионных противofильтрационных завес на карьерах, изложены методы и способы их сооружения, применяемые машины и станки, схемы и методика расчета этих сооружений.

Введение

Применение противofильтрационных завес в горной промышленности для защиты карьеров и шахтных стволов от воды берет начало в 60-е годы прошлого столетия. Вначале данный способ защиты карьеров применялся на месторождениях полезных ископаемых с неглубоким залеганием водоносных горизонтов, характеризующихся высокими фильтрационными свойствами, а также на месторождениях, где динамические запасы подземных вод преобладали над статическими запасами. В дальнейшем с проведением ряда исследований было установлено, что применение противofильтрационных завес технически возможно и экономически целесообразно и на более крупных карьерах с глубоким залеганием водоносных горизонтов.

В настоящее время в зависимости от технологии сооружения и применяемого материала для их формирования применяют следующие типы противofильтрационных завес: инфузионные (засыпные или заливные), инъекционные (нагнетательные) и криогенные (ледопородные). Основные требования формирования этих завес: непрерывность, низкая водопроницаемость, надежность контакта с водоупорами в почве и в кровле водоносного слоя, сопротивление воздействию горного и гидростатического давлений, простота технологии создания завес и экономическая целесообразность применения.

Результаты исследований

Инфузионная противofильтрационная завеса представляет собой узкую траншею или щель, отрытую до подошвы водоносного горизонта и заполненную водонепроницаемым материалом. Технология формирования таких завес включает два этапа: первый – строительство специальными машинами траншеи или щели, второй – заполнение их водонепроницаемым материалом, например глиной, или укладка в них готового изоляционного материала, например синтетической ткани, пропитанной битумом.

Наиболее эффективным является применение завес инфузионного типа в условиях невысоких механических свойств разрабатываемых горных пород, небольшой глубины залегания водоупоров, подстилающих водоносный горизонт, выдержанности горизонтов в вертикальном и горизонтальном направлениях, равнинного рельефа поверхности земли.

Инфузионные завесы можно сооружать траншейно-щелевым и скважинно-щелевым методами. Первые сооружаются серийно выпускаемыми машинами циклического и непрерывного действия: одно- и многоковшовыми экскаваторами, вторые – специальными буровыми станками, оборудованными электробурами.

Вырабатываемая в процессе проходки горная порода складывается у бровки траншеи и, по мере ее сооружения, укладывается в нее обратно с помощью бульдозеров или

грейферов. При этом происходит измельчение, а при необходимости и перемешивание вынудой породы-заполнителя с добавляемыми противοфилтpационными материалами.

Недостатками применения технологии устройства завес с применением одноковшовых экскаваторов является их невысокая производительность из-за цикличности выемки породы, небольшая до 20 м глубина траншей, невозможность применения экскаваторов в грунтах с коэффициентом крепости более 2, а также сравнительно высокая стоимость работ.

Применение машин непрерывного действия траншекопателей типа ЭГТ и БМ, а также установок типа СВД и УБС не снимает все вышеперечисленные недостатки, однако позволяет обеспечить поточность выемки горной породы на глубину до 50 м при ширине траншеи 0,5-0,6 м. Основным недостатком их применения является то, что они могут сооружать траншеи только в песчано-глинистых породах с коэффициентом крепости не более 2.

Проведенный анализ области возможного применения инфузионных противοфилтpационных завес и группировка карьеров России и Украины по максимальной глубине залегания водоупоров основных водоносных горизонтов (II-VII категории буримости) показал возможность его применения только на 85 из 138 (61 %) карьерах (таблица 1). Причинами невозможности применения завес на остальных пятидесяти трех карьерах явились: 1) отсутствие выраженного водоупора; 2) преобладание в разрезе скальных пород.

