УДК 622.271

КОНТУРНОЕ РАЗВИТИЕ КАРЬЕРНОГО ПОЛЯ И ВНЕШНЕГО ОТВАЛА В ЗАДАЧАХ СОКРАЩЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА РАЗРЕЗОВ С АВТОТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ

OUTLINE CAREER FIELDS AND THE EXTERNAL DUMP IN THE TASKS OF REDUCING EXCESS GOAF SECTIONS WITH VEHICLE TECHNOLOGY

Селюков Алексей Владимирович,
канд. техн. наук, доцент, e-mail: alex-sav@rambler.ru
Selyukov Aleksey V.
C.Sc. (Enginiring), Associate Professor

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация. Актуальность работы. *Развитие масштабов производства открытой угледобычи в Кемеровской области способствует прогрессирующему темпу роста изъятия земель сельскохозяйственного назначения. В статье предлагается один из возможных путей управления выработанным пространством карьерных полей угольных разрезов с использованием автотранспорта на перемещении вскрышных пород во внешние отвалы. На основе закономерностей пространственного развития двух объектов "карьерное поле" и "внешний отвал" определяется их динамика через функции диапазонных числовых значений площадей как в начальный период и так в любой промежуток времени. Числовое значение прироста контура (площадей) можно распределить между двумя объектами и избрав в качестве приоритетного - незаполненное выработанное пространство карьерного поля, тем самым его уменьшив.*

Цель работы: *использовать закономерности пространственного развития карьерного поля и внешнего отвала и основанной на этом укрупненной декомпозиции управления незаполненным выработанным пространством карьерных полей угольных разрезов.*

Методы исследования: *в связи с малоизученным характером поставленной задачи предлагается на основе математико-статистической обработки проектных и фактических данных функции контурного развития карьерного поля угольного разреза и внешнего аватоотвала вскрышных пород.*

Результаты: *использование предлагаемых подходов позволяет выявить периодические величины пространственных смещений и выполнить их количественную оценку.*

Abstract. The urgency of the discussed issue. *Development of scale open coal mining in the Kemerovo region contributes to a progressive growth rate of the withdrawal of agricultural lands. The article suggests one possible way of management developed by the space career fields of opencast coal mines using vehicles to move overburden in external dumps. On the basis of regularities of spatial development of two objects of the "career field" and "external dump" is determined by their dynamics through the range of numerical values of the squares as in the initial period and in any time period. The numerical value of the gain of the circuit (space) can span between two objects and choosing as a priority - unfilled, the developed space career field, thereby reducing it.*

The main aim of the study: *to use the regularity of the spatial development career fields and the external dump and based on this decomposition of the integrated blank management developed by the space career fields of opencast coal mines.*

The methods used in the study: *due to the little-studied nature of the set for the villas is proposed on the basis of mathematical-statistical analysis of project data and the actual functions outline career fields and coal mine external dump with transport technology.*

The results: *using the proposed approaches allows to identify periodic values of the spatial displacements and to perform their quantitative assessment.*

Ключевые слова: *карьерное поле, внешний отвал, контуры, управление, выработанное пространство.*

Keywords: *career field, external dump, contours, control, goaf.*

Введение.

Разработка наклонных и крутопадающих угольных залежей Кемеровской области по углубочным продольным системам разработки [1] (классификация, предложенная академиком В.В. Ржевским) сопровождается перемещением пород вскрыши из карьера на внешний отвал с использованием колесных видов транспорта, что обуславливает наличие роста избыточного (незаполненного) выработанного пространства по мере эксплуатации горного предприятия. Этот фактор обусловливает значительную землеемкость угледобычи (до 55га/млн.т) и прогрессирующий рост незаполненного выработанного пространства карьерных полей угольных разрезов.

Материалы и методы.

