

УДК 622.271.002.5

**ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕВОЗОК НА РАЗРЕЗЕ**

**А. А. Ботвинник**

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: alexbtvn@rambler.ru,  
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

На основе геоинформационной модели угольной залежи и разрабатываемого ее разреза получены аналитические выражения для определения работы по перемещению горной массы из забоя до точки начала выездной траншеи на торцах с учетом характеристик трассы, полученных в ходе геоинформационного моделирования. Рассмотрены варианты определения грузооборота и транспортной работы по преодолению сил тяжести и сцепления с трассой. В примере расчетов для конкретного угольного карьера проводится сравнения одно- и двух-фланговых схем вскрытия.

*Разрез, грузооборот, работа по перемещению горной массы, перевалка вскрыши, точки концентрации, конфигурация трасс*

Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых включает процессы добычи, транспортирования и последующей переработки полезного ископаемого. Важной характеристикой, позволяющей оценить качество проекта ведения горных работ, является работа по перемещению объемов горной массы, обрабатываемых на уступах рабочей зоны карьера. Предлагаемый инструментарий по ее определению позволяет провести выбор экономически эффективного направления транспортирования добытой горной массы из забоя до точки концентрации грузопотока.

В традиционной практике проектирования [1] работа по перемещению горной массы из карьера определяется в тонно-километрах — как произведение перемещаемой массы на длину ее транспортирования. При этом рассматривается проекция автотрассы на вертикальное сечение, а учет перепада высот осуществляется на основе информации о среднем угле откоса. Реально рабочий борт, на котором размещена автотрасса, представляет линию в трехмерном пространстве с участками спуска и подъема. Эта линия не является прямой и имеет кривизну в горизонтальном сечении. Поэтому для точного определения транспортной работы, подсчета необходимого количества подвижного состава и горюче-смазочных материалов (ГСМ) необходимо перейти от плоского к трехмерному представлению автотрассы.

Для оценки транспортной работы необходимо определить точки своза или концентрации, в которые будет перемещаться горная масса с уступов рабочей зоны карьера. Поскольку в поставленной задаче не рассматривается производственная инфраструктура предприятия (топология подъездных путей, размещение складов, перевалочных пунктов и т. п.) в качестве точек своза горной массы приняты точки начала выездной траншеи, а точки концентрации транспортированной горной массы размещаются на поверхности.

Для оценки работы, производимой при перемещении горной массы, в практике проектирования используются два показателя:

— произведение объема массы перемещаемого груза на длину пути транспортирования (тонно-километры), именуемое грузооборотом;

— работа, совершаемая на пути перемещения против сил тяжести и трения (сопротивления дорожного полотна), именуемая работой по перемещению груза.

Обе эти величины характеризуют транспортную работу, однако первая из них является лишь некоторой обобщенной характеристикой связи массы груза и линии его перемещения, в то время как вторая имеет физический смысл работы. Для вычисления рассмотренных показателей разработан следующий аналитический подход.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУЗОБОРОТА ГОРНОЙ МАССЫ

Грузооборот складывается из трех составляющих: работы по перемещению горной массы по уступу; подъему ее по торцевому борту разреза (наклонная плоскость) в точку съезда (начало выездной траншеи) и перемещение по поверхности (горизонтальная плоскость) до точки концентрации грузопотока. Рассмотрим эти структурные составляющие отдельно.

Традиционно грузооборот вычисляется как произведение общей массы на некую среднюю длину транспортного пути из центра масс до нужной точки. Но центр масс невыпуклого тела может находиться вне его границ, и определение длины линии транспортирования в этом случае представляется неясным. В связи с этим предлагается следующий алгоритм.

Грузооборот по определению вычисляется как

$$G_b = \int_L T(x)S(x)dx, \quad (1)$$

где  $G_b$  — грузооборот по уступу карьера;  $T(x)$ ,  $S(x)$  — масса элементарного объема сечения перемещаемого тела в точке  $x$  и расстояние от этой точки до линии дальнейшего транспортирования (выездной траншеи) соответственно;  $L$  — линия перемещения груза на уступе.

