

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВСКРЫТИЯ И ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КАРЬЕРОВ

*В.К. Слободянюк, Ю.Ю. Турчин, Государственный ВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина*

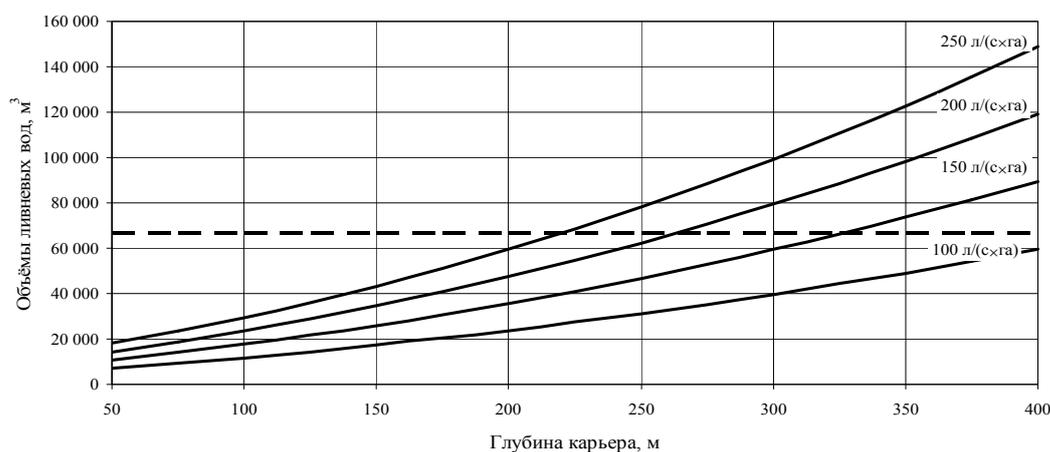
Определены параметры карьера, при достижении которых усложняется технология горных работ из-за вероятности периодического затопления глубоких горизонтов. Предложены технологические схемы производства горных работ при вскрытии новых уступов.

**Постановка проблемы и её связь с научными и практическими задачами.** Анализ работы горнодобывающих предприятий показал, что в последние годы с увеличением глубин карьеров и их размеров по дневной поверхности возросло число случаев периодического затопления глубоких горизонтов. При неблагоприятных метеорологических условиях на откачивание из карьера объема ливневого стока уходит 10-20 рабочих смен, что приводит к отклонениям от разработанных квартально-месячных планов развития горных работ, к снижению скорости углубки карьера и к уменьшению его производительности по руде. Быстрое затопление дна карьера также может стать причиной выхода из строя горнотранспортного оборудования, задействованного во вскрытии новых горизонтов. Это существенно влияет на его производительность, так как практически половина рабочего времени тратится на создание водоприёмных выработок и манёвры оборудования. Решение данной проблемы только за счет увеличения мощности и количества насосов карьерного водоотлива нельзя признать рациональным, так как это приведет к увеличению затрат на разработку месторождения. Таким образом, разработка ресурсосберегающих технологий вскрытия глубоких горизонтов, допускающих частичное или периодическое затопление дна карьера, является важной научно-практической задачей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Проблеме организации водоотлива посвящены работы [1, 2]. В них приведён сравнительный технико-экономический анализ схем размещения карьерных водоотливных установок в глубоких карьерах. В работах [3, 4] рассмотрены технологические схемы вскрытия глубоких горизонтов в сложных гидрогеологических и горнотехнических условиях. В этих работах недостаточно исследована зависимость открытых горных работ от метеорологических условий, не установлена зависимость объёма ливневого стока, поступающего в карьер, от геометрических параметров карьера, отсутствуют рекомендации по выбору и обоснованию технологии проходки траншей в сложных гидрогеологических условиях.

**Постановка задач исследования.** Целью данной работы является исследование зависимости между геометрическими параметрами карьера и вероятностью затопления ливневым стоком глубоких горизонтов, анализ технологических схем вскрытия глубоких горизонтов и разработка ресурсосберегающей технологической схемы вскрытия и подготовки горизонтов в сложных гидрогеологических и горнотехнических условиях.

