

УДК 622.271.1

**ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ
ВСКРЫШНЫХ ПОРОД ПРИ ВЕЕРНОЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ****Катышев П.В., Кисляков В.Е., Вокин В.Н.***ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» Институт горного дела, геологии
и геотехнологий, Красноярск, e-mail: BestPavel1989@mail.ru*

При разработке мощных угольных месторождений горизонтального и пологого залегания значение имеет вопрос установления порядка и направления перемещения фронта горных работ в плане, обеспечивающих минимальное расстояние транспортирования горных пород. При веерном перемещении фронта исключается необходимость наращивания магистральных транспортных коммуникаций, что ведет к постоянному расстоянию транспортированию полезного ископаемого при полной отработке карьерного поля. Однако данная система разработки подразумевает выемку полезного ископаемого и вскрышных пород блоками переменной ширины КЭБ (клиновидно-эксплуатационный блок), ширина которого уменьшается от фланга к поворотному пункту, исходя из этого, объемы вывозимые с отдельных выемочных участков при отработке КЭБ будут различные. В данной статье рассмотрены основные принципы выбора оптимального направления транспортирования горной массы автосамосвалами в отвал, при различных горнотехнических параметрах разработки месторождения, направления и расстояния транспортирования вскрышных пород в условиях веерного подвигания фронта горных работ.

Ключевые слова: открытые горные работы, веерная система, транспортирование, грузооборот, экскаваторная заходка

**RATIONALE CONVEYING DIRECTION GANGUE
OF THE FAN SYSTEM DEVELOPMENT****Katyshev P.V., Kislyakov V.E., Vokin V.N.***Institute of mining, geology and geotechnologies the Siberian federal university, Krasnoyarsk,
e-mail: BestPavel1989@mail.ru*

In developing the powerful coal deposits of horizontal and sloping bedding of, importance is the question the established order and the direction of movement of the front of mining operations in the plan ensuring minimum distance transportation of rocks. When you move the front fan-eliminating the need to increase the main transport links, which leads to a constant distance transportation of minerals with the full working out a career field. However, this development system includes mineral extraction and overburden blocks of variable width, the width of which decreases from the flank to the turning point, on this basis, the volumes exported from the individual excavation sites in mining blocks of variable width are different. This article describes the basic principles of selecting the optimal direction of transportation of mined rock by trucks to the dump, at various mining parameters of the field development, direction and distance transportation of the overburden in a fan-moving front of mining operations.

Keywords: open pit mining operation, with fan system, transportation, cargo turnover, excavator stope

За последние 10 лет мировое потребление угля выросло почти на 50% (потребление газа – примерно на 30%; нефти и атомной энергии – менее чем на 10%). Уголь – это один из главных энергоресурсов, способный удовлетворить основные энергетические потребности растущего населения и развивающейся мировой экономики, внести важнейший вклад в преодоление энергетической бедности и энергетического неравенства.

Конкурентные преимущества российской угольной отрасли в рамках отечественного ТЭК заключаются в наличии огромных (второе место в мире) запасов угля, которых при существующем уровне добычи хватит на долгосрочную перспективу, значительного опыта использования данного энергоресурса; повышении устойчивости энергоснабжения (в том числе в кризисных ситуациях); возможностях выхода на мировой рынок; наличии существенных резер-

вов повышения эффективности; многообразии различных видов угольной продукции; возможностях адаптации к меняющимся условиям рынка; интеграции с приоритетными направлениями инновационного развития экономики; вкладе в региональную энергетическую безопасность [1].

Вышеизложенное ставит перед угольной промышленностью задачи модернизации предприятий и развитию новых технологий добычи угля, обеспечивающих снижение издержек и повышение эффективности в производстве.

Основная стратегия определения оптимальных схем развития горных работ должна заключаться в установлении управляющих факторов, прямо влияющих на выбор системы разработки, определяющих, прежде всего, положение фронта работ и, следовательно, эффективность отработки месторождений. В отечественной и мировой практике известны четыре схемы:

параллельного, веерного, радиального и комбинированного перемещения фронта работ в технологии поточной добычи угля. Наиболее распространенной и простой по конструкции является параллельная схема, однако её применение сопровождается постоянным наращиванием и перестройкой транспортных коммуникаций. В связи с этим перспективной является разработка месторождений горизонтального и пологого залегания при использовании веерного перемещения фронта горных работ, причем к достоинствам данного способа подвигания можно отнести исключение необходимости постоянного наращивания забойных транспортных коммуникаций, стабилизацию расстояния транспортировки полезного ископаемого, а стационарный поворотный пункт транспортных коммуникаций позволяет благоприятно планировать расположение промышленных сооружений [2].