Выбирая в качестве размещения транспортных путей какой-либо из торцевых бортов карьера (т. е. варьируя значение функции  $S(x)$ ), можно вычислить значение  $G_b$ .

Особый вопрос возникает при размещении выездных траншей на обоих торцах карьера, что соответствует двухфланговой схеме вскрытия. При этом функция  $S(x)$  приобретает вид

$$S(x) = \begin{cases} S_l(x) & \text{при } S_l(x) < S_r(x), \\ S_r(x) & \text{при } S_l(x) > S_r(x), \end{cases} \quad (2)$$

где  $S_l$ ,  $S_r$  — расстояния от точки  $x$  до точки начала выездной траншеи на левом и правом торцах соответственно. Таким образом, функция  $S(x)$  выбирается такой, что обеспечивает минимум расстояния транспортирования от данной точки до ближайшей точки начала выездной траншеи, причем расстояние вычисляется вдоль фронта горных работ.

Далее, грузооборот  $G_b$  по подъему массы  $P$  вдоль выездной траншеи определим как

$$G_z = P|\Delta z|d_{tr}, \quad (3)$$

где  $|\Delta z|$  — перепад высот между точками начала и конца выездной траншеи;  $d_{tr}$  — коэффициент, определяемый как отношение коэффициента развития трассы  $k_{tr}$  к величине тангенса руководящего уклона. При вычислениях принято значение коэффициента развития трассы 1.3, величина тангенса уклона  $7 \cdot 10^{-2}$  (т. е. угол уклона траншеи  $\approx 4^\circ$ ) [1].

И наконец, определим грузооборот по участку трассы на рельефе от конца выездной траншеи до накопительного пункта. Необходимость такого перемещения возникает в том случае, когда декартово расстояние  $R$  между точкой начала выездной траншеи и точкой концентрации превышает длину трассы  $|\Delta z|d_{tr}$ . Соответственно искомый грузооборот определится как

$$G_h = \max[0, P(R - |\Delta z|d_{tr})]. \quad (4)$$

При этом полный грузооборот запишется в виде

$$G = G_b + G_z + G_h.$$

Заметим, что в таких обозначениях  $S_l(x)$  и  $S_r(x)$  в (2) можно переписать так:

$$S_l(x) = R_l(x) + |\Delta z_l|k_{tr} + L_l; \quad S_r(x) = R_r(x) + |\Delta z_r|k_{tr} + L_r,$$

где  $R_l, R_r$  — расстояние до торцов от точки  $x$  вдоль линии фронта горных работ,  $\Delta z_l, \Delta z_r$  — перепады высот;  $L_l, L_r$  — расстояние транспортирования по левому и правому торцам соответственно. Тогда точка сечения в (2), в которой будет достигаться равенство  $S_l(x) = S_r(x)$ , разделит пополам общую длину транспортирования (по уступу и выездной траншее)  $L_l + L_r + (|\Delta z_l| + |\Delta z_r|)k_{tr} + L_f$ , где  $L_f$  — длина транспортного пути вдоль линии фронта горных работ.

В качестве примера расчетов транспортной работы использовался угольный разрез “Черногорский” (Республика Хакасия), разрабатывающий свиту из 5 пластов пологого падения. Для заданных параметров технологической схемы (ширина рабочей площадки, угол откоса борта) и выбранного направления развития горных работ рассчитаны линии положения горных работ по пластам свиты (рис. 1), определены объемы угля и вскрыши по каждому пласту для 15 последовательных технологических этапов отработки, а затем определен грузооборот для каждого пласта и этапа. Технология построения плана горных работ описана в [2, 3]. В таблице приведены значения грузооборота для одно- и двухфлангового вариантов размещения выездной траншеи.