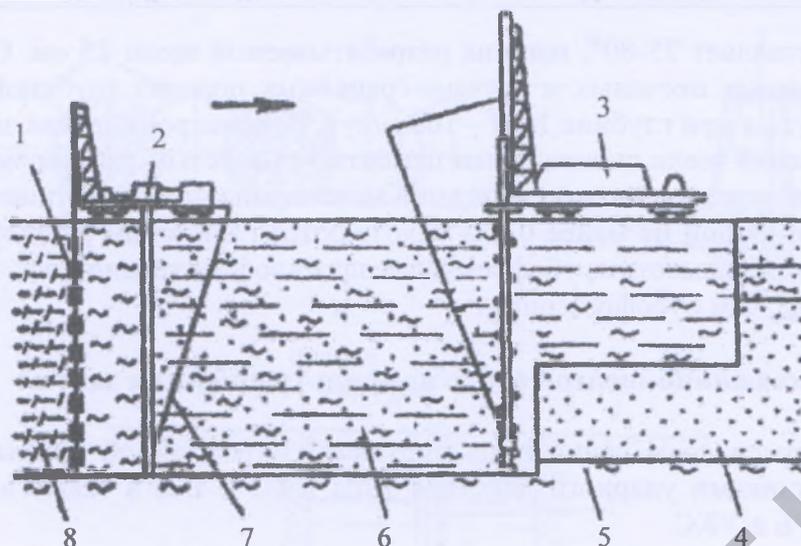
Анализировались карьеры по добыче марганца, угля и железной руды. На основании проведенного анализа были сделаны выводы о нецелесообразности создания машин для устройства траншей и щелей глубиной более 50 м, так как завесы глубиной до 50 м могут применяться на 40 % от общего числа месторождений. На остальных группах месторождений траншеи и щели можно сооружать с уступов карьеров.

Щелевые противοфилтpационные завесы, сооружаемые машинами непрерывного действия, широко применяются в США, Франции, Японии, Италии, Польше, Германии. Так, в Германии применяется установка роторного вращательного бурения с обратной промывкой SF-20, которая позволяет сооружать завесы глубиной 20 м, шириной до 0,8 м, производительностью в мягких породах до 150 м³.

Таблица 1 – Группировка карьеров по максимальной глубине водоупора и возможности применения инфузионных завес

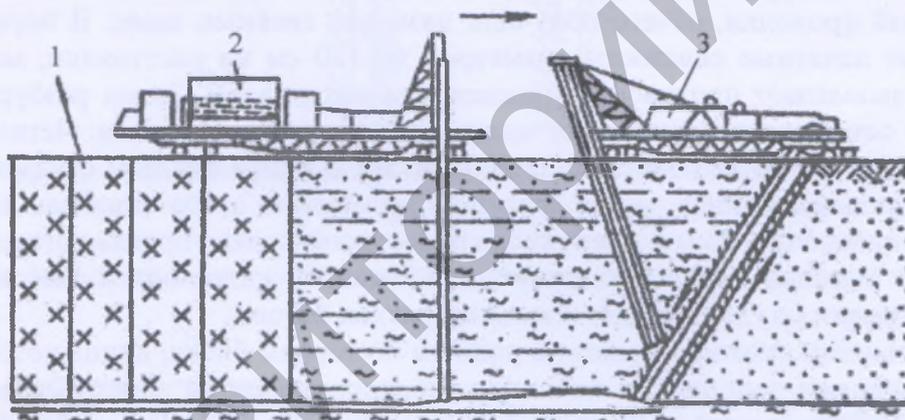
| Группа месторождений | Глубина залегания водоупора, м | Глубина завесы, м | | Протяженность на период строительства, м | Скорость проходки траншей, м/сут | Число карьеров, на которых могут применять завесы | |
|----------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|--|----------------------------------|---|----|
| | | с поверхности | с уступов карьера | | | шт. | % |
| 1 | 30 | 32 | - | 1500-4500 | 7-20 | 9 | 10 |
| 2 | 50 | 52 | 40 | 600-6500 | 7-20 | 25 | 30 |
| 3 | 80 | 77 | 50 | 2500-8500 | 6-20 | 8 | 9 |
| 4 | 100 | 102 | 50 | 4000-8000 | 6-20 | 10 | 12 |
| 5 | 150 | 132 | 55 | 3500-10000 | 5-15 | 7 | 8 |
| 6 | 200 | 182 | 100 | 5000-10000 | 5-10 | 26 | 31 |

В США для проходки щелей применяются в основном два способа: бурοфрезерный (рисунок 1) и врубοфрезерный (рисунок 2).