Перемещение фронта работ по вееру производится с центральным поворотным пунктом, расположенным в месте перегрузки угля с забойных на наклонные магистральные конвейеры [7].

Реализация веерного перемещения фронта горных работ (рис. 1) предполагает отработку выемочных блоков переменной ширины в форме треугольника [4] или трапеции – клиновидно-эксплуатационный блок (КЭБ), следовательно, объемы полезного ископаемого и вскрышных пород в отдельных выемочных участках будут различные, поэтому целесообразно произвести исследование грузопотоков, их направления от параметров КЭБ и транспортирующего оборудования.

При данной технологической схеме (рис. 1) на разных горизонтах площадь вынимаемых КЭБ будет различна за счет применения показателей $l_{б.г.}$ и $l_{б.п.}$ и определяется из следующей зависимости [3]:

$$S_{it} = \frac{\pi \cdot \alpha_{\phi}}{360} \cdot \left[((i_{\Gamma} - 1) \cdot l_{б.г.} - L_{\phi})^2 - ((n_{\Gamma} - i_{\Gamma}) \cdot l_{б.п.})^2 \right], \text{ м}^2, \quad (1)$$

где α_{ϕ} – угол поворота фронта горных работ, град; i_{Γ} – номер горизонта, ед.; n_{Γ} – количество горизонтов, ед.

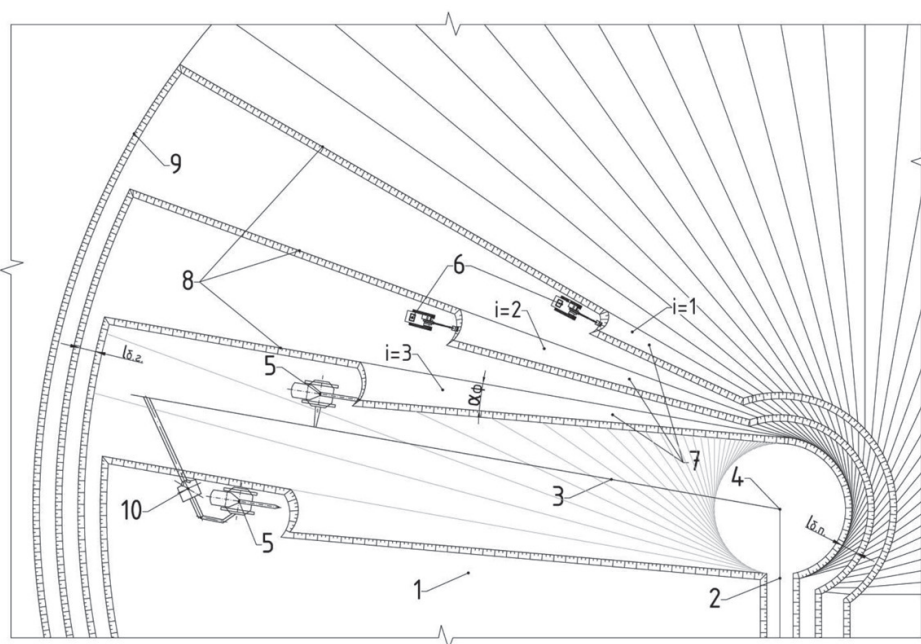


Рис. 1. Технологическая схема разработки угольных месторождений при веерной системе разработки несколькими уступами: 1 – выработанное пространство; 2 – ось магистральных транспортных коммуникаций; 3 – ось забойных транспортных коммуникаций; 4 – стационарный поворотный пункт транспортных коммуникаций; 5 – роторный комплекс; 6 – выемочно-погрузочные комплексы циклического действия; 7 – КЭБ; 8 – линии фронта горных работ на каждом горизонте; 9 – граница карьерного поля; 10 – межуступный перегрузочный пункт; $l_{б.г.}$ – расстояние бермы безопасности (транспортной) на границе карьерного поля, м; $l_{б.п.}$ – расстояние бермы безопасности (транспортной) со стороны поворотного пункта, м

