

УДК 622.271

## ОЦЕНКА ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА АДАПТАЦИИ ВНУТРЕННЕГО ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ К РЕЖИМУ ДЕЙСТВУЮЩИХ КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

**Селюков Алексей Владимирович,**

кандидат технических наук, доцент кафедры открытых горных работ  
Горного института Кузбасского государственного технического  
университета им. Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово,  
ул. Весенняя, 28. E-mail: alex-sav@rambler.ru

**Актуальность работы** обусловлена развитием технической оснащенности и масштабов открытой угледобычи в Кемеровской области при ограничении земель сельскохозяйственного назначения. На основе использования специального метода горно-геометрического анализа карьерного поля (определение параметров этапов-очередей отработки) и технологического конструирования систем разработки создаются технологии отработки месторождений очередями при изменении направления подвигания фронта горных работ. При этом на первом этапе-очереди подвигание уступов производится вкост простирания пластов до определенной промежуточной глубины разработки с преимущественно внешним отвалообразованием вскрышных пород, а на втором этапе-очереди отработки – по простиранию пластов до конечной глубины разработки с преимущественно внутренним отвалообразованием. Данные технологии получили название гибких благодаря динамическому подходу к определению границы между этапами-очередями для каждого конкретного месторождения.

**Цель работы.** Модернизация пространственно-планировочных решений по организации технологического процесса внутреннего отвалообразования вскрышных пород на действующих карьерных полях.

**Методы исследования.** Совмещенный анализ проектных и фактических данных о современном состоянии внутреннего отвалообразования при разработке наклонных и крутопадающих залежей в Кемеровской области, специальные методы горно-геометрического анализа карьерных полей во взаимосвязке с конструктивно-параметрическими проработками и технико-экономический анализ предложенных решений с использованием электронных таблиц Excel.

**Результаты.** Предложены рациональные варианты формирования внутриконтурных отвалов в процессе преобразования углубочных продольных в поперечные системы открытой разработки, за счет чего обеспечивается более эффективное получение технологических и экологических преимуществ внутреннего отвалообразования на всех очередях отработки с размещением того или иного промежуточного внутриконтурного отвала.

### **Ключевые слова:**

Открытые горные работы, структурные схемы разработки, внутреннее отвалообразование, карьерное поле, угольные разрезы.

В практике производства открытой угледобычи в Кемеровской области, начиная с момента ввода в эксплуатацию первых угольных разрезов «Бачатский», «Краснобродский» и других, преимущественно имела место углубочная продольная одноили двухбуртовая система разработки наклонных и крутопадающих залежей – по классификации академика В.В. Ржевского [1]. На рис. 1 представлено распределение систем разработки по количеству участков открытой угледобычи в Кемеровской области. Такой способ производства открытых горных работ (позиции 1 и 2, рис. 1) приводит к повышению темпа отчуждения земель, которые подчас важны для сельскохозяйственного назначения [2, 3] (землеемкость открытых горных работ в Кузбассе превосходит среднеотраслевые показатели в 3 раза и достигает 45–50 Га/млн т). Вместе с тем в последнее десятилетие в проектной документации стали появляться технологические решения, направленные на снижение негативных последствий открытых горных работ. К числу таких проектных решений можно отнести внедрение продольных блоковых систем разработки (позиция 3, рис. 1). Сущность технологии состоит в делении карьерного пространства на блоки, из которых первоначальный отработывается до проектной глубины и размещение вскрышных пород производится на вне-

шнем отвале, а затем, по мере образования выработанного пространства, последующие блоки отработываются с размещением вскрыши в образовавшемся пространстве предыдущего [4].

При использовании таких систем разработки объемы внутреннего отвалообразования ограничены или отсутствуют полностью, происходит пикообразный рост вскрышных объемов, дальности транспортирования и отторжения земельных ресурсов протекает прогрессирующими темпами. При блоковой системе разработки доля складирования вскрышных пород во внутреннем отвале несколько выше и может фактически достигать 15 %, однако Б.Т. Рутковский определяет долю внутреннего отвала в общекарьерном объеме вскрыши до 20–30 % [4]. Такой дисбаланс пропорций внешнего и внутреннего отвалообразования поясняется следующим фактом. Угольные разрезы Кемеровской области эксплуатируются несколько десятков лет, вместе с тем единичное внедрение блоковой продольной системы разработки осуществляется в последнее время, что и приводит к сокращению долевого участия размещения вскрыши в выработанном пространстве.

В этой связи очевидно, что важной производственной задачей является изыскание технологических решений, обеспечивающих снижение эко-



**Рис. 1.** Распределение видов систем открытой разработки по количеству карьерных полей угольных разрезов Кемеровской области

**Fig. 1.** Distribution of the types of open development systems by the number of mining fields of the Kemerovo region

логической нагрузки на окружающую природную среду и повышение ресурсосбережения горного производства: при размещении вскрышных пород в выработанном пространстве, сокращении площадей под внешние отвалы. Если этого не предусмотреть в настоящее время, то все угольные разрезы в ближайшие десятилетия будут ограничены собственными внешними отвалами вскрышных пород и их развитие будет проблематичным.

На рис. 2 представлен комплексный анализ проектной документации в части укрупненного формирования внешних отвалов вскрышных пород угольных разрезов Кемеровской области:

- на угольном разрезе имеются от одного до нескольких отвалов;
- территориальное расположение внешних отвалов: по периметру вдоль длинной оси карьерного поля; по периметру в торце карьерного поля; смешанное расположение отвалов, как по периметру вдоль длинной оси карьерного поля, так и в торце (рис. 2, а);
- развитие контуров отвалов: направленное в сторону карьерного поля; в противоположную сторону от карьерного поля; комбинированное направление развития контуров внешнего отвала (рис. 2, б).

