

# РОЗРОБКА РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.831.33

**О.И. Казанин<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, проф.,  
**М.Г. Мустафин<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, проф.,  
**А.А. Мешков<sup>2</sup>**,  
**А.А. Сидоренко<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, доц.

1 – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования „Национальный минерально-сырьевой университет „Горный“, г. Санкт-Петербург, РФ, e-mail: kazanin@spmi.ru; mustafin\_m@mail.ru; sidorenkoaa@mail.ru  
2 – ОАО „СУЭК-Кузбасс“, г. Ленинск-Кузнецкий, РФ, e-mail: office@suek.ru

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИВНОЙ ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В УСЛОВИЯХ ВРЕДНОГО ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

**O.I. Kazanin<sup>1</sup>**, Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
**M.G. Mustafin<sup>1</sup>**, Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
**A.A. Meshkov<sup>2</sup>**,  
**A.A. Sidorenko<sup>1</sup>**, Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Professor

1 – National University of Mineral Resources (University of Mines), Saint-Petersburg, Russia, e-mail: kazanin@spmi.ru; mustafin\_m@mail.ru; sidorenkoaa@mail.ru  
2 – VAT “SUEK-Kuzbass”, Leninsk-Kuznetskiy, Russia, e-mail: office@suek.ru

## DETERMINATION OF PARAMETERS OF INTENSIVE FLAT COAL SEAMS MINING TECHNOLOGY IN THE CONDITIONS OF NEGATIVE EFFECT OF MINING OPERATIONS ON THE DAILY SURFACE

**Цель.** Повышение эффективности отработки свит пологих угольных пластов в условиях вредного влияния горных работ на земную поверхность.

**Методика.** Использован комплексный метод проведения исследований, включающий анализ и обобщение опубликованных в горнотехнической литературе данных по проблеме снижения влияния подземных горных работ на земную поверхность при интенсивной отработке свит пластов; натурные наблюдения за процессами оседания земной поверхности в зонах подработки; натурные исследования геологического строения покрывающей толщи методом аудиомагнитотеллурического зондирования; экспериментально-аналитические исследования с использованием метода конечных элементов.

**Результаты.** Раскрыт механизм формирования провалов земной поверхности при работе на глубинах, почти в 100 раз превышающих вынимаемую мощность пласта. Даны рекомендации по обеспечению экономической эффективности отработки запасов в условиях вредного влияния подземных горных работ на земную поверхность.

**Научная новизна.** Установлены закономерности формирования трещин и разрывов на поверхности при отработке пластов на значительной глубине и наличии в кровле мощных прочных слоев песчаника. Установлена зависимость между ущербом от потерь угля и затрат на рекультивацию поверхности от различных параметров систем разработки пластов.

**Практическая значимость.** Установлено, что наличие мощных прочных слоев песчаника в покрывающей толще является основным фактором, определяющим характер деформаций поверхности при глубинах разработки, превышающих 20-кратную мощность пласта при использовании системы разработки длинными столбами с оставлением между выемочными участками неизвлекаемых ленточных целиков. Определены технологические условия смыкания сформированных трещин и провалов на поверхности при последовательной отработке пологих угольных пластов в свите на шахтах ОАО „СУЭК-Кузбасс“. Предложен критерий выбора параметров технологических схем отработки пластов в условиях вредного влияния подработки на земную поверхность.

**Ключевые слова:** *подземная разработка, угольный пласт, подработка земной поверхности, движение горных пород, компьютерное моделирование*

**Постановка проблемы.** Повышение интенсивности отработки запасов угольных пластов, связанное с внедрением мощной энерговооруженной техники под-

земной угледобычи, характеризуется значительным ростом скоростей подвигания очистных забоев, увеличением длины лав и выемочных участков. Высокая интенсивность отработки приводит к изменениям в процессах деформирования и разрушения пород вмещаю-

© Казанин О.И., Мустафин М.Г., Мешков А.А., Сидоренко А.А., 2015

щей толщи, которые, в некоторых случаях, выходят за рамки установленных ранее закономерностей протекания геомеханических процессов, заложенных в действующие нормативные документы. Это может привести к формированию трещин, провалов и других нарушений поверхности, не прогнозируемых по действующим методикам. Особую актуальность эта проблема приобретает при отработке свит пологих средней мощности и мощных пластов на глубинах до 400 м при необходимости сохранения поверхности.