Контурное развитие карьерного поля. На конечные размеры карьерного поля или остаточной горной выработки влияет размеры и цикличность развития горных работ. Как показывает анализ проектной документации и фактических данных остаточные горные выработки угольных разрезов Кузнецкого угольного бассейна относятся в основном к котловинообразному типу [2]. Так, к примеру, если длина карьерного поля может определяться условиями протяженности угольной залежи, то прирост размерностей карьерного поля при углубочных продольных системах разработки достигается за счет углубления рабочей зоны карьерного поля и соответствующей этому ее приращение на земной поверхности.

По результатам анализа пространственного развития карьерных полей угольных разрезов Кемеровской области, можно сделать заключение о том, что приращение контуров карьерного поля (обозначим через *Пк*) на этапе от i до i+1 в плане горных работ и выраженное в метрах прямо пропорционально углублению рабочей зоны (обозначим как *Ук*) на один ее этап углубления (обозначим через высоту уступа *Ну*) (см. рис.1а,б).

Тогда, в общем виде уравнение укрупненной последовательности пространственного развития рабочей зоны можно представить в виде формулы

$$Пк \approx Ук \approx Ну \text{ или } Vфр \approx Уг \approx Ну, \quad (1)$$

где *Пк (Vф)* − приращение в плане горных работ контуров карьерного поля (скорость подвигания фронта работ) *Ук (Уг)* – приращение контуров при углублении рабочей зоны (темп углубки), *Ну* – высота уступа.

Такой принцип развития рабочей зоны при углубочной продольной системе разработки (см. рис. 1 а,б) свойствен подавляющему большинству угольных разрезов Кемеровской области.

Контурное развитие внешнего отвала вскрышных пород. В работе [3] представлен комплексный анализ проектной документации в части функционирования внешних отвалов вскрышных пород угольных разрезов Кемеровской области с автотранспортной технологией, который показывает:

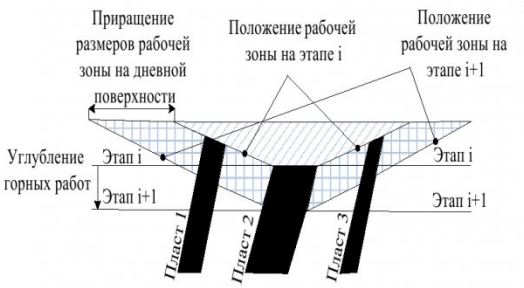
-на угольном разрезе имеются от одного до нескольких отвалов;

-территориальное расположение внешних отвалов 1) по периметру вдоль длинной оси карьерного поля; 2) по периметру в торце карьерного поля; 3) смешанное расположение отвалов, как по периметру вдоль длиной оси карьерного поля, так и в торце.

- развитие контуров отвалов: направленное в сторону карьерного поля; в противоположную сторону от карьерного поля; комбинированное направление развития контуров внешнего отвала.

По результатам анализа установлено, что внешние отвалы вскрышных пород угольных разрезов Кемеровской области в основном с направлением развития своих контуров в сторону карьерного поля и по количественному распределению значительная доля приходится на расположение внешних отвалов по периметру карьерного поля.

а)



б)

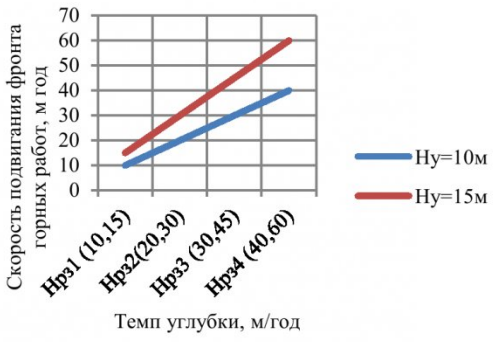


Рис.1. Схема, поясняющая принципы развития рабочей зоны при углубочных продольных системах разработки: взаимосвязь углубления рабочей зоны и ее прироста на земной поверхности (а) и закономерности развития рабочей зоны карьерного поля по А. И. Арсентьеву (б).

Fig.1. A diagram explaining the principles for the development of a working zone at longitudinal development systems: the relationship of deepening the working area and growth on the earth's surface (a) and patterns of development of the working area of the career field by A. I. Arsentiev (b).