По анализу производственной работы и проектной документации можно заключить следующее: контурное развитие внешних отвалов вскрышных пород на угольных разрезах Кемеровской области направлено в сторону карьерного поля и по количественному распределению значительная доля приходится на расположение внешних отвалов по периметру карьерного поля. Тогда следует отметить, что в перспективе для подавляющего большинства угольных разрезов будет ограничено развитие контуров карьерного поля в части пространственного расположения

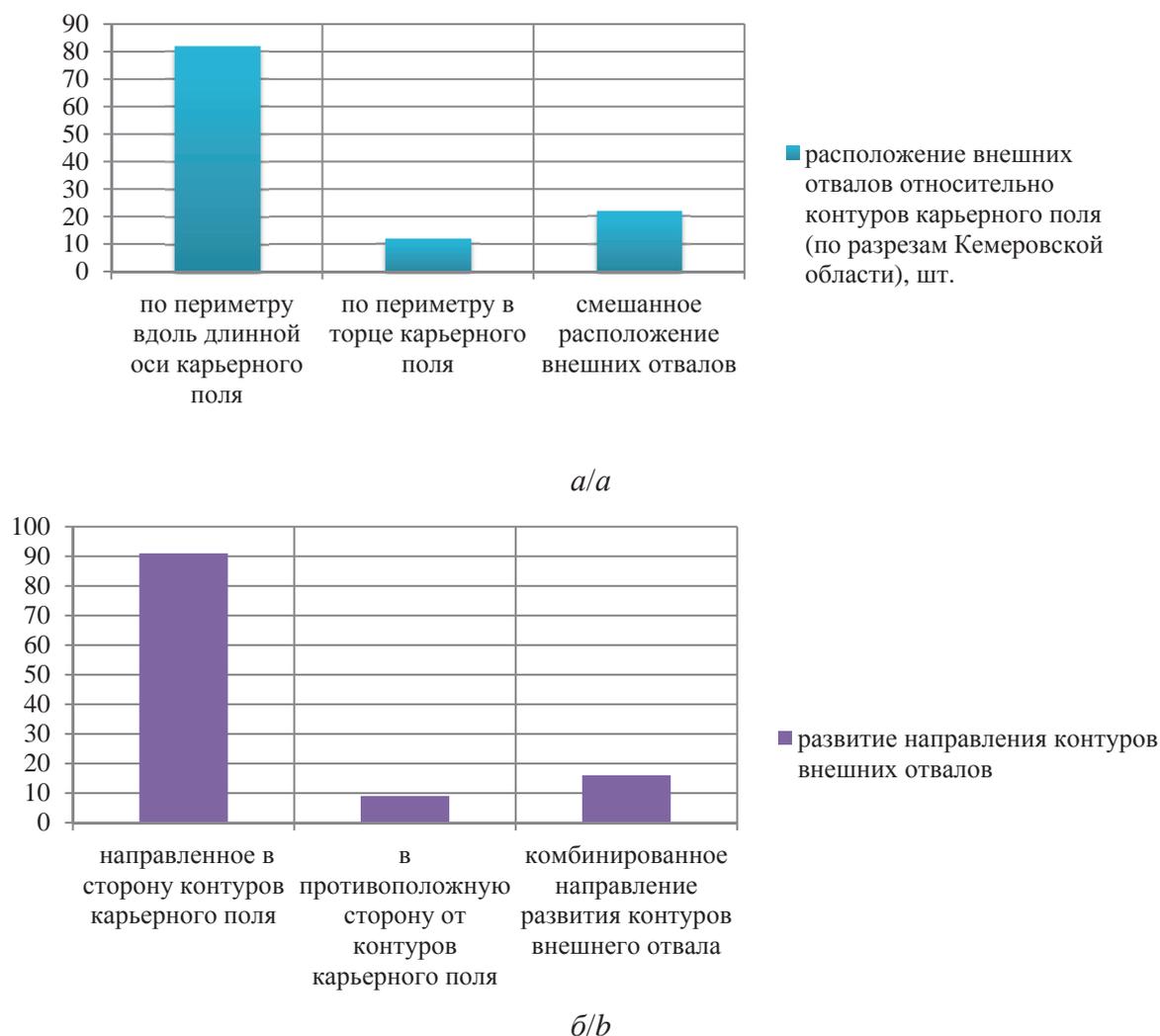
внешних отвалов вскрышных пород на территории горного отвода.

Из ряда научных публикаций [5–10] известно, что при разработке наклонных и крутопадающих угольных залежей могут применяться следующие виды поперечных систем разработки: углубочно-сплошная, поэтапно-углубочная, блочно-слоевая, челочно-слоевая. Эти системы разработки характеризуется двумя этапами развития горных работ: 1) формирование первоначальной емкости в границах карьерного поля для внутренних отвалов; 2) отработка основной части карьерного поля со складированием вскрышных пород в выработанном пространстве карьера.

В вышеупомянутых источниках научно-технической литературы и во многих других, посвященных данному направлению, многократно и доказательно подтверждалась эффективность использования выработанного пространства карьерного поля для складирования вскрышных пород.

На современном уровне развития открытых горных работ за рубежом признано, что наиболее рациональное соотношение технологии и окружающей среды достигнуто в практике работы угольных разрезов США, Канады, Великобритании, Франции. Этому способствуют наименее благоприятные условия открытого способа разработки с точки зрения экологии и горного окружения. Факторами, оказывающими ограничения на развитие открытых горных работ, являются: отсутствие свободных земель; большая плотность населения; развитое сельское хозяйство; развитая инфраструктура коммуникаций; наличие ценных, с исторической, эстетической и природной точек зрения, ландшафтов.

В таких условиях предпочитают технологии, позволяющие иметь минимум нарушенных площадей земной поверхности и производить рекультивацию одновременно с разработкой.



**Рис. 2.** Оценка месторасположения (а) и направление развития контуров внешних отвалов вскрышных пород (б) на угольных разрезах Кемеровской области

**Fig. 2.** Evaluation of the location (a) and the direction of the development of the contours of the external overburden dumps (b) at open-pit coal mines of the Kemerovo region

В зарубежных источниках уже с конца прошлого века [11–16] приводится много примеров практического применения однобортовой поперечной системы разработки с внутренним отвалообразованием на месторождениях угля и отмечаются ее достоинства: нарушаемая горными работами площадь земель и время ее отторжения минимальны; сокращение расстояния транспортирования пород до минимального за счет компактного построения зоны рабочего борта и отвала в карьере; преимущественно внутреннее отвалообразование в основной период работы карьера; ускоренная рекультивация земель (начало через 5–6 лет после начала разработки) со скоростью последующего восстановления, равной скорости отторжения; высокая полнота извлечения запасов за счет разработки пластов только с висячего бока и регулирования высоты подступов.