- 1 – устройство для подачи и смешивания компонентов заполнителя;
 2 – устройство для приготовления заполнителя щели; 3 – буровой станок;
 4 – водоносный горизонт; 5 – водоупор; 6 – глинистый раствор;
 7 – перегородка; 8 – противодиффузионная завеса

Рисунок 1 – Схема проходки щелей буровфрезерным способом



- 1 – полиэтиленовая пленка или просмоленная мешковина;
 2 – машина для укладки в щель водонепроницаемого материала; 3 – врубифрезерная машина

Рисунок 2 – Схема проходки щелей врубифрезерным способом

Буровфрезерная колонка станка оборудована специальным наконечником для проходки твердых пород. Разрыхленная фрезами и перемешанная с глинистым раствором порода выносится на поверхность всасывающим устройством. Щель шириной 0,4-0,45 м и глубиной до 20 м заполняется глинистым раствором плотностью 1,1-1,2 т/м³. Скорость проходки щели глубиной 10 м достигает 30 м/сут. Водонепроницаемый материал создается непосредственно в щели, заполненной глинистым раствором, путем смешивания его с цементом, диспергирующими и структурообразующими добавками. Материал перемешивается специальной машиной, передвигающейся вслед за проходческой буровфрезерной машиной. Коэффициент фильтрации материала составляет 0,001-0,01 м/сут.

Врубифрезерный способ проходки щелей в 5 раз превышает скорость проходки буровфрезерным способом. Рабочим органом врубифрезерной установки является цепной бар со съемными скребками, которые разрушают и транспортируют породу. Угол

наклона бара составляет 75-80°, ширина разрабатываемой щели 25 см. Скорость проходки щели в рыхлых песчаных и песчано-гравийных породах глубиной до 20 м составляет 100 м/сут., а при глубине 10 м – 160 м/сут. Водонепроницаемая завеса создается за счет заполнения щели специальным цементно-глинистым раствором или 4-5 метровыми полосами двусторонне просмоленной мешковины или полиэтиленовой пленки. Стыки полосой шириной не менее 0,5 м уплотняются глинистым раствором, которым заполняется щель. Стоимость врубифрезерных противofильтрационных завес примерно в 3 раза меньше, чем бурofрезерных.

Скважинно-щелевые противofильтрационные завесы

Как уже отмечалось, данный тип противofильтрационной завесы сооружается специальными станками ударного действия типа УКС и БС, а также вращательного действия типа УРБ и УКС.