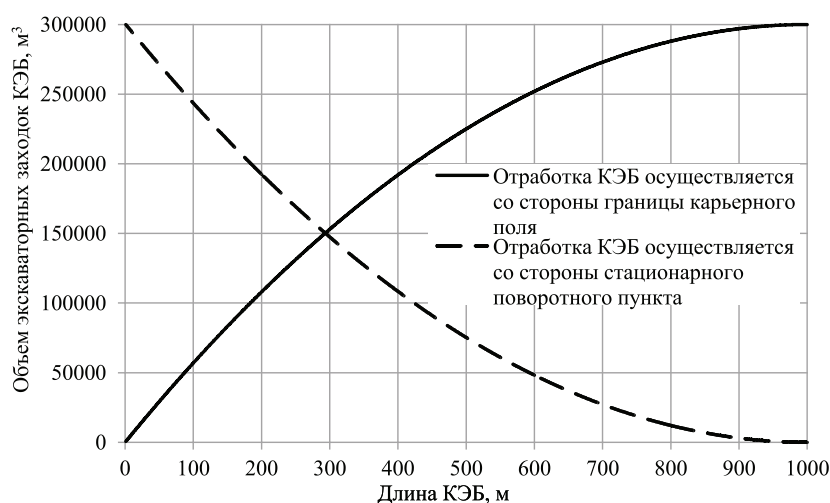


Рис. 2. Изменение объема экскаваторной заходки от длины КЭБ

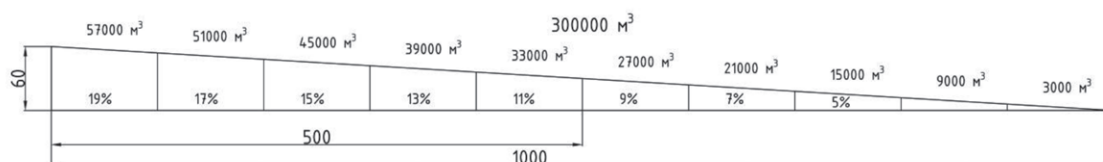


Рис. 3. Типовая схема клиновидно-эксплуатационного блока

Также объемы экскаваторных заходок при отработке КЭБ могут быть различными в зависимости от их длины, ширины и типа применяемого выемочно-погрузочного оборудования. Определение объемов осуществляется в зависимости от направления отработки выемочного блока.

При отработке КЭБ со стороны границы карьерного поля (широкая сторона КЭБ), объемы экскаваторных заходок составят

$$V'_i = 0,5 \cdot L_i \cdot (2 \cdot B_{\max} - L_i \cdot \operatorname{tg} a_{\phi}) \cdot H_y, \text{ м}^3, \quad (2)$$

где L_i — длина i -й экскаваторной заходки, м; $B_{\max}$ — максимальная ширина КЭБ (со стороны границы карьерного поля), м; H_y — высота уступа, м.

При отработке в противоположном направлении, со стороны стационарного поворотного пункта транспортных коммуникаций (с узкой стороны КЭБ) объемы экскаваторных заходок определяются по следующей зависимости:

$$V''_i = 0,5 \cdot L_i^2 \cdot \operatorname{tg} a_{\phi} \cdot H_y, \text{ м}^3. \quad (3)$$

Изменение объемов экскаваторных заходок при разработке КЭБ со стороны границы

карьерного поля и со стороны стационарного поворотного пункта транспортных коммуникаций приведено на рис. 2 при мощности отработки пород равной 10 м.

Из вышеприведенного графика следует, что объемы экскаваторных заходок по длине фронта горных работ будут различные, данные показатели существенно влияют на производительность выемочно-погрузочного оборудования и требуют учета при планировании горных работ.

В зависимости от горнотехнических условий месторождения при веерном подвигании фронта горных работ возникает необходимость отработки КЭБ выемочно-погрузочными комплексами цикличного действия с отгрузкой породы в средства автотранспорта [6], учитывая интенсивность изменения объемов горной массы в КЭБ по длине фронта горных работ целесообразно распределить направления грузопотоков автотранспорта.

Для определения оптимального расстояния и направления транспортировки пород вскрыши (транспортировка породы через узкую или широкую сторону КЭБ), с уче-

том распределения объема внутри КЭБ, было выполнено математическое моделирование блока с размерами в плане по длине 1000 м, на фланге по ширине 60 м и мощностью пород 10 м. Положение отвалов было условно принято в центре заходки (фронта горных работ) – 500 м от фланга (рис. 3).