В табл. 1 приведены примеры применения поперечной системы разработки в зарубежных стра-

нах. Для небольших угольных месторождений Франции характерно применение однобортовой поперечной системы разработки с минимальным размером рабочей зоны и внутренним отвалообразованием. Месторождения имеют 5–6 пластов угля наклонного или крутого падения, осложненных нарушениями.

Пример применения однобортовой поперечной системы в США – карьер KEMMERER мощностью 3,2 млн т, разрабатывающий свиту из 12 пластов наклонного падения (22–25°) мощностью 3–30 м. Глубина работ достигает 300 м, коэффициент вскрыши 4,6 м<sup>3</sup>/т.

На антрацитовых месторождениях восточного побережья США поперечная система запроектирована на месторождениях со сложной геологией. Глубина разработки составляет 250–280 м.

В Канаде поперечная система разработки применяется на группе карьеров (3 карьера) компании QUINTETTE GOAL со сложной геологией и

горным рельефом. Углы падения свит из 5–8 пластов мощностью 0,7–9,5 м меняются в пределах 15°–70°. Выемка пород и угля ведется комплектом гидравлических экскаваторов. Мощность карьеров 1–5 млн т, коэффициент вскрыши 3,5–6,4 м<sup>3</sup>/т, срок работы до 20 лет. Отвалообразование преимущественно внутреннее.

Самым крупным в мире карьером с поперечной системой разработки является совместное предприятие (США и Колумбия) GERRE ON в Колумбии с годовой производительностью по полезному ископаемому до 15 млн т угля в год. На карьере разрабатывается до 40 наклонных пластов угля с диапазоном залегания 10°–35°, мощностью 1–10 м. Максимальная глубина разработки 225 м при ширине карьера 2 км. Длина первоначального этапа разработки составляет 10 км с запасами более 300 млн т. Коэффициент вскрыши 5–6 м<sup>3</sup>/т. Отвалообразование после шестого года разработки внутреннее с параллельным ведением рекультивации.

В настоящее время отдельные элементы таких систем разработки находят применение при составлении проектной документации разрезов «Кедровский», «Краснобродский», «Виноградовский» и др. Однако, как показывают данные по проек-

там, внедрение в проектную практику происходит не с позиции их комплексной реализации, а лишь фрагментарно. Крупным недостатком внедрения систем разработки с внутренним отвалообразованием в проектную практику является следующий момент: реализация должна сопровождаться дополнительным обоснованием их параметров и области эффективного применения относительно конкретных горно-геологических и технологических условий действующего производства, т. е. должны дополнительно выполняться конструктивно-параметрические проработки применительно к условиям действующего разреза.

В качестве одного из решений данной проблемы может быть предложена поэтапная трансформация углубочных продольных в поперечные системы разработки для режима действующих разрезов Кемеровской области. Отличительными признаками от ранее известных работ в данной области исследования является предложенное в авторской интерпретации детализированное поэтапное преобразование конструкции рабочей зоны карьерного поля при адаптации режимов отсыпки внутриконтурных отвалов [17]. Как уже отмечалось, процесс преобразования одного вида системы

**Таблица 1.** Примеры применения поперечной системы разработки в зарубежных странах

**Table 1.** Examples of the application of cross-cut system development in foreign countries

Карьер, страна Quarry, country	Запасы, млн т Reserves, mln t	Площадь горного отвода, Га Mining allotment area, Ha	Количество пластов Number of layers	Мощность пластов, м Thickness of layers, m	Угол падения пластов, град. Angle of incidence of layers, grad.	Мощность карьера, млн т/год Quarry output, million tons per year	Коэффициент вскрыши, м <sup>3</sup> /т Stripping ratio, m <sup>3</sup> /t	Глубина, м Depth, m
Westfield, Великобритания Westfield, UK	20	372	6	–	10–45	–	15,3	206
Nant Helen, Великобритания Nant Helen, UK	3,3	308	13	0,2–3,5	0–10	–	22	146
Park Slip Extension, Великобритания Park Slip Extension, UK	2,3	179	23	0,2–1,1	0–10	0,3	19	120
Ffos Las, Великобритания Ffos Las, UK	3,3	423	11	0,2–5,5	0–7	–	19	140
Keekle Ektension, Великобритания Keekle Ektension, UK	2,1	320	16	0,1–1,7	1–4	0,23	21	120
Keekle Ektension, Великобритания Keekle Ektension, UK	2,1	320	16	0,1–1,7	1–4	0,23	21	120
Dalguhandy, Великобритания Dalguhandy, UK	15	1046	16	0,2–1,9	1–10	1,0	15	110
Herauld, Франция Herauld, France	3,9	–	8	2–6	70	0,2	6	–
Gerrejón, Колумбия Gerrejón, Colombia	300	3800	40	1–10	10–35	до 15	5–6	225
Kemmerer, США Kemmerer, USA	–	–	10	3–30	25–30	3,2	4,6	–
Saxonvale, Австралия Saxonvale, Australia	4700	–	11	2–20	5–20	до 7	4,5	300
Mesa, Канада Mesa, Canada	22	–	5	1–9	22–40	5,3	5,6	200
Wolverine, Канада Wolverine, Canada	–	–	8	0,7–4,3	15–27	1	–	240

разработки в другой конструктивно представлен с помощью трансформации рабочей зоны карьерного поля.

Реализация технических решений основывается на следующих иерархических уровнях:

I – основные виды поперечных систем разработки;

II – этапы развития горных работ при поперечных системах разработки (подготовка емкости под внутренний отвал с учетом выработанного пространства и отработка основной части поля с преимущественным внутрикарьерным отвалообразованием);

III – направление подвигания фронта вскрышных и добычных работ при комбинированном сочленении систем разработки (в профиле и плане карьерного поля);

IV – конструкция забойной и отвальной сторон карьерного поля (в угленасыщенной и безугольной зонах).