Тогда, следует отметить, что в последующем для подавляющего большинства угольных разрезов будет ограничено развитие контуров карьерного поля в части пространственного расположения внешних отвалов вскрышных пород. Следовательно, необходимо определить величины контурного развития внешнего отвала для установления диапазонных значений незаполненного выработанного пространства карьерного поля.

На угольных разрезах Кемеровской области при углубочных продольных системах разработки, одним из основных способов отсыпки внешних автоотвалов вскрышных пород является периферийный. При этом способе, на устойчивых отвалах автосамосвалы, грузоподъемностью до 75т., разгружаются прямо под откос, а большей грузоподъемности на расстоянии 3-5метров от верхней бровки откоса отвала. Затем эта порода перемещается бульдозерам под откос, в этом случае отвал развивается в плане. В целях безопасности, что бы исключить возможность падения автосамосвала при непосредственной разгрузке под откос отсыпают породный вал высотой до 0,8метров и шириной до 2,5метров. Кроме этого, в этих же целях поверхность бульдозерного отвала должна иметь уклон 3-5°.

По высоте, внешние автоотвалы бывают одноярусные и двухъярусные с высотой каждого отвального яруса до 30-60 метров. Угол откоса отвального яруса не более 38°; генеральный угол откоса отвала не более 25-30°. В качестве исходной базы для рассмотрения закономерностей контурного развития внешних отвалов вскрышных пород, принят диапазон изменения средневзвешенной дальности транспортирования вскрыши на отвалы 2-5км. Фиксация внешнего отвала, как объекта производится по средневзвешенной дальности транспортирования и через центры тяжести