Расчет средневзвешенного расстояния транспортирования пустых пород и полезного ископаемого с учетом распределения объема горной массы производился по формуле. Результаты расчета сведены в таблице и иллюстрированы графиком на рис. 4.

$$L_{\text{ср.в}} = \frac{\sum_{i=1}^n (L_{\text{три}} \cdot V_{\text{би}})}{V_{\text{кэб}}}, \text{ м}, \quad (4)$$

где $L_{\text{три}}$ – расстояние транспортирования i -го выемочного блока, м; $V_{\text{би}}$ – объем i -го выемочного блока, м^3 ; $V_{\text{кэб}}$ – объем клиновидно-эксплуатационного блока, м^3 .

Если принять, что 300000 м^3 соответствует 100 %, то равным образом рассчитывается расстояние транспортирования, если вывозить горную массу через оба фланга, в такой зависимости, что сначала 19 % вывозится через левый фланг, а 81 % через правый. Затем 36 % левый, 64 % правый и так далее.

Минимальное средневзвешенное расстояние транспортировки равно 800 м достигается при подаче 75 % породы через левый фланг и 25 % – через правый (5 вариант), что является серединой КЭБ в 500 м, это на 85 м меньше, чем вывозить горную массу через левый или правый фланги, с условием равного расстояния транспортиро-

вания пустых пород к месту приемки от левого и правого флангов.

Средневзвешенные расстояния транспортирования горных пород

№ варианта распределения грузопотока	Объемы транспортирования через фланг, %:		Расстояние, $L_{\text{ср.в}}$, м
	левый фланг	правый фланг	
1	19	81	1044
2	36	64	925
3	51	49	850
4	64	36	811
5	75	25	800
6	84	16	809
7	91	9	830
8	96	4	855
9	99	1	876
10	100	0	885

Определением показателя объема работы автосамосвала, учитывающего количество рейсов и груза, вывозимого на отвал при веерной системе разработки, является грузооборот – определяется как произведение массы перевезенного груза и расстояния перевозки [5], расчет которого производился с различными техническими параметрами транспортирующего оборудования по следующим формулам.

Количество рейсов автосамосвала при обработке погонного метра КЭБ:

$$n_{\text{рейс}} = \frac{m_{\text{пм}}}{q}, \text{ ед}, \quad (5)$$

где q – грузоподъемность автосамосвала, т.

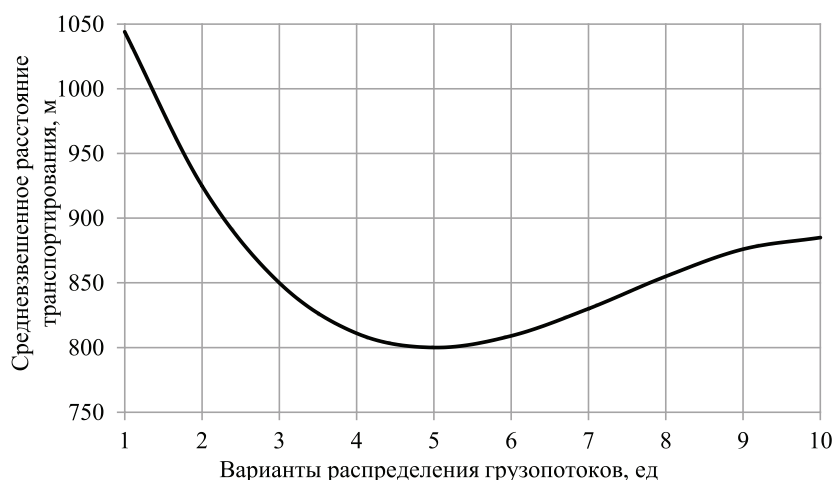


Рис. 4. График изменения средневзвешенного расстояния транспортирования от вариантов распределения грузопотоков