К дополнительным иерархическим уровням и признакам, ранее не упоминавшимся в работах [17–19] и детализирующим процесс адаптации, автором устанавливается разбивка карьерного поля технологическими этапами, как в профиле, так и в плане горных работ: А – продольная углубочная система разработки (выработанное пространство); В – контуры емкости под внутренний отвал; А1 – зона оставшейся части карьерного поля, где могут производиться горные работы в период сооружения емкости под отвал; С – основная (оставшаяся после сооружения разработки под внутренний отвал) часть карьерного поля.

С учетом применимости дополнительных признаков для условий действующих карьерных полей угольных разрезов Кемеровской области и параметров залегания свит наклонных и крутых угольных пластов выявлены природно-технологические формы и варианты размещения выработок для внутреннего отвала:

- трапецевидная форма при двухбоковой рабочей зоне;
- треугольная форма при однобоковой рабочей зоне;
- трапецевидная форма при однобоковой рабочей зоне;
- линейно-косоугольная форма;
- криволинейно-замкнутая или разомкнутая форма;
- последовательно сдвоенные, строенные и т. п.

Эти вышеназванные формы карьерных полей образуют в совокупности пространственную форму первоначальной горной выработки по типу тех или иных угольных залежей Кузбасса.

Следует отметить, что залежи различаются, в числе прочих факторов, по геометрической форме, линейным размерам карьерного поля в поперечном сечении и по структурным признакам (параметрам) рабочей зоны; в данном случае во взаимосвязи с названными факторами находятся и структурные решения для этапов производства работ.

На рис. 3 при учете основных факторов горно-геометрических признаков и параметров карьерных полей предложена систематизация форм и вариантов размещения первоначальных выработок под внутренний отвал на действующих разрезах Кузбасса. Относительно структурного наполнения систематизации предлагаются конструктивно-планировочные и организационные решения по реализации размещения внутренних отвалов в режиме действующих карьерных полей угольных разрезов [5].

**Сущность углубочно-сплошной системы разработки.** В одном из торцов залежи от текущей глубины сооружают карьер ограниченных размеров до проектной глубины – так называемый карьер первой очереди. Основное его назначение – создание первоначальной емкости для размещения вскрышных пород при отработке оставшейся части залежи. Карьер первой очереди сооружают с формированием нерабочих бортов в торцевой и боковых частях карьерной выемки, а с противоположной торцевому борту стороны формируют рабочий борт карьера. После завершения строительства карьера первой очереди производят отработку оставшейся части залежи по простиранию с размещением пород вскрыши в выработанное пространство.

Перемещение пород осуществляют транспортными средствами по бермам, а полезное ископаемое (уголь) вывозят на поверхность в места складирования и переработки. Поскольку сооружение карьера первой очереди может вестись по различным уровням (I–IV), то с целью минимизации объема вскрышных пород, вывозимых на внешние отвалы, параметры карьера должны быть также наименьшими, за исключением глубины. После сооружения карьера первой очереди осуществляется переход на технологию с внутренним отвалообразованием.

Основными достоинствами системы разработки, по сравнению с традиционной продольной углубочной, являются: меньшая землеемкость угледобычи вследствие размещения части вскрышных пород в выработанном пространстве; снижение длины транспортирования вскрышных пород; возможность отработки всех пластов свиты со стороны всячего бока, позволяющая снизить потери угля в недрах. К недостаткам этой технологии следует отнести ограниченность фронта горных работ и жесткую взаимозависимость забойной и отвальной зон. Рассмотренная ранее поперечная система разработки с карьером первой очереди хотя и повышает эффективность открытого способа угледобычи по сравнению с традиционной, однако также имеет ряд существенных недостатков. Наиболее значительный из них – необходимость строительства карьера первой очереди до граничной глубины, что удлиняет срок перехода на внутреннее отвалообразование и вызывает нарушение значительных площадей земной поверхности внешними отвалами. Кроме того, возникают затруднения

I. Виды первоначальных выработок при соответствующей форме карьерного поля в плане			
Форма карьерного поля в профиле	Форма карьерного поля в плане		
	Округлая ( $B < L \leq 1,4B$ )	Удлиненная ( $1,4B < L \leq 4B$ )	Вытянутая ( $4B < L \leq 40B$ )
Трапецевидная форма при двухбоковой рабочей зоне			
Треугольная форма при однобоковой рабочей зоне			
Трапецевидная форма при одно- боковой рабочей зоне			
Линейно-косоугольная форма			
Криволинейно-замкнутая или разомкнутая форма			
Последовательно сдвоенные, строенные и т.п.			
II. Положение в различных стратиграфических зонах карьера			
IIa. Положение в профиле горных работ			
Висячий бок залежи	По всей свите или ее центральной части	Лежащий бок залежи	
IIб. Положение по высоте рабочей зоны			
1. $H_{пгв} < H_k$ 2. $H_{пгв} = H_k$ 3. $H_{пгв} > H_k$			
IIв. Положение в плане горных работ			
IIв-1. Положение в торце карьерного поля			
IIв-2. Положение по длине карьерного поля			

**Рис. 3.** Систематизация форм и вариантов размещения первоначальных выработок под внутренний отвал на действующих разрезах Кузбасса:  $H_k$  – конечная глубина карьерного поля;  $H_{пгв}$  – глубина первоначальной горной выработки (емкости под внутренний отвал);  $L$  – длина залежи по простиранию;  $B$  – ширина залежи вкрест простирания;  $-\cdot-\cdot-$  – конечный контур карьерного поля;  $\text{штриховка}$  – конечный контур первоначальной горной выработки

**Fig. 3.** Systematization of the forms and properties of the location of initial internal workings under internal dumps in existing coal mines of Kuzbass:  $H_k$  – the final depth of the mining field;  $H_{пгв}$  – the initial depth of excavation (internal dump capacity);  $L$  – the length of the deposit along strike;  $B$  – the width of the deposits across the stretch;  $-\cdot-\cdot-$  – the final outline of mining fields;  $\text{штриховка}$  – the final circuit of the original mine workings

с реконструкцией карьера при изменении его граничных контуров.

