

В дальнейших исследованиях необходимо:

1. Определить производительность конвейеров от кусковатости горной массы;
2. Определить производительность дробильного оборудования от кусковатости горной массы.

#### Список литературы

1. Ассонов В.А. Взрывные работы. - Углетехиздат 1953.
2. Андреев С.Ф., Зверевич В.В., Перов В.А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: Недра, 1978.
3. Беляков Ю.И., Владимиров В.М. Совершенствование экскаваторных работ на карьерах. - М.: Недра, 1974.
4. Васильев Ю.М. Разработка параметров буровзрывных работ, обеспечивающий дробление вскрышных пород до заданной кусковатости. Свердловск, 1968.
5. Ефремов Э.И. Влияние дробления пород на эффективность технологических процессов открытой разработки. - Киев: Н, 1974.

### ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ УГЛУБКИ КАРЬЕРА ОТ ПАРАМЕТРОВ ДЕПРЕССИОННОЙ ВОРОНКИ

*В.К. Слободянюк, Ю.Ю. Турчин, Криворожский национальный университет, Украина*

Выполнен анализ аналитических методик определения скорости углубки карьера. Установлено влияние гидрогеологических факторов на скорость углубочных работ в карьере. Определено время строительства въездной траншеи с учётом процесса понижения уровня депрессионной воронки на скорость строительства въездной траншеи.

**Постановка проблемы и её связь с научными и практическими задачами.** Стабильная производительность глубоких железорудных карьеров обеспечивается постоянным возобновлением выбывающих фронтов, то есть вскрытием и вводом в эксплуатацию новых горизонтов. В то же время, анализ работы глубоких железорудных карьеров показал, что наибольшие отклонения в выполнении плановых показателей наблюдаются при ведении работ на глубоких горизонтах, вскрытие которых сопровождается подтоплением проходимой горной выработки стоком подземных вод. Углубка дна карьера требует не только выполнения объёма работ по перемещению вышележащих уступов и созданию первичного фронта на вскрываемых, но и понижения уровня депрессионной воронки. В условиях глубоких железорудных карьеров, возможные скорость углубки карьера и его производительность по руде должны определяться не только временем выполнения объёма работ в пределах высоты уступа, но и временем осушения зоны работы выемочно-погрузочного оборудования в процессе формирования депрессионной воронки на более глубокой высотной отметке.

Существующие технологии производства работ по углубке карьера и задействованное в их выполнении выемочно-погрузочное оборудование не соответствуют сложившимся сложным горнотехническим условиям. Это обуславливает риск невыполнения плановых заданий в сроки и снижение производительности карьера. Неучёт влияния гидрогеологических факторов на технологию производства горных работ на глубоких уступах может привести к ошибочным решениям на стадии принятия предпроектных и проектных решений по разработке месторождения при определении скорости углубки карьера и его возможной производительности по руде. Возникает необходимость в усовершенствовании методов определения скорости углубки карьеров с учётом гидрогеологических факторов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В теории проектирования карьеров аналитические принципы определения возможной скорости углубки отражены в трудах [1, 2]. Данные зависимости определены для работы экскаватора при проходке въездной траншеи

на полную высоту уступа. Но при обработке глубоких карьеров на скорость вскрытия значительное влияние оказывают гидрогеологические условия. Вскрывающая выработка строится послойно, при этом в пределах каждого из слоёв необходимо понизить уровень депрессионной воронки, что обеспечит безопасную эксплуатацию электрических механических лопат.

В работах [4, 5] заложены основы теории движения подземных вод, в трудах [3, 5] рассматриваются вопросы осушения и защиты карьерного пространства от карьерных вод. Но взаимосвязь вопросов строительства траншеи и развития депрессионной воронки не учитывается указанными трудами.

**Постановка задач исследования.** Целью работы является определение аналитической зависимости времени понижения депрессионной воронки и исследование влияния притока подземных вод на скорость строительства въездной траншеи.