**Изложение основного материала и результаты.** Для решения поставленной задачи на базе формулы В.В. Ржевского [5] была построена математическая модель для расчета в зависимости от главных параметров карьера (длины и ширины нижнего горизонта карьера, угла откоса борта) объема выработанного пространства карьера, площади его верхнего контура и объема ливневого стока при том или ином предположении об интенсивности выпадения осадков (л/с×га). На рис.1 приведены результаты моделирования затопления нижних горизонтов карьера для следующих условий: длина дна 400м, ширина дна 300м, угол откоса борта карьера 35°. С шагом в 25м были рассчитаны параметры карьеров в интервале глубин от 50м до 400м. Для каждого из карьеров на основе известных зависимостей интенсивности ливня от его продолжительности и данных гидрогеологических наблюдений были определены объёмы ливневых осадков при различных интенсивностях (от 100 до 250 л/с×га).



**Рис. 1** Зависимость объема поверхностного стока ( $\text{м}^3$ ) от глубины карьера при разной интенсивности ( $\text{л/с}\times\text{га}$ ) ливневых осадков. Штриховая линия - геометрический объем въездной траншеи ( $\text{м}^3$ ).

Анализ результатов моделирования показывает, что для карьеров глубиной более 250-300 м существует опасность затопления глубоких горизонтов ливневыми осадками. На рис. 1 штриховой линией указан объем въездной траншеи. При глубине карьера более 250 м объема ливневого стока достаточно для полного затопления въездной траншеи на дне карьера (глубина траншеи 15м, ширина понизу 30м, уклон 80‰). При дальнейшей углубке карьера объемы ливневых вод, поступающих в карьер, будут возрастать.

Использование в глубоких карьерах для вскрытия новых горизонтов только экскаваторов типа ЭКГ уже не является эффективным технологическим решением. С одной стороны, кинематическая схема прямой мехлопаты определяет ее расположение на дне траншеи (т.е. в самой глубокой части карьера), с другой стороны, наличие электрического привода не позволяет безопасно эксплуатировать экскаватор при подтоплении выработок. Очевидно, что для вскрытия и подготовки глубоких горизонтов в сложных гидрогеологических и горнотехнических условиях необходимо применять технологические схемы и комплексы горнотранспортного оборудования, допускающие полное или частичное затопление рабочей зоны. В противном случае эксплуатационные затраты на разработку месторождения будут возрастать по мере углубки карьера.

В качестве базовой выемочно-погрузочной машины для ведения работ на глубоких горизонтах могут быть использованы: драглайн, гидравлическая обратная лопата, одноковшовый погрузчик, прямая гидравлическая лопата. При выборе выемочно-погрузочного оборудования следует учитывать его технические параметры, которые во многом определяют эффективность применения той или иной технологической схемы вскрытия. Такими параметрами являются: высота / глубина черпания, радиус поворота кузова, или в случае одноковшового погрузчика – радиус разворота, вес и т. д. При выборе рационального оборудования для решения конкретной технологической задачи необходимо одновременно сопоставить основные параметры сравниваемого оборудования и оценить, насколько решению поставленной задачи отвечает та или иная горная машина. Большое количество параметров, характеризующих горное оборудование, делает необоснованным выбор на основе попарного сравнения их рабочих характеристик.

Известен метод [6], который на основе сравнения площадей полигонов, построенных в полярной системе координат по показателям сравниваемых вариантов, позволяет из множества вариантов выбрать лучший. Полигон, очерчивающий меньшую площадь, соответствует лучшему варианту. Количество осей на графике соответствует числу показателей, характеризующих оборудование. Направление отсчета показателя по конкретной оси принимается таким образом, чтобы более выгодные с точки зрения рассматриваемой технологии горных работ варианты были расположены ближе к началу координат, а менее выгодные - дальше.

Предложено для повышения эффективности метода [6] использовать не абсолютные значения сравниваемых показателей, а их рейтинговые оценки. При этом выборка по каждому из показателей оборудования лучших, наиболее предпочтительных значений позволяет определить рабочие характеристики лучшей идеальной машины. Расчетная рейтинговая оценка каждого параметра идеальной машины принимается равной нулю (соответственно площадь полигона ноль). Аналогичным образом отбираются худшие значения и определяют рабочие характеристики худшей идеальной машины. В нашем исследовании рейтинговая оценка параметров идеальной худшей машины равна 5.