**Сущность поэтапно-углубочной системы разработки.** В одном из торцов угольной залежи сооружают от текущей глубины котлован вкрест простирания залежи на глубину, равную высоте уступа. Порода вскрыши вывозят на внешний отвал. После сооружения котлована породу от разработки первого горизонта размещают в выработанном пространстве. Последующую углубку карьера производят при отгонке верхнего (первого) уступа на величину, определяемую исходя из возможности размещения пород вскрыши от углубки на нижележащий горизонт на поверхности внутреннего отвала. Углубка горных работ ведется до проектной глубины карьера. После этого рабочая зона становится постоянной и вся порода вскрыши перемещается во внутренний отвал.

Угол углубки изменяется в пределах  $16^{\circ}$ – $18^{\circ}$ , что определяет устойчивость внутреннего отвала и время достижения граничной глубины карьера, при которой начинается отработка залежи с полным размещением вскрышных пород во внутренний отвал. Использование данной системы разработки позволяет сократить объемы вскрышных пород, размещаемых на внешних отвалах, и снизить землеемкость угледобычи. Сокращаются также сроки строительства карьера и перехода на технологию с внутренним отвалообразованием. При отработке нижнего горизонта возможно применение бестранспортной технологии. Появляется возможность рекультивации выработанного пространства вслед за продвижением фронта горных работ, что обеспечивает снижение негативного влияния карьера на окружающую среду. Существенным недостатком является консервация части запасов при углубке горных работ. Возможная область применения – отработка свит угольных пластов наклонного и крутого падения большой протяженности по простиранию.

**Отличительная особенность блочно-слоевой системы разработки** – деление всего месторождения по простиранию на блоки, включающие карьер первой очереди, и блоки, обрабатываемые на внутренний отвал. Отработку месторождения начинают с сооружения карьера первой очереди, причем его параметры устанавливают исходя из возможности размещения в создаваемой горной выработке всех пород вскрыши соседнего блока. Параметры блока определяют согласно следующим положениям. Принимается, что один блок обрабатывается в течение одного года. При этом обеспечивается производственная мощность карьера. Мощность горизонтального слоя в блоке устанавливается по условиям минимума потерь и разубоживания при отработке угольных пластов свиты. Слои в блоке обрабатывают последовательно в нисходящем порядке, начиная с верхнего горизонта. Пласты свиты обрабатывают экскаваторами типа прямая и обратная лопата со стороны висячего бока, что позволяет снизить потери угля

и разубоживание его породой. Укладку пород вскрыши в выработанное пространство осуществляют погоризонтно, начиная с нижнего отработанного слоя, или наклонными слоями под углом естественного откоса, отсыпаемыми по мере отработки. Положительными качествами технологии являются: обеспечение благоприятных условий извлечения всех пластов свиты; размещение пород вскрыши в выработанном пространстве; высокая маневренность горного оборудования в пределах слоя. К недостаткам следует отнести нестабильность текущего коэффициента вскрыши в течение года и большой объем вскрышных пород, вывозимых на внешние отвалы. Возможная область применения технологии – месторождения, представленные свитами угольных пластов сложного строения и залегания при достоверно установленных границах карьера.

**Сущность челночно-слоевой системы разработки** заключается в отработке месторождения горизонтальными слоями с разнонаправленным продвижением фронта работ и размещением всех пород вскрыши в выработанном пространстве. Отработку месторождения начинают с сооружения в одном из торцов карьерного поля поперечной карьерной выемки на глубину обрабатываемого слоя, определяемого по критерию транспортной работы при сравнении бестранспортной и транспортной технологий отработки породной части слоя. Вскрышные породы размещаются на поверхности карьерного поля. Возможная мощность обрабатываемого слоя достигает 100 м. Ширина выработки устанавливается исходя из возможности размещения пород вскрыши при отработке слоя в выработанном пространстве. Длину выработки по дну принимают равной горизонтальной мощности обрабатываемой залежи (свиты). После сооружения поперечной карьерной выемки в одном из торцов залежи начинают отработку оставшейся части горизонтального слоя. Отработку слоя производят одним высоким уступом с разбивкой его по высоте на подступы. Перемещение вскрышных пород во внутренний отвал ведут путем перевалки с помощью драглайнов, т. е. по бестранспортной технологии. Выемку угольных пластов осуществляют гидравлическими экскаваторами с отгрузкой породы в сторону выработанного пространства с последующей переэкскавацией драглайнами во внутренний отвал. Отработку слоя ведут подступами в нисходящей последовательности, начиная с верхнего. Отработку подступа выполняют поперечными экскаваторными заходками с опережающей выемкой угольных пластов свиты гидравлическими экскаваторами типа обратная лопата. После отработки первого слоя подготавливают к отработке нижележащий слой. Для этого в первом слое породу с помощью транспортных средств перемещают на поверхность внутреннего отвала. Таким образом, создается пространство для сооружения поперечной карьерной выемки для подготовки к отработке нижележащего слоя (горизонта). При этом соору-

жение подготовительной выработки ведут с вывозкой пород вскрыши также на поверхность внутреннего отвала. После сооружения подготовительной углубочной горной выработки на втором горизонте производят отработку второго горизонта (слоя) с размещением пород вскрыши в выработанном пространстве этого же горизонта. Порода вскрыши из внутреннего отвала первого горизонта перемещают во внутренний отвал того же горизонта на поверхность внутреннего отвала нижележащего слоя. Таким способом направление подвигания фронта работ меняется на противоположное, т. е. отработка нижнего слоя ведется в обратную сторону. После отработки второго слоя осуществляют, при необходимости, углубку на третий горизонт (слой) с соблюдением всех технологических операций, указанных при углубке на второй горизонт, и изменением подвигания фронта работ на противоположное направление. В такой последовательности отработку месторождения ведут до горизонта, на котором достигается равенство слоевого коэффициента вскрыши граничному. Особенностью челночно-слоевой системы разработки является наличие одного добычного слоя. Отработанные вышележащие слои представляют собой внутренние отвалы, периодически переэкскавируемые из одного положения в другое по мере отработки нижележащих породугольных слоев. Положительные стороны: отсутствие внешних отвалов, что снижает землеемкость угледобычи; использование бестранспортной технологии при отработке породугольного слоя, а следовательно, снижение затрат на добычу угля; размещение всех пород вскрыши в выработанном пространстве, что обуславливает сокращение длины транспортирования и снижение транспортных расходов. Отрицательные стороны: необходимость многократной перевалки вскрышных пород внутреннего отвала, что приводит к увеличению текущего коэффициента вскрыши; жесткая взаимозависимость отработки подступов обрабатываемого слоя. Возможной областью применения челночно-слоевой технологии являются угольные залежи большой протяженности по простиранию и высокой угленасыщенности.