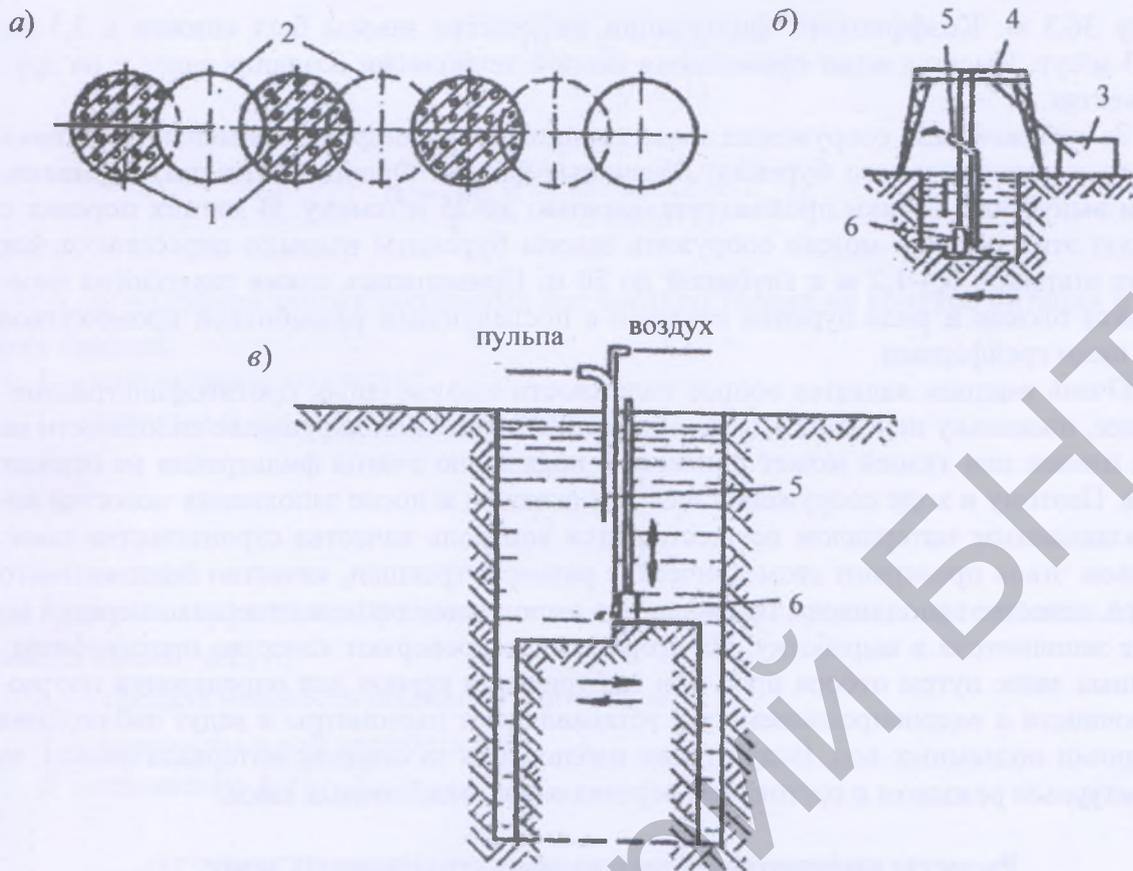
Станки ударного действия позволяют проходить скважины глубиной более 100 м и диаметром 0,4-0,9 м. Скорость бурения завесы составляет 3-8 м/смену в мягких и 0,3-1,5 м/смену – в крепких породах. Установки вращательного действия типа УРБ и УКС позволяют сооружать завесы шириной 0,4-1,2 м и глубиной до 150 м.

При применении станков ударного и вращательного действия противofильтрационные завесы сооружаются путем бурения взаимно пересекающихся скважин, или путем блочной проходки, отчего получили название свайных завес. В первом случае вначале бурят нечетные скважины диаметром 60-120 см на расстоянии, меньшем их диаметра, и заполняют противofильтрационным материалом. Затем разбуриваются и заполняются оставшиеся промежутки между нечетными скважинами. Четные скважины перекрывают соседние нечетные на 100-150 мм и таким образом создается сплошная противofильтрационная завеса (рисунок 3а). Завесы этого типа нашли широкое применение, однако они имеют следующие недостатки: низкая производительность при сравнительно высокой стоимости, отсутствие гарантии сплошности завесы из-за искривления скважин на глубине, значительный расход бетона.

При блочной проходке завесной полости по торцам блока, длина которого определяется условиями заполнения полости водонепроницаемым материалом, проходят две скважины до проектной глубины. Затем разрабатывают забой послойно по горизонтали путем челночных перемещений станка вдоль забоя. Буровой инструмент перемещается вдоль блока вместе с платформой по рельсам или вместе с кареткой, оборудованной на копре (рисунок 3б, в). Удаление выбуренной породы производят в обоих случаях с применением обратной промывки.