С точки зрения гидрогеологии карьер является водозабором, параметры верхнего контура и направления развития горных работ в котором определяют его как горизонтальную либо вертикальную дренаж.

В процессе развития карьерного пространства во времени происходит возмущение уровней водоносных горизонтов в породах вокруг карьера, которое проявляется дебитом подземных вод в карьерное пространство. То есть, карьер как дрена формирует вокруг себя воронку депрессии с определённым радиусом, который зависит как от параметров карьера, так и от фильтрационных свойств пород, вмещающих водоносные горизонты определённой мощности [3, 4].

Обычно глубинная отметка уровня подземных вод в карьере находится в пределах глубоких уступов. Исключения могут составлять отдельные вскрытые участки либо часть дна карьера, горные работы на которых не производятся, и, соответственно, в их пределах не используются средства карьерного водоотлива.

В пределах радиуса депрессионной воронки происходит уменьшение мощности водоносных горизонтов в направлении потока подземных вод – к карьере. Положение уровней подземных вод в пределах радиуса влияния карьера описывается квадратичной функцией – уравнением кривой депрессии [4].

Относительно глубоких вскрываемых горизонтов карьера уровни подземных вод определяются мощностью водоносного горизонта. Во избежание повышения уровней подземных вод в пределах дна карьера строится зумпф-накопитель с целью формирования режима движения подземных вод. Основной функцией зумпфа-накопителя является дренаж дна карьера [5].

При вскрытии нового горизонта горной выработкой производится углубка дрена в пределах мощности водоносного горизонта, происходит процесс переформирования депрессионной воронки относительно радиуса влияния въездной траншеи. Горная выработка становится дренажной, в которую поступают подземные воды (рис. 1).

При возмущении дрена с определённым дебитом понижение уровня депрессионной воронки во времени описывается уравнением Тейса-Джейкоба [4, 5]:

$$S = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot k \cdot m} \ln \frac{2,25 \cdot a \cdot t}{r^2}, \text{ м.}$$

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

$S$  – понижение уровня в точке наблюдения, м;

$k$  – коэффициент фильтрации, м/сут;

$m$  – мощность пласта (водоносного горизонта), м;

$km$  – водопроводимость пласта (водоносного горизонта), м<sup>2</sup>/сут;

$r$  – приведённый радиус дрена, расстояние до точки наблюдения, м;

$a$  – пьезопроводность пласта ( $a^* = km/\mu^*$ ), м<sup>2</sup>/сут;

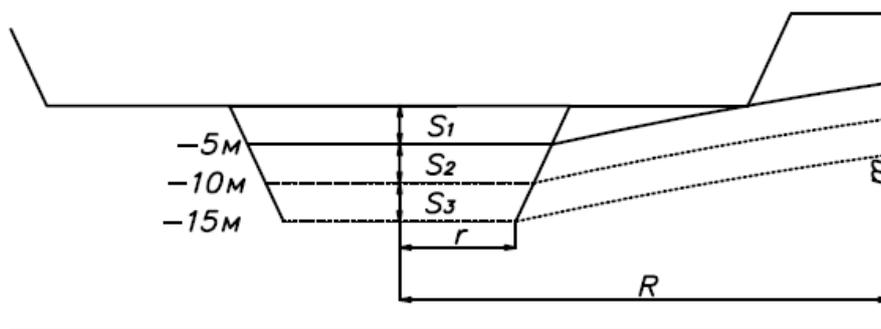
$R$  – радиус депрессионной воронки,  $R = 1,5 \cdot \sqrt{a \cdot t}$ , м;

$\mu$  – водоотдача горизонта, доли единиц;

$t$  – время от начала возмущения скважины, сут.