На основе комплексного учета: пространственного развития горных работ в рабочей зоне действующего разреза (выработанное пространство), запасов полезного ископаемого (угленосность свиты), годовой производственной мощности, текущего коэффициента вскрыши и других факторов, разработан «механизм» адаптации систем разработки с внутренним отвалообразованием посредством укрупненного алгоритма выбора технологии внутреннего отвалообразования и оценки ее влияния на технико-экономические показатели после реализации предложенных решений [20]. В рамках реализации предложенных решений внедрения поперечных систем разработки в производственные системы разработана компьютерная программа в среде Excel.

Программа включает многостадийный подход к процессу трансформации углубочной продольной одно- или двухбортовой системы разработки в поперечную сплошную:

- оценка состояния горных работ на угольном разрезе (по ключевым параметрам и показателям производственной деятельности);
- процесс технологического формирования того или иного вида поперечной системы разработки (местозаложение, вид, форма и параметры первоначальной выработки под внутренний отвал, вид технологии ведения открытых горных работ);
- оценка влияния процесса интеграции внутреннего отвалообразования в режим действующего карьерного поля.

Интеграция ресурсосберегающих систем разработки в действующее производство посредством расчетной модели [20] позволяет дополнительно обосновать их параметры, показатели и области эффективного применения каждой из поперечных систем разработки. На рис. 4 представлены фрагменты интерфейса компьютерной программы при использовании средств Microsoft Excel с расчетами параметров и показателей формирования поперечных систем разработки в режиме действующего угольного разреза.

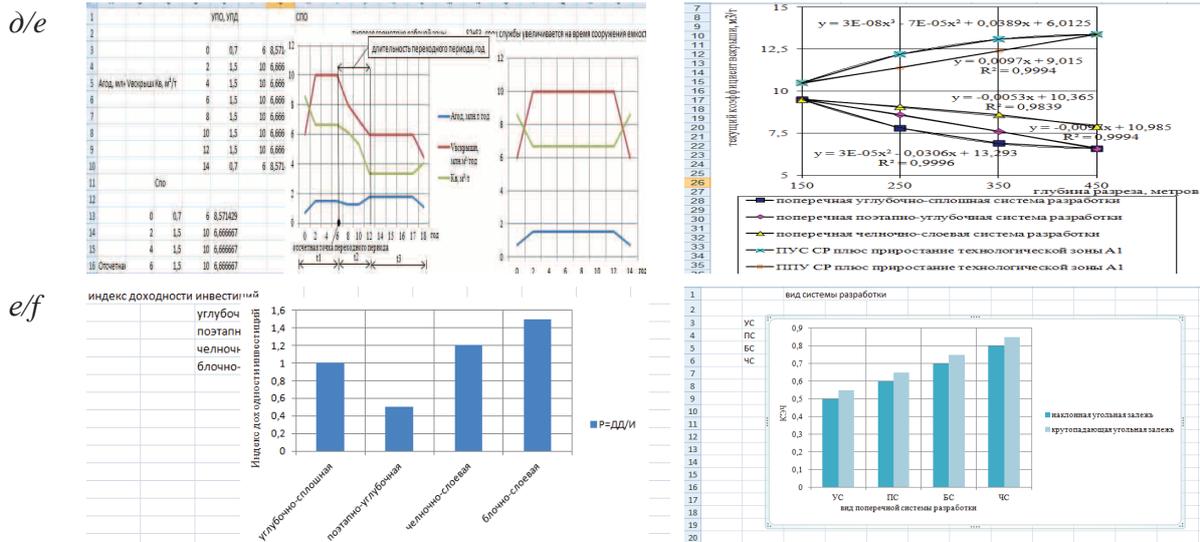
Программа (рис. 4) позволяет давать комплексную оценку адаптации систем разработки с внутренним отвалообразованием для режима действующего разреза: объемные параметры технологий с внутренним отвалообразованием, долевое участие внешнего/внутреннего отвалов, пространственно-временной технологический переход; длительность перехода и доработки карьерного поля; интенсивность горных работ; годовая производственная мощность и др.

#### Выводы

Данные, полученные по результатам оценки численного моделирования процесса адаптации внутреннего отвалообразования к режиму действующих карьерных полей Кемеровской области, позволили получить следующие выводы и рекомендации:

- 1) повышение эффективности угледобычи при отработке крутых и наклонных угольных пластов в рамках традиционных систем разработки ограничивается длительным неиспользованием выработанного карьерного пространства для размещения вскрышных пород;
- 2) основным способом управления развитием горных работ, при котором достигается более раннее использование выработанного пространства для размещения пород вскрыши и дальнейшего непрерывного воспроизводства этого техногенного ресурса, является поэтапное внедрение модернизированных вариантов малоземлемых систем разработки;
- 3) локальное использование систем разработки с внутренним отвалообразованием на некоторых





**Рис. 4.** Фрагменты компьютерной программы при использовании средств Microsoft Excel с расчетами параметров и показателей формирования поперечных систем разработки в режиме действующего угольного разреза: а) пропорции долей внешнего и внутреннего отвалообразования; доля емкости под внутренний отвал в зависимости от глубины карьера и объема выработанного пространства; б) пример раскройки карьерного поля на сектора с целью выявления факторов значимо влияющих на выбор местозаложения выработки под внутренний отвал и процесс перехода от углубочной продольной к поперечным системам разработки; в) геометрические параметры формирования выработок под внутренний отвал по этапам производства горных работ (длина, ширина, глубина); г) объемные параметры по этапам производства горных работ (горная масса, уголь, вскрыша); д) календарный график объемов вскрышиных и добычных работ с выделением отсчетной точки и длительности переходного периода, регулирование текущего коэффициента вскрыши; е) чистый дисконтированный доход (NPV), коэффициенты экологической чистоты поперечных систем разработки