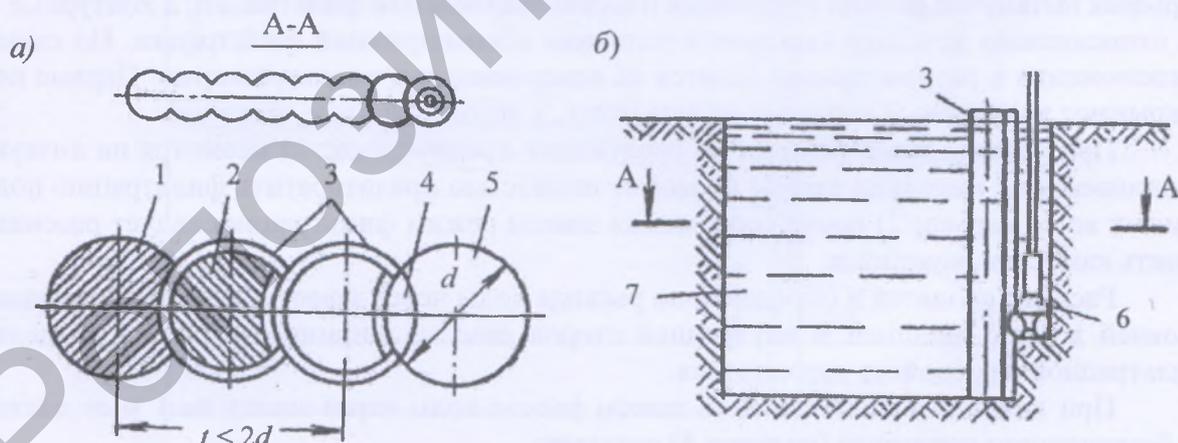
При применении станков вращательного бурения проходка щели осуществляется путем последовательного бурения взаимно пересекающихся скважин и путем проходки ее блоками (рисунок 4).

Отдельные скважины и щели в целом проходят под защитой бентонитового раствора, а заполняют их также местными глинами, глиноцементными, песчаноцементными и другими растворами. Такие завесы широко применялись и применяются в гидротехническом строительстве. Например, при строительстве Чурубай-Нурина гидроузла, скважинно-щелевая завеса была сооружена на глубину до 35 м и длиной 947 м. Бурение скважин производилось станками ударно-канатного бурения УКС-22 и УКС-30. В качестве заполнителя применялись песчано-цементные и суглинистоцементные растворы.



а – бурение взаимно пересекающихся скважин; *б, в* – блочная проходка щелей:
 1 – скважины первой очереди; 2 – скважины второй очереди;
 3 – ударно-канатный станок; 4 – копер; 5 – эрлифт; 6 – долото

Рисунок 3 – Схема сооружения свайной стенки станками ударного действия



а – последовательное бурение взаимно пересекающихся скважин;
б – проходка полости блоками: 1 – заполненная скважина; 2 – заполняемая скважина;
 3 – опалубка; 4 – пробуренная скважина; 5 – буримая скважина;
 6 – буровой инструмент; 7 – пройденная часть блока

Рисунок 4 – Схемы сооружения свайных завес станками вращательного бурения

При отсыпке плотины на Ереванской ГЭС для создания противофильтрационной завесы под этой плотиной бурили скважины диаметром 0,6 м и взаимно перекрывали на 100 мм. Завеса длиной 127,5 м перекрывала валунно-галечниковые отложения на

глубину 36,3 м. Коэффициент фильтрации на участке завесы был снижен с 3,5 до 0,00003 м/сут. Имеется опыт применения данной технологии создания завес и на других объектах.

За рубежом для сооружения завес свайного типа широко применяются станки ударного и вращательного бурения. Различные фирмы Франции, Италии, Германии, Японии выпускают станки производительностью до 25 м²/смену. В мягких породах с помощью этих станков можно сооружать завесы бурением взаимно пересекающихся скважин шириной 0,4-1,2 м и глубиной до 50 м. Применялась также технология чередующихся блоков и ряда бурения скважин с последующей разработкой промежутков между ними грейферами.