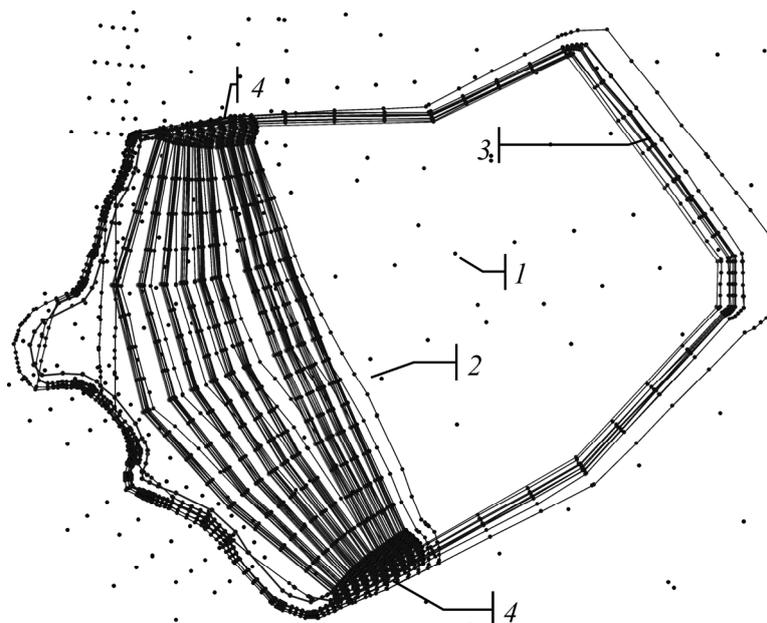


Рис. 1. Модель плана разреза “Черногорский”: 1 — разведочные скважины; 2 — поэтапные положения горных работ; 3 — границы пластов; 4 — торцы разреза

## Грузооборот автотранспорта разреза по этапам его эксплуатации, т·км

Этап	Пласт 1	Пласт 2	Пласт 3	Пласт 4	Пласт 5	Всего
Через левый торец						
Начальный этап						15519.5
Уголь	240 (24)*	287 (30)	258 (41)	113 (46)	143 (56)	
Вскрыша	260 (25)	2201 (33)	464 (45)	1977(56)	8575 (49)	
Этап 1						6721.9
Уголь	569 (14)	271 (34)	261 (63)	207 (81)	262 (83)	
Вскрыша	849 (17)	769 (32)	305 (64)	633 (50)	2596 (70)	
Этап 2						4970.3
Уголь	623 (7)	285 (27)	286 (56)	234 (78)	296 (87)	
Вскрыша	929 (7)	804 (21)	348 (55)	751 (40)	414 (52)	
Через правый торец						
Начальный этап						20139
Уголь	274 (23)	353 (27)	329 (32)	139 (81)	226 (41)	
Вскрыша	1492 (23)	2669(43)	542 (29)	2846 (39)	11272 (38)	
Этап 1						7099
Уголь	660 (10)	304 (20)	266 (44)	190 (66)	299 (67)	
Вскрыша	975 (9)	880 (18)	304 (43)	779 (35)	2441 (21)	
Этап 2						5648
Уголь	715 (8)	321 (20)	297 (46)	218 (69)	311 (79)	
Вскрыша	1059 (6)	928 (16)	355 (43)	916 (34)	528 (35)	
Через оба торца — через левый торец						
Начальный этап						5770
Уголь	140 (14)	195 (22)	141 (34)	53 (39)	69 (54)	
Вскрыша	876 (16)	1390 (25)	227 (37)	1264 (39)	1417 (43)	
Этап 1						1421
Уголь	445 (9)	56 (18)	35 (45)	144 (33)	168 (30)	
Вскрыша	282 (6)	171 (16)	72 (39)	49 (66)	81 (46)	
Этап 2						2166
Уголь	562 (7)	102 (16)	72 (39)	49 (66)	81 (46)	
Вскрыша	450 (3)	299 (11)	85 (38)	282 (26)	184 (20)	
Через оба торца — через правый торец						
Начальный этап						11321
Уголь	87 (12)	76 (18)	119 (26)	62 (70)	103 (64)	
Вскрыша	292 (14)	700 (20)	234 (28)	807 (30)	8841 (37)	
Этап 1						4532
Уголь	105 (7)	211 (14)	184 (35)	122 (58)	160 (57)	
Вскрыша	579 (5)	590 (12)	216 (41)	456 (23)	1909 (14)	
Этап 2						2346
Уголь	63 (6)	172 (13)	158 (34)	111 (76)	122 (70)	
Вскрыша	508 (12)	502 (9)	197 (32)	408 (24)	104 (13)	

\*В скобках указана доля (%), приходящаяся на грузооборот вдоль уступа ( $G_b / G$ ).