Коэффициент фильтрации – это величина, характеризующая водопроницающую способность пород и являющаяся постоянной для определенного типа пород (м/сут). Согласно закону Дарси, линейная скорость фильтрации при ламинарном движении подземных вод является произведением коэффициента фильтрации и напорного градиента. Напорный градиент определяется отношением величины падения напора и длиной пути фильтрации. Соответственно, при значении напорного градиента, равном единице, линейная скорость фильтрации определяется только значением коэффициента фильтрации.

Пьезопроводность является показателем скорости перераспределения напора и дебита запасов водоносного пласта в условиях неустановившейся фильтрации (м<sup>2</sup>/сут). Математически пьезопроводность выражается отношением водопроницаемости пласта к водоотдаче горизонта. Водоотдача показывает, какой объём свободной воды может отдать единичный объём пласта при изменении (падении) напора [4].



**Рис. 1.** Схема понижения депрессионной воронки при послойной проходке траншеи.

Для определения времени понижения депрессионной воронки в пределах траншеи, либо её слоя, необходимо решить уравнение относительно  $t$ :

$$\frac{4 \cdot \pi \cdot k \cdot m \cdot S}{Q} = \ln \frac{2,25 \cdot a \cdot t}{r^2}.$$

Выразим показатель степени экспоненты через  $x$ :

$$\ln \frac{2,25 \cdot a \cdot t}{r^2} = x.$$

Тогда:

$$\frac{2,25 \cdot a \cdot t}{r^2} = e^x,$$

$$t = \frac{e^x \cdot r^2}{2,25 \cdot a}.$$

Учитывая, что  $\frac{4 \cdot \pi \cdot k \cdot m \cdot S}{Q} = \ln \frac{2,25 \cdot a \cdot t}{r^2}$  и  $\ln \frac{2,25 \cdot a \cdot t}{r^2} = x$ :

$$\frac{4 \cdot \pi \cdot k \cdot m \cdot S}{Q} = x.$$

Подставив значение  $x$  в выражение, получим уравнение для определения времени понижения депрессионной воронки на заданную величину в породах с определёнными фильтрационными свойствами:

$$t = \frac{r^2}{2,25 \cdot a} \cdot e^{\frac{4 \cdot \pi \cdot k \cdot m \cdot S}{Q}}, \text{ сут.}$$

Выполним моделирование понижения уровня депрессионной воронки на основе исходных данных, характерных для Криворожского железорудного бассейна, на примере кварцитов железистого горизонта Саксаганской свиты.

Приведенный радиус траншеи определяется по формуле:

$$r = \frac{\eta \cdot (L + B)}{4}, \text{ м.}$$

где  $L$  – длина траншеи, м;

$B$  – ширина траншеи, м;

$\eta$  – коэффициент формы, определяемый отношением ширины дрены к её длине, принимаем  $\eta = 1,12$ .

Гидрогеологические исходные данные приведены в таблице (таб.1).

**Табл. 1.** Фильтрационные свойства пород

Гидрогеологические характеристики	Значения
приток, м <sup>3</sup> /сут	9000
коэффициент фильтрации, м/сут	0,03
мощность водоносного горизонта, м	200
водоотдача, д. ед	0,07
пьезопроводность водоносного горизонта, м <sup>2</sup> /сут	85,71

При вскрытии обводнённых горизонтов с применением прямой механической лопаты используется послойная схема, предполагающая сооружение на каждом слое нескольких временных зумпфов. С началом отработки первого слоя начинается процесс высачивания подземных вод в траншею и понижение депрессионной воронки. Возможность перехода к отработке следующего слоя будет обеспечена только после понижения воронки ниже подошвы вышележащего слоя.

Определим время вскрытия горизонта при послойной проходке траншеи в сухих условиях. Для модели приняты следующие исходные данные: высота вскрываемого уступа 15 м, высота слоя 5 м, ширина траншеи по низу 36 м. В качестве выемочно-погрузочной машины принят экскаватор с ёмкостью ковша 15 м<sup>3</sup>.