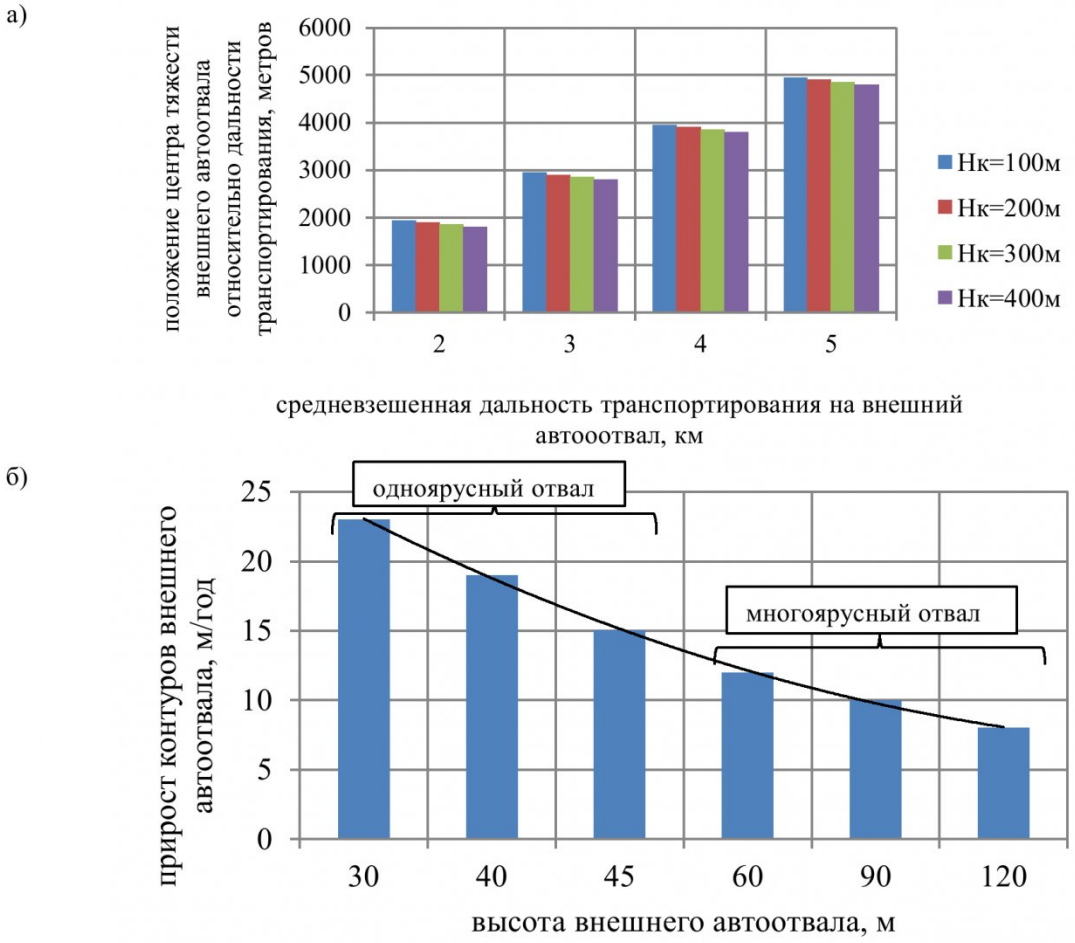


Рис. 2. Зависимость смещения центра тяжести внешнего автоотвала относительно углубления горных работ и средневзвешенной дальности транспортирования вскрыши (а) и основанные на них укрупненные размерности контурного развития внешних автоотвалов вскрышных пород угольных разрезов Кемеровской области (б).

Fig. 2. The dependence of the displacement of the center of gravity of the outer dump regarding the deepening of mining operations and the weighted average distance of transportation of overburden (a) and their enlarged dimension the contour of the development of external dump overburden coal mines of the Kemerovo region (b).

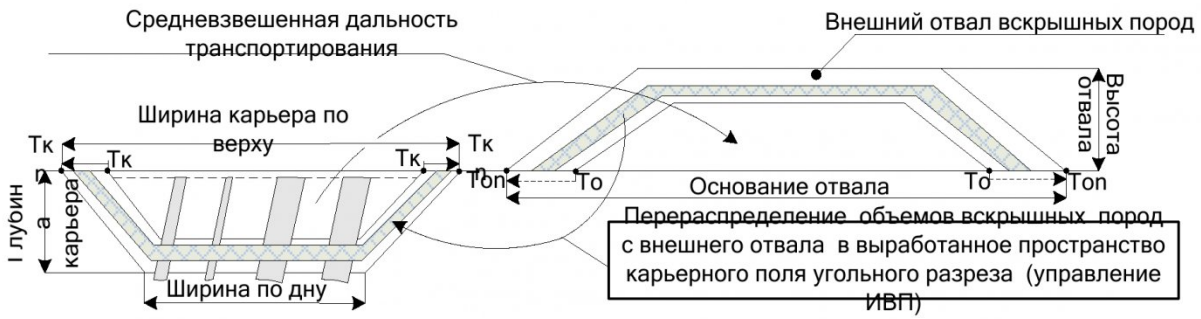


Рис. 3. Принципиальная схема для числовой оценки управления избыточного выработанного пространства карьерных полей угольных разрезов посредствам контурного развития карьерного поля и внешнего автоотвала.

Fig. 3. Schematic diagram for numerical evaluation of the management of the excess of the developed space career fields of opencast coal mines through development outline career fields and external dump.

внешнего отвала (рис.2а) [4]. Затем принимая во внимание смещения центра тяжести отвала относительно конечной глубины карьера (обозначим как Нк), строятся зависимости величин контурного развития внешних автоотвалов вскрышных пород угольных разрезов (рис. 2б).

Анализ графических изображений, представленных на рис.2б, показывает, что приращение контуров развития внешнего автоотвала вскрышных пород можно представить в виде выражения, полученного через математико-статистическую обработку графиков (рис. 2а,б)

$$По = 0{,}3214Но^2 - 5{,}25Но + 28, \qquad (2)$$

где *По* – прирост контура внешнего автоотвала вскрышных пород, м / год; *Но* – высота внешнего автоотвала вскрышных пород, м.