Как видно из приведенных в таблице данных, в формировании грузооборота выявляется следующая тенденция: с понижением этапов, в особенности на нижних пластах свиты, основная часть грузооборота приходится на подъем горной массы по торцу карьера. Таким образом, несмотря на заметное снижение суммарных затрат на транспортирование вдоль уступа при размещении транспортных путей на обоих торцах, по сравнению с размещением выездной

траншеи на одном из торцов, полная работа изменяется не столь значительно. Большой объем горной массы, извлекаемый в ходе начального этапа отработки, объясняется необходимостью выемки вскрыши над продуктивной толщей.

Доля транспортирования горной массы вдоль фронта горных работ приводится в обоснование “разумности” вычисленных характеристик: устойчивое падение этой доли с последовательной отработкой этапов отвечает априорному предположению, что с увеличением глубины горных работ эта доля должна монотонно уменьшаться. Вместе с тем для пластов, расположенных стратиграфически выше, доля работы на перемещение горной массы вдоль фронта горных работ должна быть больше, чем для нижележащих. Это свойство прослеживается на рис. 2, 3.

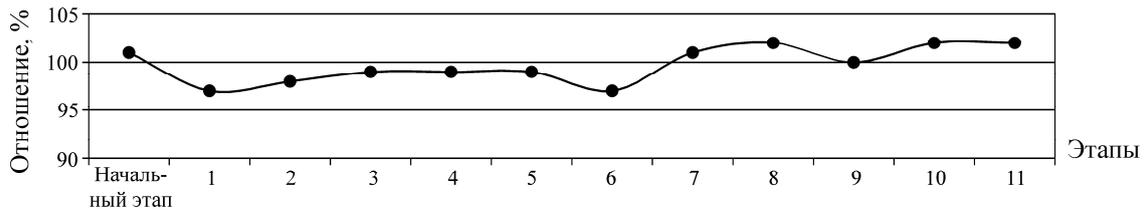


Рис. 2. Относительный объем грузооборота  $G$  при транспортировании горной массы через фланговые выездные траншеи

Приведем лишь конечные результаты, показывающие относительное распределение грузооборота по торцам разреза. Относительность представленных результатов означает, что абсолютные значения грузооборота (а в дальнейшем изложении и транспортной работы) не приводятся, поскольку для выбора вариантов вскрытия и размещения выездных траншей достаточно иметь их относительные значения. Обозначим  $G_m^l$ ,  $G_m^r$  — грузооборот через левый и правый торцы разреза соответственно. При этом индекс  $m$  принимает значения 1 или 2 в зависимости от того, через один или два фланга разреза проводится вскрытие. На рис. 2 представлен график отношения  $G_1^l / G_1^r$ . Видно, что величины  $G_1^l$  и  $G_2^r$  отличаются незначительно, с небольшим преимуществом варианта транспортирования на левый торец разреза.

Теперь рассмотрим вариант двухфлангового вскрытия. На рис. 3 приведены варианты относительных величин поэтапных значений грузооборота на разные торцы разреза при одно- и двухфланговом вскрытии.

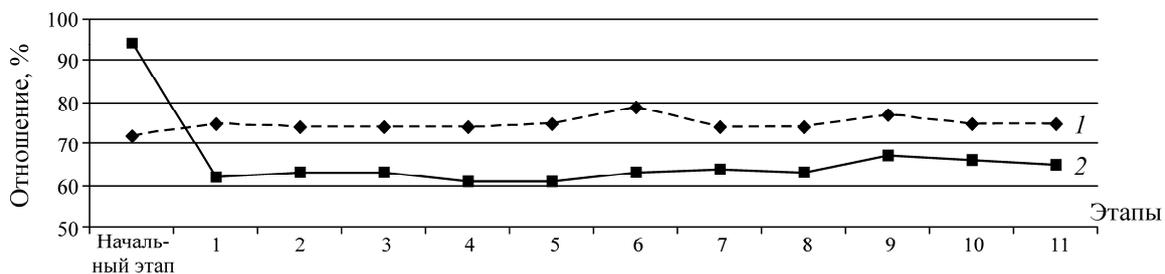


Рис. 3. Отношение грузооборотов: 1 —  $G_1^l / (G_1^l + G_1^r)$  при однофланговом вскрытии; 2 —  $G_2^l / G_2^r$  при двухфланговом вскрытии