На основе линейных зависимостей, определенных для каждого из параметров по данным лучшей и худшей машин, для каждого показателя сравниваемых выемочно-погрузочных машин были рассчитаны рейтинговые оценки рабочих параметров оборудования (табл. 1).

Табл. 1. Сравнительные технические характеристики выемочно-погрузочного оборудования

выемочно-погрузочное оборудование		основные рабочие параметры оборудования				
		глубина черпания, м	высота черпания, м	усилие напора, кН	вес, т	радиус вращения кузова, м;
ЭШ-6,5/45	паспортные хар-ки	22	15,6	167	305	9,74
	рейтинговая оценка	0,43	1,52	4,9	1,71	3,39
ЭКГ-15	паспортные хар-ки	1	16,4	615	672	10,02
	рейтинговая оценка	4,91	1,24	2,25	4,17	3,59
Hitachi EX 2500 (ОЛ)	паспортные хар-ки	8,6	15,3	832	249	6,29
	рейтинговая оценка	3,1	1,7	0,87	1,29	0,92
Hitachi EX 2500 (ПЛ)	паспортные хар-ки	3,7	15,3	832	249	6,29
	рейтинговая оценка	4,34	1,62	0,97	1,34	0,92
Komatsu WA-800-2	паспортные хар-ки	0,602	5,5	676,8	89,6	10,99
	рейтинговая оценка	5	5	1,89	0,27	4,28
Условно «наилучшая» машина	паспортные хар-ки	24	20	1000	50	5
	рейтинговая оценка	0	0	0	0	0
Условно «наихудшая» машина	паспортные хар-ки	0,6	5,5	150	800	12
	рейтинговая оценка	5	5	5	5	5

На основе данных табл. 1, по усовершенствованному методу [6] построен график (рис. 1).

Площадь каждого полигона (обобщенная рейтинговая оценка оборудования) определяется по формуле:

$$S = \frac{1}{2} \sin \gamma \times (K_1 K_2 + K_2 K_3 + K_3 K_4 + K_4 K_5 + K_5 K_1)$$

где:

$\gamma$  – угол между осями, град.;

$K_1, K_2, K_3, \dots$  - рейтинговая оценка соответствующих рабочих параметров данного выемочно-погрузочного оборудования.