Функция приращения контуров внешнего отвала вскрышных пород будет убывающей с возрастанием высота отвала, а линия убывания представляется полиномом второй степени.

Таким образом, вышесказанное позволяет сделать вывод, при развитии таких объектов, как карьерное поля и внешний автоотвал вскрышных пород существуют их взаимная направленность с установленными уровнями контурного развития.

Управление избыточным выработанным пространством карьерных полей угольных разрезов посредствам контурного развития карьерного поля и внешнего автоотвала. В диссертационной работе к.т.н. Еременко Е.В. [5] термину “избыточное (незаполненое) выработанное пространство (ИВП)” дается следующее определение – разница между приемной способностью выработанного пространства угольного разреза и извлекаемыми объемами вскрыши. Иначе другими словами минимальная величина ИВП это текущая землеемкость угольного разреза, максимальное значение это эксплуатационная землеемкость.

Как уже отмечалось ранее, при таком способе открытой разработки ИВП будет равно объему карьерного поля. Очевидно, что чем больше срок эксплуатации разреза с углубочной продольной системой разработки, тем прогрессивнее темпы роста ИВП.

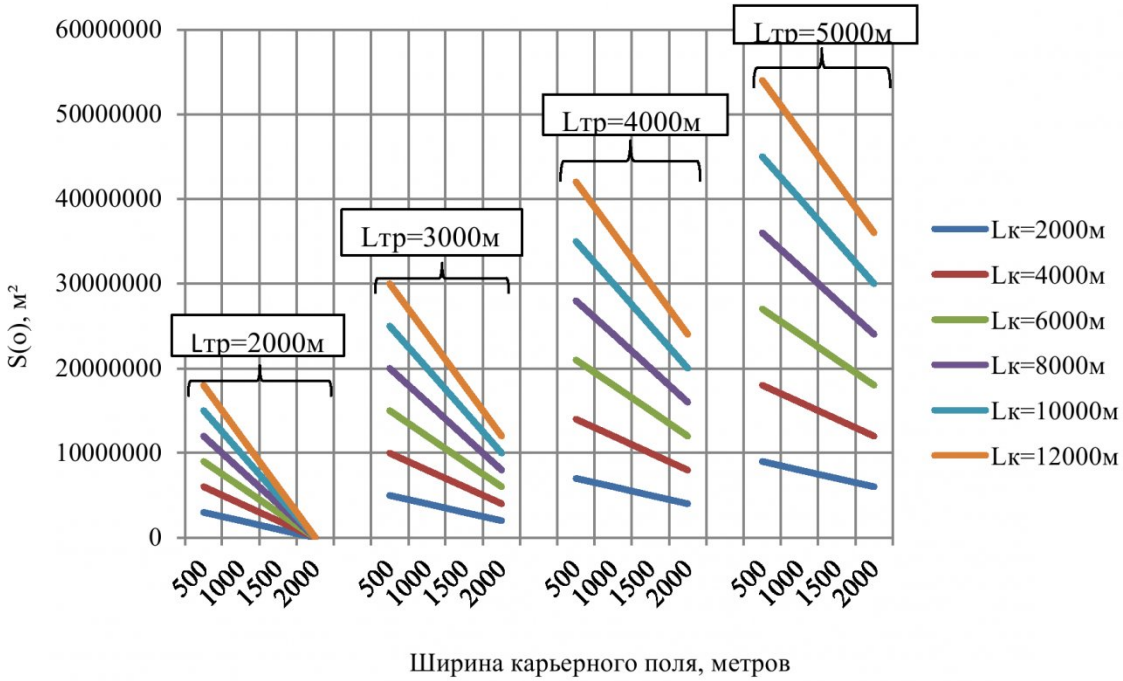
Анализ факторов влияющих на ИВП в условиях действующих разрезов показывает, что основополагающим моментом в ее росте являются следующие факторы (в порядке убывания значимости): 1) горно-геологические условия разработки; 2) система разработки; 3) технология ведения горных работ. Для того что бы сократить остаточную горную выработку необходимо обеспечить снижение роста объемов избыточного выработанного пространства. Такие технологические решения могут быть достигнуты, когда выработанное пространство карьерного поля используется в качестве емкости под складирование вскрышных пород. Это возможно при внедрении систем разработки, характеризующихся максимальным долевым участием внутреннего отвалообразования [6-10].