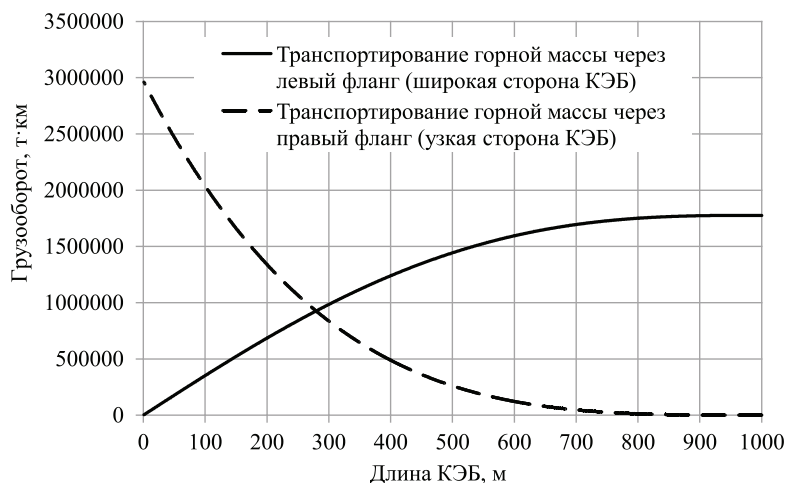


Рис. 5. График изменения грузооборота автосамосвала при отработке КЭБ

Расстояние транспортирования экскаваторной заходки от КЭБ до отвала:

$$L_{\text{тр}} = L_{\text{тркэб}} + L_{\text{тро}}, \text{ м}, \quad (6)$$

где $L_{\text{тркэб}}$ – расстояние транспортирования породы в пределах КЭБ, м; $L_{\text{тро}}$ – расстояние транспортирования от КЭБ до отвала, м.

Расстояние транспортирования с учетом количества рейсов автосамосвалов:

$$L_{\text{трр}} = L_{\text{тр}} \cdot n_{\text{рейс}}, \text{ м}. \quad (7)$$

Грузооборот определяется по следующей зависимости:

$$Q_{\text{г.об.}} = L_{\text{трр}} \cdot m_{\text{пм}}, \text{ т} \cdot \text{км}. \quad (8)$$

Расчет изменения грузооборота при веерной системе разработки производился на КЭБ с параметрами: длина блока ($L_{\text{кэб}}$) 1000 м; максимальная ширина на фланге (B_{max}) 60 и мощностью слоя выемки (h_y) 10 м. Расстояние от КЭБ до отвала пустых пород было условно принято 500 м. При грузоподъемности автосамосвала 30 т результаты расчетов представлены на рис. 5.

Минимальные значения грузооборота при отработке КЭБ – при вывозе горной массы через широкую сторону участка выемочного блока равного 290 м, а остальные объемы вывозятся через узкую сторону. Точка пересечения кривых соответствует показателю ($L_{\text{напр}}$) – расстояние от широкой стороны КЭБ до места изменения направления грузопотока автотранспорта.

Изменение направления грузопотока с учетом показателя $L_{\text{напр}}$ позволяет обеспечить оптимальный грузооборот при отработке КЭБ, тем самым улучшая горно-транспортные работы, и способствует к повышению эффективности выемки запасов полезного ископаемого при веерном подвигании фронта горных работ.

Список литературы

1. Долгосрочная программа развития угольной промышленности России на период до 2030 года. URL: http://minenergo.gov.ru/documents/fold13/index.php?ELEMENT_ID=17442 (дата обращения: 31.10.2014).
2. Кисляков В.Е. Исследование развития фронта горных работ на пологопадающих месторождениях при веерной системе разработки / В.Е. Кисляков, П.В. Катышев // Маркшейдерия и недропользование. – 2014. – Т. 2. – С. 42–44.
3. Катышев П.В. Обоснование параметров фронта горных работ при отработке пологопадающих угольных месторождений веерной системой / П.В. Катышев, В.Е. Кисляков // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: техника и технологии. – 2016. – Т. 9, № 2. – С. 166–173.
4. Новожилов М.Г. Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Ч. 2 [Текст] / М.Г. Новожилов, В.С. Хохлаков, Г.Д. Пчёлкин, В.С. Эскин. – М.: Недра, 1971. – 552 с.
5. Большой Энциклопедический Словарь. URL: <http://www.vedu.ru/bigencdic/16677/> (дата обращения: 16.11.2016).
6. Кисляков В.Е. Работа экскаваторов типа ЭКГ в клиновидной заходке / В.Е. Кисляков, А.В. Никитин, П.В. Катышев, Д.С. Сенаторов // Маркшейдерия и недропользование. – 2013. – Т. 5. – С. 44–50.
7. Шорохов В.П. Веерное подвигание фронта работ при разработке мощных угольных пластов. / В.П. Шорохов, В.Е. Кисляков. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 77 с.