**Анализ последних исследований.** Основным действующим нормативным документом, определяющим требования к порядку ведения подготовительных и очистных работ при отработке запасов угольных пластов подземным способом, являются „Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях“, которые разработаны на основе результатов наблюдений, обобщения опыта ведения горных работ под зданиями, сооружениями и природными объектами, лабораторных и аналитических исследований процесса сдвижения горных пород и земной поверхности, определения водопроницаемости толщи пород при выемке свит пластов. В Правилах в значительной мере расширены разделы по условиям выемки угля под охраняемыми объектами в свитах пластов, при нару-

шенном и сложном залегании пород, по безопасному ведению горных работ в свитах пластов под сооружениями и водными объектами [1]. Правила предназначены для использования горными предприятиями, проектными и научно-исследовательскими организациями угольной промышленности.

**Анализ нерешенных ранее частей проблемы.** В соответствии с „Правилами охраны ...“ [1], провалы над очистными выработками при разработке пластов с углами падения  $\alpha \leq 35^\circ$  не образуются при условии  $H_v \geq 20m$  (при  $m \leq 3$  м), где  $H_v$  – глубина верхней границы выработки;  $m$  – вынимаемая мощность пласта. Однако современный опыт отработки пологих угольных пластов показывает, что указанное правило может не выполняться. Так, в процессе отработки пласта Байкаимский мощностью 2,6 м в поле шахты „Им. А.Д. Рубана“ (до 2012 г. шахта „Красноярская“) ОАО „СУЭК-Кузбасс“ над выемочными участками 1310, 1308, 1306, 1304 образовались аномальные трещины и провалы земной поверхности, шириной до 7 м, глубиной до 3,5 м, имеющие протяженность до нескольких сот метров (рис. 1). Необычный характер оседания с разрывом сплошности пород обусловлен тем, что трещины и провалы образовались при глубине ведения работ около 250 м, что почти в 100 раз превышает вынимаемую мощность пласта.

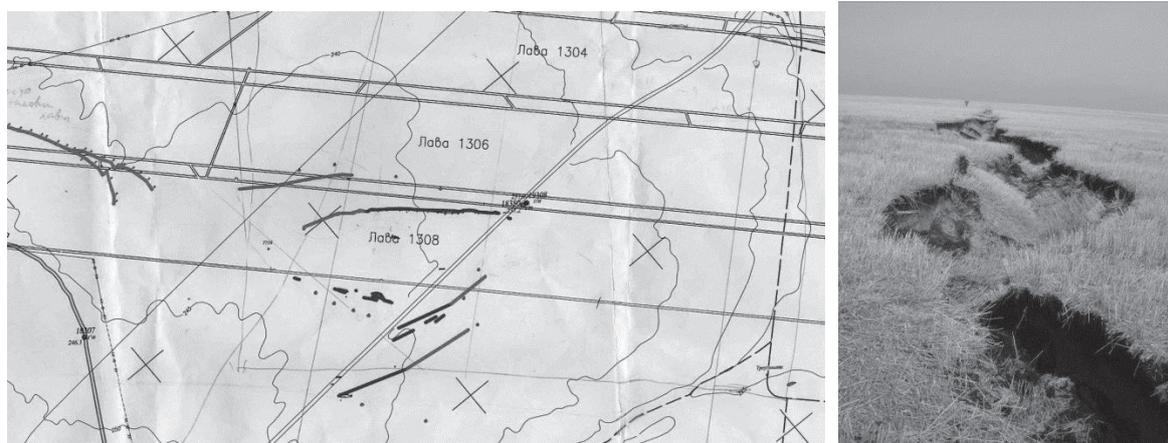


Рис.1. Выкопировка из плана горных работ шахты „Им. А.Д. Рубана“ и фото трещин

**Формулировка цели работы.** Фактические данные о характере оседания земной поверхности свидетельствуют о несовершенстве действующих нормативных документов, необходимости определения рациональных параметров технологических схем и способов управления состоянием массива, исключая или минимизирующих влияние подземных горных работ на сооружения и природные объекты. В то же время, оставление угля в целиках для охраны поверхности формирует ущерб от потерь, размеры которого возрастают с увеличением цены на уголь. Поскольку на шахтах Кузбасса подземным способом в один слой отрабатываются пологие угольные пласты мощностью от 1,1 до 6 м, подрабатываемые земельные участки составляют сотни квадратных километров и включают не только сель-