Анализ полученных результатов (рис. 2, 3 и таблицы) позволяет сделать следующие выводы:  
 — выбранное направление горных работ обеспечивает относительную стабильность коэффициента вскрыши;

— основной вклад в добычу угля ( $\approx 40\%$ ) дает пласт 5, примерно такая же суммарная доля пластов 4 и 3, разработка пластов 1 и 2 позволяет увеличить добычу до  $15\%$ ;

— двухфланговая схема вскрытия во всех вариантах значительно (примерно на 25 %) снижает объемы грузоперевозок горной массы, при однофланговом вскрытии его выгоднее проводить с левого торца разреза, но относительный выигрыш не превышает 2–3 %, причем в отдельных этапах настолько же предпочтительным оказывается правый торец;

— при двухфланговом вскрытии грузооборот на левый торец разреза составляет 60–65 % от грузооборота на правый торец.

Установлено, что вычисление только грузооборота не дает достаточных оснований для выбора схемы вскрытия и расположения транспортных путей на торцах разреза — нет оснований для принятия однозначного решения. Поэтому в дополнение к описанным характеристикам рассчитана полная транспортная работа по перемещению горной массы, основанная на детальном анализе трасс.

### ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНОЙ РАБОТЫ

Работа по транспортированию горной массы зависит от характеристик транспортных путей, состояния и качества дорожного покрытия, вида и типа транспортного средства и от объема перемещаемой массы. Определяющими параметрами трассы являются ее протяженность и кривизна, уклон, перепад высот в начале и конце трассы. Поскольку в приводимых ниже выражениях для вычисления сопротивления движению параметры трассы определяются для всей линии перемещения, вначале следует представить трассу в виде нескольких участков  $L = \bigcup L_j$ , где участки  $L_j$  — части трассы, внутри которых уклон меняется не более чем на заданную величину  $\varepsilon$  (в вычислениях принято  $\varepsilon = 0.005$  или  $0^\circ 15'$ ). Тогда в пределах участка трассу можно считать монотонно возрастающей или убывающей линией с постоянным уклоном при максимальном значении радиуса ее кривизны (т. е. трасса, по возможности, спрямлена в процессе построения линий фронта горных работ).

В дальнейшем будем считать, что для транспортирования угля в разрезе используется автомобильный транспорт, масса которого  $m_a$  и грузоподъемность  $m_g$ . Тогда, следуя [1, 4], найдем для каждого участка  $L_j$  коэффициенты сопротивления движению  $\omega_d$ :

$$\omega_d = \omega_0 + \omega_u + \omega_r + \omega_s, \quad (5)$$

где  $\omega_0$  — удельное основное сопротивление движению автомобиля, вызываемое силой трения;  $\omega_u$ ,  $\omega_r$  — сопротивления, обусловленные уклоном и кривизной дороги соответственно;  $\omega_s$  — сопротивление, обусловленное ускорением автомобиля при движении с учетом знака ускорения. Все величины  $\omega$  имеют размерность ньютон на килоньютон. Согласно [1],  $\omega_0 = 50$  и  $62.5$  для груженого и порожнего автомобиля соответственно;  $\omega_u$  — значение уклона с учетом знака, вычисленное в промилле, т. е. для участка дороги  $\omega_u = (z_0 - z_1) / R_j$ , где  $z_0$ ,  $z_1$  — высотные отметки точек начала и конца участка,  $R_j$  — длина участка;  $\omega_r = 1.5(200 - r)r$ , где  $r$  — кривизна дорожного участка;  $\omega_s = 109.14a$ , где  $a$  — ускорение автомобиля на участках с уклоном. Поскольку ускорение отлично от нуля лишь на негоризонтальных участках, принято считать горизонтальными участки, уклон которых не превышает  $0^\circ 30'$ .