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

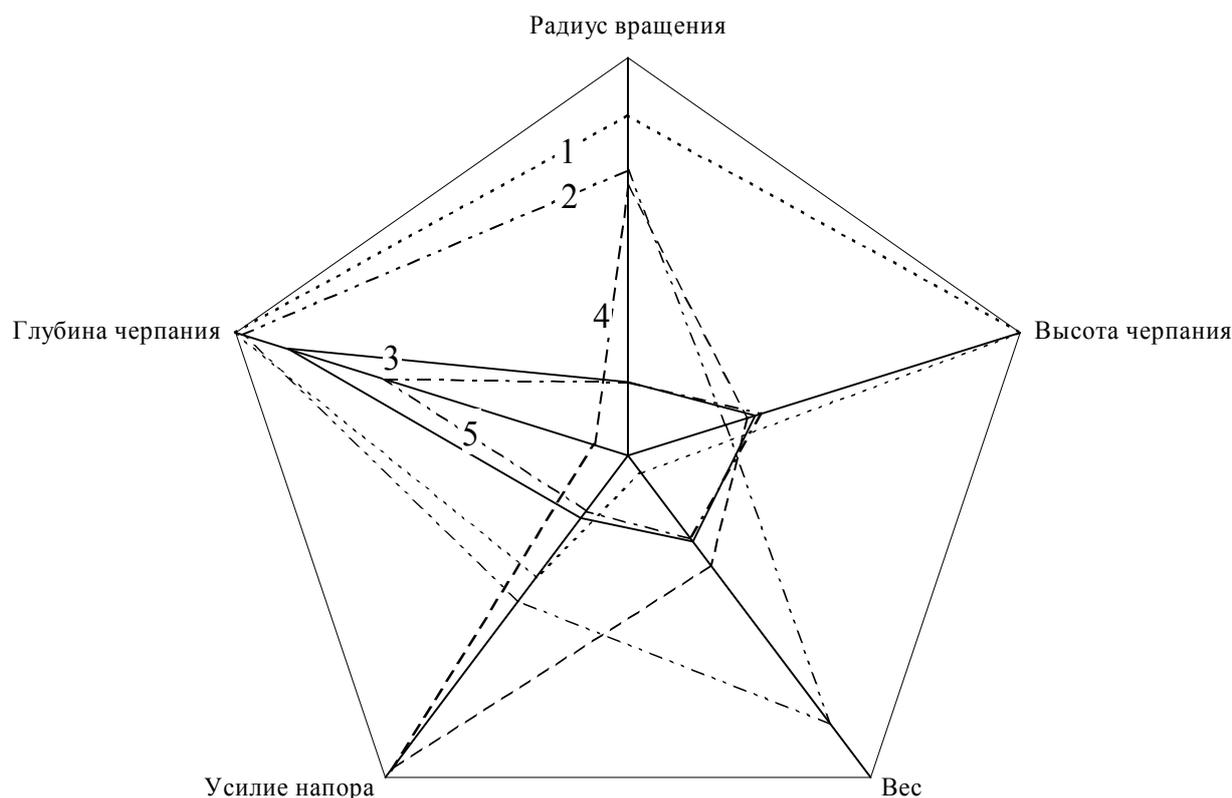


Рис. 2 Диаграмма для выбора выемочно-погрузочного оборудования (1- погрузчик Komatsu WA-800-2; 2 - ЭКГ-15; 3- прямая лопата Hitachi EX 2500; 4- ЭШ-6,5/45; 5 - обратная лопата Hitachi EX 2500)

Табл. 2. Обобщенная рейтинговая оценка оборудования

марка оборудования	глубина черпания	высота черпания	усилие напора	вес	радиус вращения	обобщенная рейтинговая оценка
Hitachi EX 2500 (обратная лопата)	3,1	1,7	0,87	1,29	0,92	5,44
ЭШ-6,5/4У	0,43	1,52	4,9	1,71	3,39	6,21
Hitachi EX 2500 (прямая лопата)	4,34	1,62	0,97	1,34	0,92	6,89
ЭКГ-15	4,91	1,24	2,25	4,17	3,59	18,21
Komatsu WA-800-2	5	5	1,89	0,27	4,28	22,94

Лучшую рейтинговую оценку имеют гидравлический экскаватор обратная лопата Hitachi EX 2500 (5,44), драглайн ЭШ-6,5/45 (6,21) и гидравлический экскаватор прямая лопата (6,89). Худшая рейтинговая оценка у механической лопаты и одноковшового погрузчика. Работе в условиях возможного подтопления нижнего горизонта наиболее лучшим образом отвечают гидравлические экскаваторы и драглайн.

В практике открытых горных работ наиболее часто используются две схемы проходки траншей – на полную высоту уступа и послонная проходка. При проходке капитальных траншей на полную высоту уступа имеется высокая вероятность подтопления вскрываемого горизонта поверхностными или подземными водами, что исключает применение одноковшового погрузчика, прямых механических и гидравлических лопат. Область применения об-

ратной гидравлической лопаты ограничивается уступами, имеющими высоту меньше глубины черпания экскаватора. То есть, при обводненном нижнем горизонте и условии проходки въездных и разрезных траншей на полную высоту можно использовать только экскаватор-драглайн, рабочие параметры которого удовлетворяют предъявленным требованиям (обобщённая рейтинговая оценка 6,21). С учетом того, что глубокие горизонты железорудных карьеров представлены скальными горными породами, для эффективного использования драглайнов необходимо улучшить качество взрывного дробления горных пород [5].

При послойной проходке траншей поперечное сечение траншеи по высоте и ширине делят на ряд отдельных заходов, которые последовательно обрабатывают экскаватором. Высота каждого слоя определяется рабочими параметрами экскаватора [5]. Важным условием при проходке траншей на глубоких обводнённых горизонтах является создание зумпфа, который будет перемещаться по мере понижения горных работ [2]. Порядок работ по проходке траншеи будет различным для машин с верхним черпанием и машин с нижним черпанием. При использовании машин с верхним черпанием прежде всего должны быть организованы водоприёмные выработки. При использовании машин с нижним черпанием водоприёмные выработки создаются в последнюю очередь в самой глубокой части траншеи.