Тогда, исходя из двух теоретических посылов - контурного развития карьерного поля и внешнего отвала; взаимная направленность их развития - численную схему расчета можно представить в виде графического изображения, представленного на рис.3.

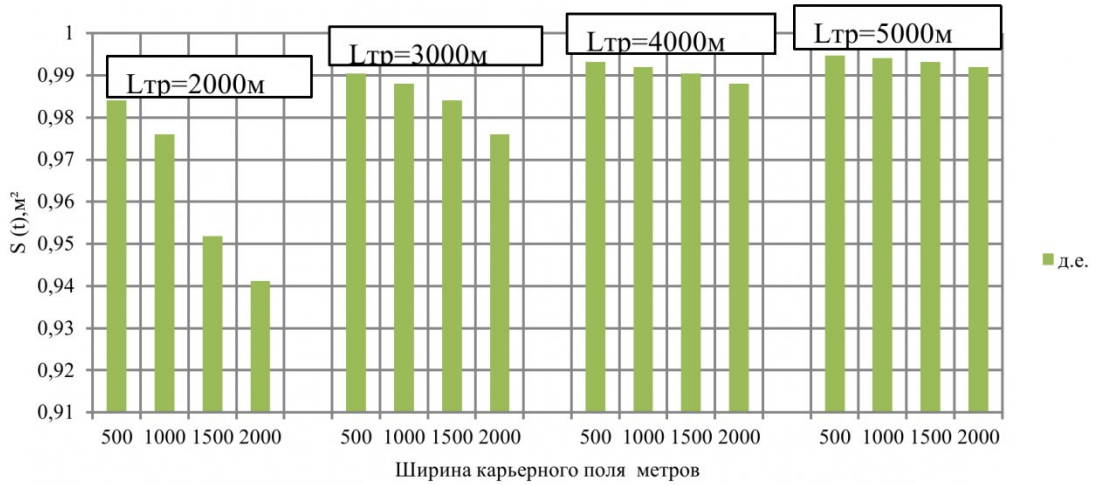
На рис. 3 приняты следующие обозначения. *Тк*, *То* - соответственно начальное положение контуров карьерного поля и внешнего отвала; *Ткп*, *Топ* - соответственно граничные контуры карьерного поля и внешнего отвала; стрелочками показаны вектора скоростей и направления подвигания контуров.

Согласно схеме контурное развитие карьерного поля и внешнего отвала вскрышных пород представляем как сонаправленность двух объектов лежащих в одной горизонтальной плоскости. Так как два объекта пространственно перемещаются навстречу друг другу, то максимальную площадь между объектами можно определить как функцию от времени смыкания пространства между ними. Задаваясь фиксированным начальным положением между объектами по средствам средневзвешенной дальности транспортирования на внешний отвал, определяем их максимальное удаление

а)



б)



в)

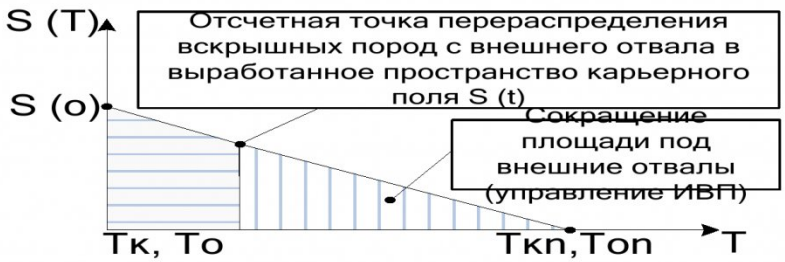


Рис.4. Графическая схема числовых диапазонов функции распределение S (o) в зависимости от параметров карьерного поля (длины, ширины) и средневзвешенной дальности транспортирования (а); гистограмма распределения снижения площади (доли единицы) за искомый промежуток времени (б); укрупненная схема к регулированию сокращения площадей под внешние отвалы и снижения незаполненного выработанного пространства (в).