Таким образом, задаваясь топологией участка  $L_j$ , можно вычислить сопротивление движению автомобиля по дороге в его груженом и порожнем состоянии в каждом направлении, включая выездные траншеи, выходящие на торцы карьера. При этом получаются наборы ха-

рактизирующих участок коэффициентов сопротивления  $\omega_l, \omega'_l, \omega_r, \omega'_r$  в направлении движения к левому и правому торцам (штрихами отмечены коэффициенты сопротивления для движения по участку в обратном направлении порожнего автомобиля).

Согласно [2], удельная работа по перемещению 1 т груза на участке  $L_j$  (МДж/т) вычисляется как

$$f_j = g[(\max(0, \Delta z) + R_j \omega_d)(1 + k_t) + (\min(0, \Delta z) + R_j \omega'_d)k_i], \quad (6)$$

где  $g$  — ускорение свободного падения;  $k_t$  — коэффициент тары ( $m_a / m_g$ ). Поскольку работа против силы тяжести совершается лишь при  $\Delta z > 0$ , в (6) это учтено различными подстановками знака числа  $\Delta z$  при прямом (груженом) и обратном (порожном) движении автомобиля. Следует также учесть, что размерность  $\omega$  (Н/кН) определяет, что расстояние  $R_j$  в (6) принимается в километрах, а  $\Delta z$  — в метрах. Далее на участке можно вычислить работу по транспортированию в направлении правого или левого торцов разреза по выражению, аналогичному (1):

$$A_j = \int_{L_j} T(x) f_j(x) dx. \quad (7)$$

При этом  $f_j$  рассматривается как функция длины вдоль линии  $R$  и перепада высот  $\Delta z$ , вычисляемых в текущей точке линии относительно начала или конца участка  $L_j$ . Таким образом, для участка определяются работы по транспортированию на оба торца разреза  $A_j^l, A_j^r$ .

Тогда общая работа по транспортированию горной массы при однофланговом вскрытии вычисляется с помощью выражений:

$$A^l = \sum_j (A_j^l + \sum_{k=0}^{j-1} f_k^l M_k), \quad (8)$$

$$A^r = \sum_j (A_j^r + \sum_{k=j+1}^N f_k^r M_k),$$

где  $M_k$  — масса, вывозимая с  $k$ -го участка, и формулы (8) составлены в предположении, что участки нумеруются в последовательности от левого торца к правому.

Для двухфлангового вскрытия (8) преобразуется к виду:

$$\tilde{A}^l = \sum_j \tilde{a}_j^l, \quad (9)$$

$$\tilde{A}^r = \sum_j \tilde{a}_j^r,$$

здесь  $\tilde{a}_j^l = \begin{cases} a_j^l, & \text{если } a_j^l < a_j^r, \\ 0 & \end{cases}$   $\tilde{a}_j^r = \begin{cases} a_j^r, & \text{если } a_j^r < a_j^l, \\ 0 & \end{cases}$   $a_j^l = A_j^l + \sum_{k=0}^{j-1} f_k^l M_k$ ,  $a_j^r = A_j^r + \sum_{k=0}^{j-1} f_k^r M_k$ ,

т. е. из двух торцов выбирается тот, работа по транспортированию на который с данного участка меньше, чем на другой. Очевидно, что горная масса, извлеченная на участке трассы, примыкающем к левому торцу, будет транспортироваться на левый торец, примыкающем к правому — на правый. Следовательно, найдется номер участка  $j_0$ , являющийся пограничным: через левый торец будет транспортироваться горная масса с участков с номерами, меньшими  $j_0$ , через правый — с большими. При этом масса  $M_{j_0}$  также целиком будет транспортироваться через левый торец, что при достаточно протяженном участке и неравномерном по длине распределении горной массы внутри его не является оптимальным.