Очень важным является вопрос надежности инфузионных противofильтрационных завес, поскольку неполное уплотнение заполнителей или нарушение сплошности на стыках пленок или тканей может привести к появлению очагов фильтрации на откосах карьера. Поэтому в ходе сооружения щелей и скважин и после заполнения полостей водонепроницаемым материалом осуществляется контроль качества строительства завес. На первом этапе проверяют геометрические размеры траншеи, качество бентонитового раствора, качество заполнителя, правильность выполнения технологических операций по укладке заполнителя в выработку. На втором этапе проверяют качество противofильтрационных завес путем отбора проб или выбуривания кернов для определения плотности, прочности и водонепроницаемости, устанавливают пьезометры и ведут наблюдения за уровнями подземных вод. Ведут также наблюдения за осадкой материала завесы, за температурным режимом и состоянием вертикальных межблочных швов.

Расчеты инфузионных противofильтрационных завес

При расчете противofильтрационных завес учитывают схему их расположения по отношению к контурам карьера и водоносным горизонтам. По схеме расположения в плане различают линейные и контурные завесы. Линейные обычно применяются на карьерах вытянутой формы в условиях плоскопараллельной фильтрации, а контурные – на относительно круглых карьерах в условиях асимметричной фильтрации. По схеме расположения в разрезе завесы делятся на совершенные и несовершенные. Первые перекрывают водоносный горизонт на всю мощность, а несовершенные частично.

При расчете завес исходят из следующих предпосылок: 1) несмотря на низкую проницаемость, материал завесы не может полностью предотвратить фильтрацию подземных вод в карьер; 2) после сооружения завесы режим фильтрации следует рассматривать как установившийся.

Расчеты сводятся к определению расхода воды через завесу в карьер, положения уровней воды с внешней и внутренней сторон завесы, ширины траншеи или щели, фильтрационных свойств заполнителя.

При линейном расположении завесы расход воды через завесу на 1 м ее длины из безнапорного горизонта (рисунок 5) составит:

$$q = \frac{k_1(h_e^2 - h_0^2 - 2I_0 h_{cp} \delta)}{2[L + \delta(\rho - 1)]}, \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Глубина потока на расстоянии x от откоса карьера в зонах I и III:

$$h_1 = \sqrt{h_e^2 - \frac{(h_e^2 - h_0^2 - 2I_0 h_{cp} \delta)}{L + \delta(\beta - 1)}(L - x)}, \text{ м,}$$

$$h_3 = \sqrt{h_0^2 + \frac{(h_e^2 - h_0^2 - 2I_0 h_{cp} \delta)}{L + \delta(\beta - 1)}}, \text{ м,}$$

где h_e, h_0 – глубина потока подземных вод соответственно на контуре питания и на откосе карьера;

L – длина линии тока воды;

I_0 – начальный градиент питания, равный:

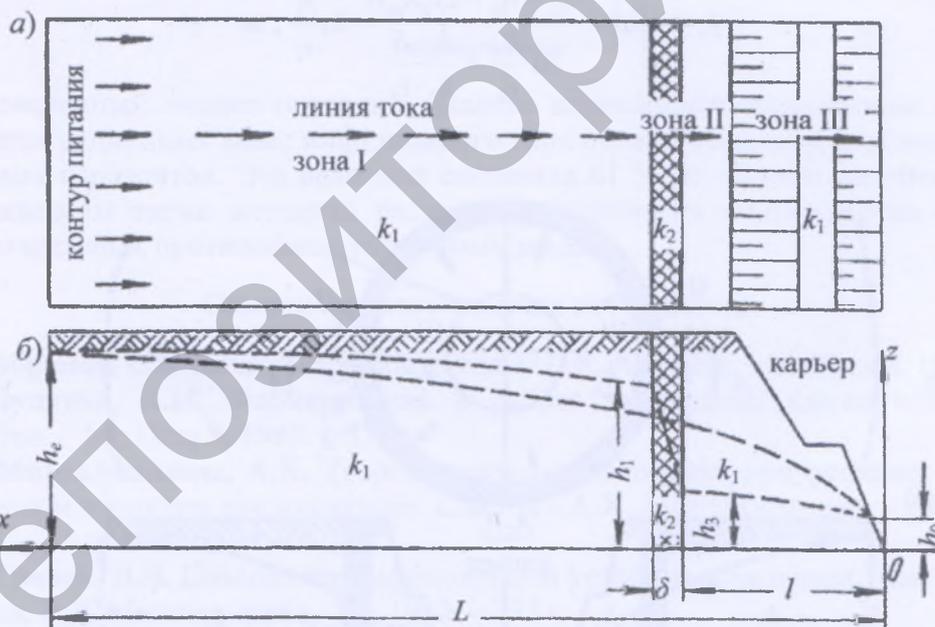
$$I_0 = \frac{0,566}{\sqrt{k_2}},$$

где k_1, k_2 – коэффициенты фильтрации соответственно водоносного горизонта и заполнителя завесы, м/сут.;

h_{cp} – средняя мощность подземного потока, м;

δ – ширина завесной выработки, м;

β – отношение k_1 / k_2 .



а – план; б – разрез

Рисунок 5 – Схема к расчету линейной завесы для карьеров вытянутой формы

Для напорной фильтрации расход воды, поступающей в карьер через завесу на 1 м ее длины, а также глубина потока h_1 и h_3 на расстоянии x от откоса карьера составят:

$$q = \frac{k_1 m (h_e - h_0 - I_0 \delta)}{L + \delta(\beta - 1)}, \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$h_1 = h_e - \frac{h_e - h_0 - I_0 \delta (L - x)}{L + \delta(\beta - 1)}, \text{ м};$$

$$h_3 = h_0 + \frac{(h_e - h_0 - I_0 \delta)x}{L + \delta(\beta - 1)}, \text{ м},$$

где m – мощность водоносного горизонта;

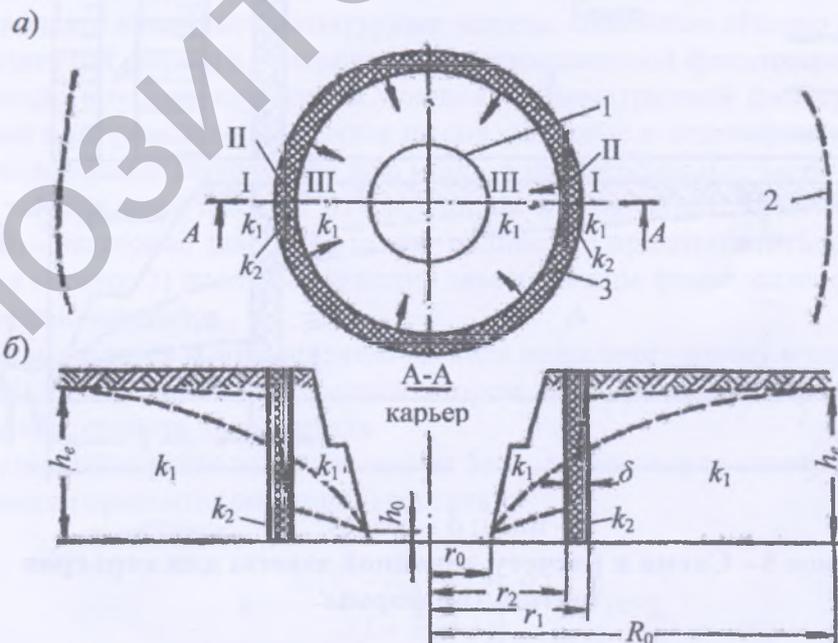
h_e и h_0 – напоры воды соответственно на контуре питания и на откосе карьера, м.