друг от друга. Тогда площадь объектов можно найти как функцию *S* в начальный момент времени

$$S(o) = (Lmp-B)\cdot L\,, \qquad (3)$$

где *S(o)* - максимальное значение площади объектов (м^2); *Lmp* - средневзвешенная дальность транспортирования на внешний автоотвал; *B* - ширина карьера поверху, (м или км); *L* - длина карьерного поля по верху (м или км).

Выполним преобразование выражения (3) от-

носительно пространственного подвигания контуров в любой промежуток времени

$$S(t) = S(o) - (V1+V2)\cdot t\cdot L = (Lmp-B)\cdot L - (V1+V2)\cdot t\cdot L, \quad (4)$$

где *V1, V2* - соответственно скорости подвигания контуров карьерного поля и внешнего отвала, м/год; *t* - период подвигания контуров.

По выражениям (3)-(4) построены графические зависимости установления взаимовлияния контурного развития карьерного поля и внешнего отвала и укрупненная схема установлении предлагаемого способа путей сокращения избыточного выработанного пространства разрезов с автотранспортной технологией (рис.4а,б, в).

Результаты.

Расчетами установлено (рис.4а,б,в), что для любых диапазонов дальности транспортирования вскрыши на внешние автоотвалы от 2 до 5 км и параметров карьерных полей с шириной от 500 до 2000м, длиной от 2000 до 12000м, что соответствует фактическим данным эксплуатации угольных разрезов Кемеровской области максимальные расчетные значения площадей могут достигать до 55 000 000м^2, т.е. иначе это максимальное значение площади, занимаемое карьерным полем S (о). По мере эксплуатации предприятия прямо пропорционально возрастают контуры карьерного поля или площадь незаполненного выработанного пространства до момента встречи двух объектов, лежащих на одной плоскости, и обратно этому сокращается площадь между двумя объектами - “карьерное поле” и “внешний отвал вскрышных пород”. Тогда в интервале времени от *Тк* (*То*) до *Ткп* (*Топ*) устанавливаем момент времени *S* (*t*), в который происходит сокращение площади избыточного выработанного пространства карьерного поля. Чем ближе эта точка к значениям *Ткп* (*Топ*), тем меньше площадь карьерного поля, занимаемая под складирование вскрышных пород, и наоборот чем ближе к *S*(*о*) тем площадь больше. Общая площадь заключенная между отрезками *S* (*t*) и *Ткп*(*Топ*) и осью абсцисс Т после отсчетной точки означает величину сокращения незаполненного выработанного пространства.

Автор надеется, что сформулированные рекомендации и предложения позволят повысить эффективность работы угольных разрезов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ржевский В. В. Открытые горные работы. Ч. 2 . Технология и комплексная механизация // М.: Недра, 1985. -549с.

2. ГОСТ 17.5.1.01-83. Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения.

3. Селюков А. В. Оценка численного моделирования процесса адаптации внутреннего отвалообразования к режиму действующих карьерных полей Кемеровской области / Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. Томск. – 2015. – Т. 326. – № 12. с.60-71.

4. Селюков А. В. Развитие альтернативных способов проектирования автоотвалов вскрыши /Селюков А. В., Шабин А. В. /Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2014. Материалы XV Международной научно-практической конференции, 6–7 ноября 2014 г., Кемерово [Электронный ресурс] – Кемерово, 2014.

5. Еременко Е.В. Обоснование порядка разработки обширных мощных месторождений слабонаклонного залегания // Дис. на соискание уч. ст. канд. тех. наук. -Красноярск, 2002. -168с.