Для определения  $A_{j_0}^l$  и  $A_{j_0}^r$  функция  $f_{j_0}$  в (7) представлялась в виде, аналогичном (2), т. е. при вычислении интеграла значения функции отличны от нуля лишь в том случае, если работа по транспортированию объема к соответствующему концу участка (ближайшему к данному торцу) меньше, чем работа по транспортированию к другому концу. Аналогично выражениям для грузооборота введем  $A_m^l, A_m^r$  — работу по транспортированию горной массы на левый и правый торцы соответственно,  $m$  — индекс, обозначающий одно- и двухфланговую схему вскрытия.

Далее так же, как и при расчете полного грузооборота, вычисляется работа по подъему по торцу и по горизонтальному перемещению по поверхности вместе с работой по перемещению вдоль фронта горных работ, образующие полную транспортную работу.

На рис. 4 приведено отношение транспортной работы при перемещении горной массы через левый и правый торцы разреза аналогично тому, как на рис. 2 показано распределение грузооборота. Сравнение распределений показывает, что анализ работы в данном случае более информативен: в то время как грузопотоки на оба торца примерно равны и для разных этапов чуть большими (на 1–2 %) оказываются значения то на правый, то на левый торец разреза, распределение работы обнаруживает выраженную тенденцию предпочтительного вскрытия на левом торце: значения транспортной работы при этом оказываются на 15–25 % меньше, чем при транспортировании горной массы на правый торец разреза.

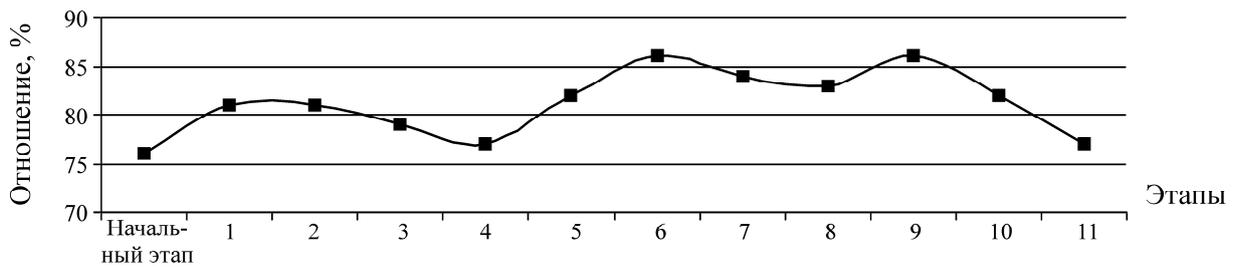


Рис. 4. Отношение транспортной работы  $A_1^l / A_1^r$  при перевозке горной массы через фланги разреза

Анализ результатов распределения транспортной работы при транспортировании на разные фланги разреза при одно- и двухфланговом вскрытии (по аналогии с рис. 3) приведен на рис. 5. Сравнение рис. 3 и 5 заметно демонстрирует выгоду варианта двухфлангового вскрытия: суммарная работа при этом варианте составляет 65–80 % от работы по транспортированию горной массы на левый торец при однофланговом вскрытии, т. е. в 1.25–1.5 раза выгоднее лучшего из однофланговых вариантов. Заметим, что доля работы по транспортированию на левый торец в среднем составляет всего около 30 % от работы по транспортированию на правый торец (в отличие от значительно большей доли его в грузообороте на торцы разреза).

Сравнивая результаты анализа грузооборота и транспортной работы, можно сделать вывод о большей информативности последней — в условиях однородности распределения объемов вдоль линии фронта горных работ из анализа только грузооборота трудно сделать однозначный вывод о предпочтительности какой-либо из схем вскрытия, в то время как анализ распределения транспортной работы по торцам разреза дает возможность такого выбора.

На рис. 6 приводятся относительные величины транспортной работы, необходимые для вывоза 1 т угля. Среднее значение этого отношения для варианта своза на левый торец равно 19 МДж/т, среднеквадратичное отклонение — 1.37, т. е. около 7 % средней величины; для транспортирования на оба торца среднее значение отношения — 13.85, среднеквадратичное отклонение — 1.28 (9 %).