Время строительства траншеи и отработки каждого из слоёв определяем по формуле [1, 2]:

$$T = \frac{V_1}{Q_{\text{экс}}} + \frac{V_2}{Q_{\text{экс}}} + \frac{V_3}{Q_{\text{экс}}}, \text{ сут.}$$

где  $V_1, V_2, V_3$  – объём пород в пределах первого, второго и третьего слоёв траншеи, м<sup>3</sup>;  
 $Q_{\text{экс}}$  – суточная эксплуатационная производительность экскаватора, м<sup>3</sup>/сут.

Результаты расчёта показывают, что в пределах слоёв будет отработан объём горной массы 32 677, 18 515 и 5 890 м<sup>3</sup> за 8, 5 и 1 сутки соответственно.

Время строительства траншеи и отработки каждого из слоёв в условиях подтопления траншеи подземными водами с учётом необходимости понижения депрессионной воронки:

$$T = \left( \frac{V_1}{Q_{\text{экс}}} + \frac{r^2 \cdot e^x}{2,25 \cdot a} \right) + \left( \frac{V_2}{Q_{\text{экс}}} + \frac{r^2 \cdot (e^{x_{10}} - e^{x_5})}{2,25 \cdot a} \right) + \left( \frac{V_3}{Q_{\text{экс}}} + \frac{r^2 \cdot (e^{x_{15}} - e^{x_{10}})}{2,25 \cdot a} \right), \text{сут.}$$

где  $x = \frac{4 \cdot \pi \cdot k \cdot m \cdot S}{Q}$ , а  $x$  с индексами, равными 5, 10 и 15, соответствуют понижению депрессионной воронки на 5, 10 и 15 м.

Результаты расчётов приведены в таблице (таб. 2).

**Табл. 2** Определение времени строительства въездной траншеи в сложных гидрогеологических условиях.

	Объём пород, м <sup>3</sup>	Время отработки слоя экскаватором, сут	Время понижения депрессионной воронки, сут	Общее время отработки, сут
Слой 1	32 677	8	21	29
Слой 2	18 515	5	1	6
Слой 3	5 890	1	1	2
Всего	57 182	14	23	37

Анализ результатов моделирования показывает, что в сложных гидрогеологических условиях глубоких железорудных карьеров применение существующих технологий вскрытия новых горизонтов не эффективно и небезопасно. В сравнении с работой в сухих условиях, время проходки траншеи увеличивается на 60% при производстве работ на глубоких горизонтах в условиях их подтопления подземными водами.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Установлено, что режим подземных вод в карьере оказывает значительное влияние на время вскрытия новых горизонтов. При этом работа механических лопат на нижних горизонтах характеризуется низкой производительностью и большими простоями, связанными с осушением слоев траншеи. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку и обоснование технологических схем вскрытия горизонтов, имеющих минимальную технологическую зависимость от гидрогеологического режима вскрываемого горизонта. На основе теории движения подземных вод, для карьеров со сложными гидрогеологическими условиями будет уточнена аналитическая зависимость для определения скорости углубки карьера.

#### Список литературы

1. Ржевский В. В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ / В. В. Ржевский. - М.: Недра, 1968. - 639 с.
2. Арсентьев А. И. Разработка месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом: учебник / А. И. Арсентьев. - СПб. гос. горн. ин-т (техн. ун-т). - СПб., 2010. - 115 с.
3. Защита карьеров от воды / С. К. Абрамов, М. С. Газизов, В. И. Костенко – М.: Недра, 1976 – 230 с.
4. Плотников Н. И. Подземные воды рудных месторождений / Н. И. Плотников, М. В. Сыроватко, Д. И. Щеголев. – М.: Металлургиздат, 1957. - 616 с.
5. Фисенко Г. Л. Дренаж карьерных полей / Г. Л. Фисенко, В. А. Мироненко - М.: Недра, 1972 - 185 с.