При послойной проходке слоями высотой 3–5 м риск затопления снижается благодаря небольшой высоте слоя, параллельному и опережающему осушению вскрываемой толщи горных пород. При использовании экскаваторов ЭКГ, учитывая кинематическую схему экскаватора и его технические параметры (обобщённая рейтинговая оценка 18,21), мы имеем наиболее сложную, длительную и небезопасную технологию подготовки глубоких горизонтов.

Обратные гидравлические лопаты способны обрабатывать слой горных пород, расположенный на 4–8 м ниже горизонта установки экскаватора, что упрощает организацию работ по созданию временных зумпфов. Транспортные средства могут подаваться под погрузку, как на уровне установки экскаватора, так и ниже его. Технические параметры обратной гидравлической лопаты (обобщённая рейтинговая оценка 5,44) и ее кинематическая схема наиболее полно отвечают требованиям послойной проходки капитальных выработок в сложных гидрогеологических и горнотехнических условиях.

Технологические схемы послойной проходки капитальных траншей при вскрытии и вводе в эксплуатацию глубоких горизонтов в условиях риска их затопления намного более эффективны и предпочтительны, нежели схемы проходки капитальных траншей на полную высоту уступа.

Выполненный анализ выемочно-погрузочного оборудования и технологических схем проходки траншей позволяет предложить, как наиболее эффективную, комбинированную послойную схему проходки траншей. Даная схема предполагает использование нескольких видов оборудования. Рациональным будет использование обратной гидравлической лопаты в сочетании с базовой выемочно-погрузочной машиной, предусмотренной проектом. Работа обратного гидравлического экскаватора в этом случае направлена на создание безопасных условий ведения горных работ для механических лопат.

#### ***Выводы и направления дальнейших исследований.***

В результате математического моделирования установлена зависимость объёма ливневого стока от глубины карьера и геометрических размеров его верхнего контура. При достижении карьером глубины 250 м, объёма ливневого стока достаточно для полного затопления въездной траншеи на дне карьера.

На большинстве карьеров в качестве базового выемочно-погрузочного оборудования используются мехлопаты типа ЭКГ. Но наличие электропривода в совокупности с кинематической схемой не позволяют безопасно эксплуатировать их в сложных гидрогеологических условиях. Как следствие, снижается скорость углубки и производительность карьера.

Анализ технических параметров оборудования и технологических схем проходки траншей показал, что для эффективного ведения работ по углубке карьера предпочтительно применять гидравлические экскаваторы типа обратная и прямая лопата. Применение драглайнов требует корректировки паспорта буровзрывных работ. Для обеспечения безопасных условий

производства горных работ на глубоких горизонтах следует использовать комбинированную послонную схему проходки траншей.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку, технико-экономическое и практическое обоснование ресурсосберегающих технологических схем вскрытия и ввода в эксплуатацию глубоких горизонтов карьеров в сложных гидрогеологических и горнотехнических условиях.

#### Список литературы.

1. Методическое обоснование выбора рациональной схемы водоотлива в условиях кимберлитовых карьеров. / Е.Л. Алькова, С.В. Панишев, С.А. Ермаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. - № 10.- С.192-198.

2. Арсентьев А. И. Устойчивость бортов и осушение карьеров / А. И. Арсентьев, И. Ю. Букин, В. А. Мироненко. - М.: Недра, 1982. – 165 с.

3. Руководство по дренированию карьерных полей / под ред. В.А.Мироненко. – Л.: ВНИМИ, 1968. – 171 с.

4. Организация горных работ при подготовке новых горизонтов на обводненных карьерах / И.И. Дуданов, Д.Н. Лигоцкий, Г.А. Холодняков, В.С. Авраамов // Записки Горного института. 2009. - Том 181.- С. 61-64.

5. Ржевский В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ / В. В. Ржевский. – М.: Недра, 1975. – 574с.

6. Науман Э. Принять решение – но как? – М.:Мир, 1987. – 198 с.