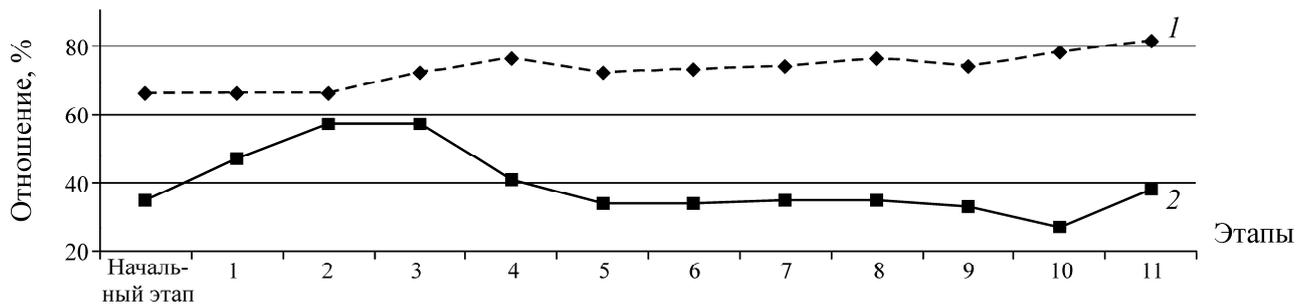


Рис. 5. Распределение транспортной работы при перевозке через разные торцы при различных вариантах вскрытия: 1 — отношение  $A_1^l / (A_1^l + A_1^r)$  при однофланговом вскрытии; 2 — отношение  $A_2^l / A_2^r$  при двухфланговом вскрытии

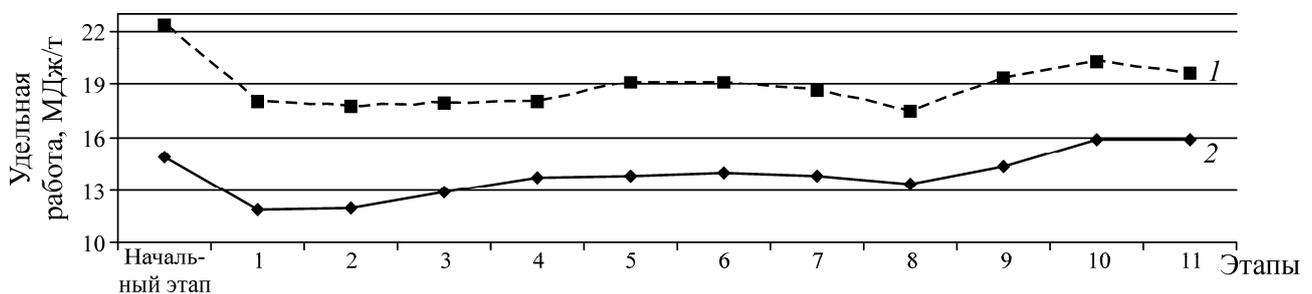


Рис. 6. Удельная транспортная работа: 1 — через левый торец; 2 — через левый и правый торцы разреза

## ВЫВОДЫ

На основе геоинформационной модели разреза разработан алгоритм определения технологических автодорог, оценки грузооборота и транспортной работы по перемещению горной массы в пределах карьерного поля.

Использование этого алгоритма предоставляет возможность оптимизации направлений грузопотоков горной массы и местоположения выездных траншей при одно- и многофланговом вскрытии свиты пологопадающих угольных пластов.

Автор благодарит к.т.н. А. С. Танайно за ценные советы и рекомендации при выполнении работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой К. Н., Потапов М. Г., Винницкий К. Е., Мельников Н. Н. Открытые горные работы: справочник. — М.: Горное бюро, 1994.
2. Танайно А. С., Ботвинник А. А. Пространственное решение горно-геометрических задач в режиме графического диалога при проектировании разрезов // ФТПРПИ. — 1999. — № 6.
3. Щадов М. И., Фрейдина Е. В., Ботвинник А. А., Дворникова А. Н. Системное управление качеством углей при открытой разработке месторождений // Уголь. — 2003. — № 2.
4. Васильев М. В., Сироткин З. Л., Смирнов В. П. Автомобильный транспорт карьеров. — М.: Недра, 1973.

Поступила в редакцию 25/V 2015