6. Томаков П. И. Природоохранные технологии открытой разработки крутых и наклонных угольных месторождений Кузбасса / П. И. Томаков, В. С. Коваленко // Уголь. − 1991. −№ 1. – С.8−12.

7. Михальченко В. В. Экологически чистые технологии - будущее открытой угледобычи в Кузбассе / В. В. Михальченко, С. А. Прокопенко// Уголь. − 1992. − № 1. –С.11−14.

8. Демченко А. В. Поэтапно-углубочная технология интенсивной отработки угольных пластов для условий разреза “Краснобродский” / А. В. Демченко, В. А. Ермолаев, С. М. Федотенко // Уголь. − 1997. − № 3. – С. 21−22.

9. Селюков А. В. О технологической значимости внутреннего отвалообразования при открытой разработки угольных месторождений Кемеровской области / А. В. Селюков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. − 2015. − № 5. – С. 23−34.

10. Трубецкой К. Н. Определение области применения способов разработки крутопадающих залежей с использованием заранее сформированного выработанного пространства / К. Н. Трубецкой, А. А. Пешков, Н. А. Мацко // Горный журнал. − 1994. − № 1. − С. 51−59.

REFERENCES

1. Rzhevskiy V. V. Otkrytye gornye raboty. Ch. 2 . Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya // M.: Nedra, 1985. -549s.

2. GOST 17.5.1.01-83. Okhrana prirody. Rekul'tivatsiya zemel'. Terminy i opredeleniya.

3. Selyukov A. V. Otsenka chislennogo modelirovaniya protsessa adaptatsii vnutrennego otvaloobrazovaniya k rezhimu deystvuyushchikh kar'ernykh poley Kemerovskoy oblasti / Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. Tomsk. – 2015. – T. 326. – № 12. s.60-71.

4. Selyukov A.V. Razvitie al'ternativnykh sposobov proektirovaniya avtootva-lov vskryshi /Selyukov A.V., Shabin A.V. /Prirodnye i intellektual'nye resursy Sibiri. Sibresurs 2014. Materialy KhV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 6–7 noyabrya 2014 g., Kemerovo [Elektronnyy resurs] – Kemerovo, 2014.

5. Eremenko, E.V. Obosnovanie poryadka razrabotki obshirnykh moshchnykh mesto-rozhdeniy slabonaklonnogo zaleganiya // Dis. na soiskanie uch. st. kand. tekh. nauk. -Krasnoyarsk, 2002. -168s.

6. Tomakov P. I. Prirodookhrannye tekhnologii otkrytoy razrabotki krutykh i naklonnykh ugol'nykh mestorozhdeniy Kuzbassa / P. I. Tomakov, V. S. Kovalenko // Ugol'. − 1991. −№ 1. – S.8−12.

7. Mikhal'chenko V. V. Ekologicheski chistye tekhnologii - budushchee otkrytoy ugledobychi v Kuzbasse / V. V. Mikhal'chenko, S. A. Prokopenko// Ugol'. − 1992. − № 1. –S.11−14.

8. Demchenko A. V. Poetapno-uglubochnaya tekhnologiya intensivnoy otrabotki ugol'nykh plastov dlya usloviy razreza “Krasnobrodskiy” / A. V. Demchenko, V. A. Ermolaev, S. M. Fedotenko // Ugol'. − 1997. − № 3. – S. 21−22.

9. Selyukov A. V. O tekhnologicheskoy znachimosti vnutrennego otvaloobrazova-niya pri otkrytoy razrabotki ugol'nykh mestorozhdeniy Kemerovskoy oblasti / A. V. Selyukov // Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. − 2015. − № 5. – S. 23−34.

10. Trubetskoy K.N. Opredelenie oblasti primeneniya sposobov razrabotki krutopadayushchikh zalezhey s ispol'zovaniem zaranee sformirovannogo vyrabotannogo prostranstva / K. N. Trubetskoy, A. A. Peshkov, N. A. Matsko // Gornyy zhurnal. − 1994. − № 1. − S. 51−59.

Поступило в редакцию 25.03.2016
Received 25 March 2016