скохозяйственные земли, но и инфраструктурные объекты, вопросы сохранения эффективности подземной угледобычи при обеспечении охраны земной поверхности являются актуальными практически для всех шахт.

**Изложение основного материала.** Анализ результатов натурных наблюдений и характера разрушений земной поверхности в условиях шахты „Им. А.Д. Рубана“ ОАО „СУЭК-Кузбасс“ показал следующее:

- все деформации поверхности имеют вид продолговатых рвов – „борозд“ или цепочек отдельных воронок, как правило, шириной около 4,0 м;
- процесс деформирования верхней части наносов носит продолжительный характер, так, например, образовавшиеся еще в 2010 г. „борозды“ над лавой 1310

увеличились по длине в 2011 г. еще в 2 раза. Увеличилась по длине и цепочка „провалов“ над лавой 1308. Отдельные изолированные воронки со временем объединяются в сплошную борозду;

- подавляющее число „борозд“ составляет с простиранением пласта угол менее  $45^\circ$  или располагается параллельно, с явным тяготением к районам межлавных целиков;

- прослеживается тенденция общего увеличения количества и протяженности областей сосредоточенных деформаций с уменьшением глубины горных работ.

Поскольку трещины на поверхности распространены не по всей длине выемочных столбов, а лишь на отдельных участках, то в качестве одной из возможных причин формирования трещин рассматривалось наличие аномалий и геологических нарушений в породах покрывающей толщи. Для выявления геологических нарушений были проведены электроразведочные исследования поля шахты „Им. А.Д. Рубана“ в интервале глубин 0–500 м методом аудиоманнителлурического зондирования (АМТЗ). Исследования были выполнены по 4 профилям, три из которых располагались вдоль разведочных линий и пересекали вкрест лавы 1306, 1308, 1310, 1312, 1314 угольного пласта „Байкаимский“, четвертый профиль исследований был заложен вкрест первых трех профилей и проходил вдоль лавы 1310. Длина каждого профиля составляла 1500 м. В результате исследований (рис. 2) никаких аномалий в геологическом строении, а также разрывных нарушений, распространяющихся от отрабатываемых угольных пластов к поверхности, на геоэлектрических разрезах не было выявлено. На разрезе (рис. 2) отсутствуют характерные градиентные зоны, а структура геоэлектрических горизонтов однородна.

Для выявления причин возникновения провалов на земной поверхности была проведена оценка напряженно-деформированного состояния пород квазиоднородного массива и расчет параметров сдвижений с использованием программного комплекса „Plaxis“, с использованием которого решалась объемная задача методом конечных элементов (МКЭ). Модули упругости пород при моделировании: наносы 50 МПа, покрывающие угольный пласт породы 3 ГПа, угольный пласт 1 ГПа, подстилающие породы 10 ГПа. Сцепление пород: наносы 0,1 МПа, покрывающие угольный пласт породы 3 МПа, угольный пласт 1 МПа, подстилающие породы весьма крепкие.

Коэффициенты Пуассона варьировали при моделировании от 0,25 до 0,35. Угол внутреннего трения пород также варьировался в пределах 27–33 градусов. Граничные условия – неподвижность границы модели.

Рассмотрение литологического состава пород покрывающей толщи показало, что на расстоянии примерно 10–20 м от пласта Байкаимский залегает мощный слой песчаника (45–50 м). Причем этот песчаник обнаруживается во всех геологических разрезах. Мощность его варьируется от 30 до 55 м.