**Fig. 4.** Fragments of a computer program when using Microsoft Excel with calculations of parameters and indicators of formation of cross-development systems in existing coal mine: a) proportions of shares of external and internal dumping; the share of capacity under internal dump depending on the depth of the pit and amount of developed space; b) example of cutting a mining field into sectors to identify the factors which significantly influence the choice of the sector for internal dump and the transition from longitudinal to transverse cross-cut systems of development; c) geometrical parameters of forming excavations under the internal dump according to the stages of production mining (length, width, depth); d) volumetric parameters with regard to the production stages of mining operations (rock mass, coal, and overburden); e) schedule of overburden and mining volumes specifying the reference point and the duration of the transitional period, regulation of the current stripping ratio; f) net present value (NPV), coefficients of the environmental cleanliness of cross-development systems

- разрезах Кемеровской области подтверждает их высокую эффективность;
- 4) извлекаемые объемы по горной массе при сооружении первоначальных выработок под внутренний отвал (с учетом выработанного пространства) не превышают 5–15 % от общих объемов карьерного поля;
  - 5) длительность перехода от углубочной продольной к разнородным поперечным системам разработки при отработке свит наклонных пластов 3–5 лет, при отработке свит крутопадающих пластов 5–8 лет, с максимальным долевым участием внутреннего отвала;
  - 6) для поддержания работы предприятия с достигнутыми технико-экономическими показателями в период сооружения первоначальной выработки годовая производственная мощ-

- ность поддерживается через показатели интенсификации горных работ, а после перехода на внутрикарьерное отвалообразование может возрасти на 15–20 %;
- 7) к условиям любого действующего угольного разреза можно адаптировать режим внутреннего отвалообразования через процесс технологической трансформации с поддержанием достигнутых технико-экономических показателей производственной деятельности и одновременным снижением землеемкости горного производства. Сформулированные выводы допускают, что предлагаемые технологические решения отработки открытым способом угольных месторождений наклонного и крутого падения могут повысить экономическую эффективность работы действующего разреза.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Ч. 2. Технология и комплексная механизация. – М.: Недра, 1985. – 549 с.
2. Ильин С.А., Коваленко В.С., Пастихин Д.В. Преодоление изначальных недостатков открытого способа разработки: опыт и результаты // Горный журнал. – 2012. – № 4. – С. 25–32.
3. Ильин С.А., Коваленко В.С., Пастихин Д.В. Открытый способ разработки месторождений: возможности и пути совершенствования // Горный журнал. – 2012. – № 2. – С. 37–40.
4. Рутковский Б.Т. Блоковый способ отработки месторождений открытым способом // Разработка угольных месторождений открытым способом: межвуз. сб. науч. тр. – Кемерово, 1972. – № 1. – С. 81–87.
5. Корякин А.И. Пути создания малоземлеемких технологий открытой угледобычи в Кузбассе // Вестник КузГТУ. – 1991. – № 1. – С. 60–62.
6. Томаков П.И., Коваленко В.С. Природоохранные технологии открытой разработки крутых и наклонных угольных месторождений Кузбасса // Уголь. – 1992. – № 1. – С. 16–20.
7. Саканцев Г.Г., Ческидов В.И. Установление области применения внутреннего отвалообразования при открытой разработке крутопадающих месторождений полезных ископаемых // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 3. – С. 87–96.
8. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Проблемы и перспективы развития ресурсосберегающих и ресурсооспроизводящих геотехнологий комплексного освоения недр земли // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 4. – С. 116–125.
9. Кузнецов В.И. Управление горными работами на открытых разработках полезных ископаемых Кузбасса. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 1997. – 164 с.
10. Коваленко В.С. Принципы управления выработанным пространством карьера // Открытые горные работы. – 1999. – № 1. – С. 36–40.
11. Woodruff S. Methods of working coal and metal mines. – N-Y.: Oxf., 1966. – 488 p.
12. Weishi Z., Qingxiang C., Shuzhao C. Optimization of transport passage with dragline system in thick overburden open pit mine overburden open pit mine // International Journal of Mining Science and Technology. – 2013. – V. 23. – Iss. 6. – P. 901–906.
13. Chadwick J. Open pit or underground // International Mining. – 2012. – № 1. – P. 28–41.
14. Dhananjai V. A finite element approach of stability analysis of internal dump slope in coal field // Mining Journal. – 2014. – № 5. – P. 11–16.
15. Lien L. Advances in coal mining technology // The coal handbook: towards cleaner production. – 2013. – № 1. – P. 193–225.
16. Daemen J. Mining engineering. – Pittsburgh: PA, 2003. – P. 65–96.
17. Селюков А.В. О технологической значимости внутреннего отвалообразования при открытой разработке угольных месторождений Кемеровской области // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015. – № 5. – С. 23–34.
18. Селюков А.В. Критерии эколого-экономического сравнения технологий внутреннего отвалообразования // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2015. – № 2. – С. 91–98.
19. Селюков А.В., Литвин Я.О. Технологическое развитие блокового способа открытой разработки угольных месторождений // Естественные и технические науки. – 2015. – № 3 (81). – С. 94–94.
20. Селюков А.В. Имитационное моделирование в среде Excel процесса перехода действующих разрезов Кузбасса на экологосберегающие поперечные системы разработки // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2013. – С. 206–210.

Поступила 13.11.2015 г.

UDC 622.271

## EVALUATION OF NUMERICAL SIMULATION OF THE PROCESS OF ADAPTING INTERNAL DUMPING MODE TO THE EXISTING MINING FIELDS OF THE KEMEROVO REGION

Alexey V. Selyukov,

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russia. E-mail: alex-sav@rambler.ru

*The relevance of the work is due to the development of technical equipment and the scale of open coal mining in the Kemerovo region under condition of agricultural land limitation. Through the use of a special method of mining-geometric analysis of mining field (defining the stages and phases of mining) and technological design of mining systems, technologies of mining queues were developed when you change the direction of heading of mining work. In the first step of this phase of mining is the movement of the bench operations across the strike of the strata to a certain intermediate depth of development primarily with external dumping of overburden, and at the second stage of mining is the movement along the strike of the strata to the final depth of development with predominantly internal dumping. These technologies are called flexible due to a dynamic approach to determining the border between stages and queues for each specific field.*

*The main aim of the study is modernization of spatial planning decisions on the organization of the technological process for internal dumping of overburden on existing mining fields.*

*The methods used in the study: combined analysis of design and actual data on the current state of internal dumping in the development of inclined and steeply dipping deposits in the Kemerovo region, special methods of mining-geometric analysis of mining fields in the context of structurally-parametric studies and techno-economic analysis of the proposed solutions using Excel spreadsheet.*

*Results. The authors proposed rational parameters of internal dumps formation in the conversion process of longitudinal cross system open development into cross development system thereby providing more efficient retrieval to technological and environmental advantages of internal dumping at all the stages due to the additional dumping of one or another intermediate contour of the overburden rocks.*

### Key words:

Open-pit mining, block diagrams of development, internal dumping, mining field, open-pit coal mines.