При контурном расположении завесы происходит асимметричная фильтрация (рисунок 6) и расход воды Q , поступающей в карьер для безнапорной фильтрации, а также глубина потока в зонах I и III составят:

$$Q = \frac{\pi k_1 (h_e^2 - h_0^2 - 2I_0 h_{cp} \delta)}{\ln \frac{R_0 + k_1 \cdot \delta}{r_0} + \frac{k_1 \cdot \delta}{k_2 \cdot r_2}}, \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$h_1 = \sqrt{h_e^2 - \frac{h_e^2 - h_0^2 - 2I_0 h_{cp} \delta}{\ln \frac{R_0 + k_1 \cdot \delta}{r_0} + \frac{k_1 \cdot \delta}{k_2 \cdot r_2}} \cdot \ln \frac{R_0}{r_0}}, \text{ м};$$

$$h_3 = \sqrt{h_0^2 + \frac{h_e^2 - h_0^2 - 2I_0 h_{cp} \delta}{\ln \frac{R_0 + k_1 \cdot \delta}{r_0} + \frac{k_1 \cdot \delta}{k_2 \cdot r_2}} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}, \text{ м}.$$



а – план; б – разрез; 1 – контур высачивания подземных вод;

2 – контур питания; 3 – противофильтрационная завеса

Рисунок 6 – Схема к расчету контурной завесы для карьеров относительно круглой формы

Для напорного водоносного горизонта эти величины можно определить по формулам:

$$Q = \frac{2\pi k_1 m (h_e - h_0 - I_0 \delta)}{\ln \frac{R_0}{r_0} + \frac{k_1 \cdot \delta}{k_2 \cdot r_2}}, \text{ м}^3/\text{сут.};$$

$$h_1 = h_e - \frac{h_e - h_0 - I_0 \delta}{\ln \frac{R_0}{r_0} + \frac{k_1 \cdot \delta}{k_2 \cdot r_2}}, \text{ м};$$

$$h_3 = h_0 + \frac{h_e - h_0 - I_0 \delta}{\ln \frac{R_0}{r_0} + \frac{k_1 \cdot \delta}{k_2 \cdot r_2}}, \text{ м},$$

где R_0 – расстояние от центра карьера до контура питания, м;

r_0 – приведенный радиус карьера, м;

r_2 – расстояние от центра карьера до внутренней стенки завесы, м;

r_1 – расстояние от центра карьера до внешней стенки завесы, м;

m – мощность водоносного горизонта, м.

Ширину противофильтрационной завесы δ можно определить по вышеприведенным формулам, приняв допустимые значения Q , q , h_0 , I_0 .

Заключение

Проведенный анализ позволил выявить возможность применения на карьере противофильтрационных завес инфузионного типа по максимальной глубине залегания водоупорных горизонтов. Эта величина составила 61 % от общего числа карьеров. В статье приведены также методика расчетов и технология строительства щелевых и скважинно-щелевых противофильтрационных завес.

Список использованных источников

1. Абрамов, С.К. Защита карьеров от воды / С.К. Абрамов. – М.: Недра, 1976. – 215 с.
2. Булатов, А.И. Формирование и работа цементного камня в скважине / А.И. Булатов. – М.: Недра, 1980. – 312 с.
3. Мирзаджанзаде, А.Х. Теоретические исследования при решении задач предупреждения и изоляции поглощающих пластов / А.Х. Мирзаджанзаде. – М.: ВНИИО-ЭНГ, 1973. – 71 с.
4. Грачев, В.В. Повышение суффозионной устойчивости цементных растворов / В.В. Грачев, В.Д. Малеванский. – М., 1980. – 232 с.

Haliavkin F.G., Onika S.G., Voitenko V.S.

Infusing and injection-sealing curtains and their calculation

The article gives the analysis of the sphere of possible application of the injection-sealing and infusing curtains for quarries. Methods and ways of their construction, applicable machines, diagrams and the method of calculation of these constructions are also presented

Поступила в редакцию 12.04.2013 г.