## REFERENCES

- Rzhevskiy V.V. *Otkrytye gornye raboty. Ch. 2. Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya* [Open mining. Part 2. Technology and complex mechanization]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 549 p.
- Ilin S.A., Kovalenko V.S., Pastikhin D.V. Preodolenie iznachalnykh nedostatkov otkrytogo sposoba razrabotki: opyt i rezultaty [Overcoming the original disadvantages of the open-cut method: experience and results]. *Mining magazine*, 2012, no. 4, pp. 25–32.
- Ilin S.A., Kovalenko V.S., Pastikhin D.V. Otkrytyy sposob razrabotki mestorozhdeniy: vozmozhnosti i puti sovershenstvovaniya [Open method of field development: opportunities and ways of improvement]. *Mining magazine*, 2012, no. 2, pp. 37–40.
- Rutkovskiy B.T. Blokovyy sposob otrabotki mestorozhdeniy otkrytym sposobom [The block method of mining the deposits by open method]. *Intercollege*, 1972, no. 1, pp. 81–87.
- Koryakin A.I. Puti sozdaniya malozemleemkikh tekhnologiy otkrytoy ugledobychi v Kuzbasse [Towards the creation of small capacity of the earth technologies of open coal production in Kuzbass]. *Vestnik KuzSTU*, 1991, no. 1, pp. 60–62.
- Tomakov P.I., Kovalenko V.S. Prirodookhrannyye tekhnologii otkrytoy razrabotki krutykh i naklonnykh ugolnykh mestorozhdeniy Kuzbassa [Environmental protection technologies of open development of steep and inclined coal deposits of the Kuznetsk basin]. *Coal*, 1992, no. 1, pp. 16–20.
- Sakantsev G.G., Cheskidov V.I. Ustanovlenie oblasti primeneniya vnutrennego otvaloobrazovaniya pri otkrytoy razrabotke krutopadayushchikh mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh [Determining the scope of internal dumping in opencast mining of steeply dipping deposits of minerals]. *Journal of Mining Science*, 2014, no. 3, pp. 87–96.
- Trubetskoy K.N., Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Problemy i perspektivy razvitiya resursosberegayushchikh i resursovosproizvodyashchikh geotekhnologiy kompleksnogo osvoeniya neдр zemi [Problems and prospects of development of resource-saving and resource-reproducing geotechnologies of complex development of bowels of the earth]. *Journal of Mining Science*, 2012, no. 4, pp. 116–125.
- Kuznetsov V.I. *Upravlenie gornymi robotami na otkrytykh razrabotkakh poleznykh iskopaemykh Kuzbassa* [Management of mining operations in open pit mining of the Kuznetsk basin]. Kemerovo, Kuzbassvuzizdat, 1997. 164 p.
- Kovalenko V.S. Printsipy upravleniya vyrabotannym prostranstvom karera [Principles of management of mined-out space]. *Open-pit mining*, 1999, no. 1, pp. 36–40.
- Woodruff S. *Methods of working coal and metal mines*. N-Y., Oxf., 1966. 488 p.
- Weishi Z., Qingxiang C., Shuzhao C. Optimization of transport passage with dragline system in thick overburden open pit mine overburden open pit mine. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2013, vol. 23, iss. 6, pp. 901–906.
- Chadwick J. Open pit or underground. *International Mining*, 2012, no. 1, pp. 28–41.
- Dhananjai V. A finite element approach of stability analysis of internal dump slope in coal field. *Mining Journal*, 2014, no. 5, pp. 11–16.
- Lien L. Advances in coal mining technology. *The coal handbook: towards cleaner production*, 2013, no. 1, pp. 193–225.
- Daemen J. *Mining engineering*. Pittsburgh, PA, 2003. pp. 65–96.
- Selyukov A.V. O tekhnologicheskoy znachimosti vnutrennego otvaloobrazovaniya pri otkrytoy razrabotke ugolnykh mestorozhdeniy Kemerovskoy oblasti [About the technological significance of internal dumping in opencast mining of coal deposits in Kemerovo region]. *Journal of Mining Science*, 2015, no. 5, pp. 23–34.
- Selyukov A.V. Kriterii ekologo-ekonomicheskogo sravneniya tekhnologiy vnutrennego otvaloobrazovaniya [Criteria of ecological-economic comparison of technologies for internal dumping of high technologies of development and exploitation of mineral resources]. *High technologies of development and use of mineral resources*, 2015, no. 2, pp. 91–98.
- Selyukov A.V., Litvin Ya.O. Tekhnologicheskoe razvitie blokovogo sposoba otkrytoy razrabotki ugolnykh mestorozhdeniy [Technological development of block-method of opencast mining of coal deposits]. *Natural and technical sciences*, 2015, no. 3 (81), pp. 94–94.
- Selyukov A.V. Imitatsionnoe modelirovanie v srede Exsel protsessa perekhoda deystvuyushchikh razrezov Kuzbassa na ekologosberegayushchie poperechnyye sistemy razrabotki [Imitating modeling in the environment of «Excel» of the transition of existing mines in Kuzbass region on ecological cross-development system]. *Materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Bezopasnost zhiznedeyatelnosti predpriyatii v promyshlennno razvitykh regionakh* [Materials X Int. scient. conf. Life safety companies in the industrialized regions]. Kemerovo, 2013. pp. 206–210.

Received: 13 November 2015.