Для оценки влияния слоя песчаника на процесс деформирования земной поверхности было выполнено компьютерное моделирование с использованием про-

граммного комплекса „НЕДРА“ по расчету напряженно-деформированного состояния массива горных пород на основе МКЭ [2]. С использованием ПК „НЕДРА“ смоделированы условия, рассмотренные выше, однако при этом структурная модель включала прочный слой (песчаник). Сцепление песчаника принято равным 5 МПа, модуль упругости 30 ГПа. Результаты расчетов показали, что при моделировании отработки одной лавы прочный слой не разрушается (рис. 3, а).

При дальнейшей последовательной отработке выемочных участков происходит разрушение прочного слоя, что приводит к расширению границ мульды, увеличению высоты зоны наибольших сдвижений, величины и скорости оседаний, изменению распределения деформаций в мульде. Высокая скорость подвигания лавы, значительная скорость оседания толщи пород над выработанным пространством вызывают резкое нарастание деформаций растяжений в мульде сдвижения, приводят к разрыву сплошности пород как в толще, так и на земной поверхности.

Таким образом, при отработке пластов под толщей коренных пород, содержащей мощные слои крепких пород (в данном случае песчаников), возможно зависание этих пород, а затем обрушение большими пролетами и, как следствие, возникновение в толще значительных сосредоточенных деформаций, которые передаются наносам. Возникновение зависания пород у межлавных целиков также способствует дезинтеграции массива, нарушению плавности процесса сдвижения над угольной толщей и, как следствие, наносов. При большой мощности наносов (40–70 м на рассматриваемых участках) даже незначительные деформации на контакте коренных пород с наносами могут привести к формированию разрывов на поверхности.

Слой песчаника является своеобразным экраном, сдерживающим развитие процесса сдвижения, характерного однородному массиву. Однако при определенном соотношении выработанного пространства, мощности прочного слоя и его прочности происходит разрушение прочного слоя. При этом, ввиду значительной запасенной энергии в налегающей толще пород и в самом прочном слое, разрушение (срыв консоли) возникает с динамическим эффектом, со сдвигом подработанного массива по сместителю от области разрыва прочного слоя до земной поверхности с образованием на ней провалов и трещин.

Выполненная для условий шахты „Им. А.Д. Рубана“ оценка возможности применения различных горных мер – специальных систем разработки и способов управления горным давлением, способствующих уменьшению вредного влияния подземных горных выработок, показала, что минимизация вредного влияния подземных горных работ на земную поверхность может быть обеспечена путем существенного сокращения длины лавы с 200–250 до 100–120 м, при сохранении или увеличении размеров межлавных целиков. Однако минимизация вредного влияния в таких случаях сопряжена с высокими потерями запасов в пределах шахтного поля (табл.1) и связанным с ними значительным экономическим ущербом.

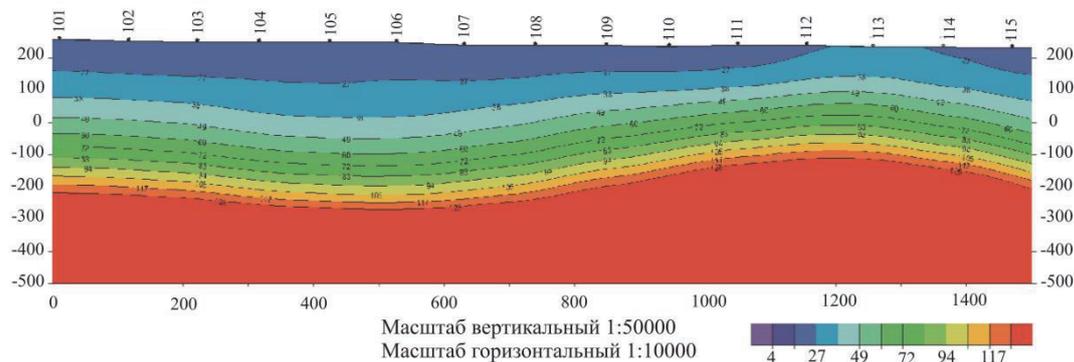


Рис. 2. Геоэлектрический разрез по профилю 1

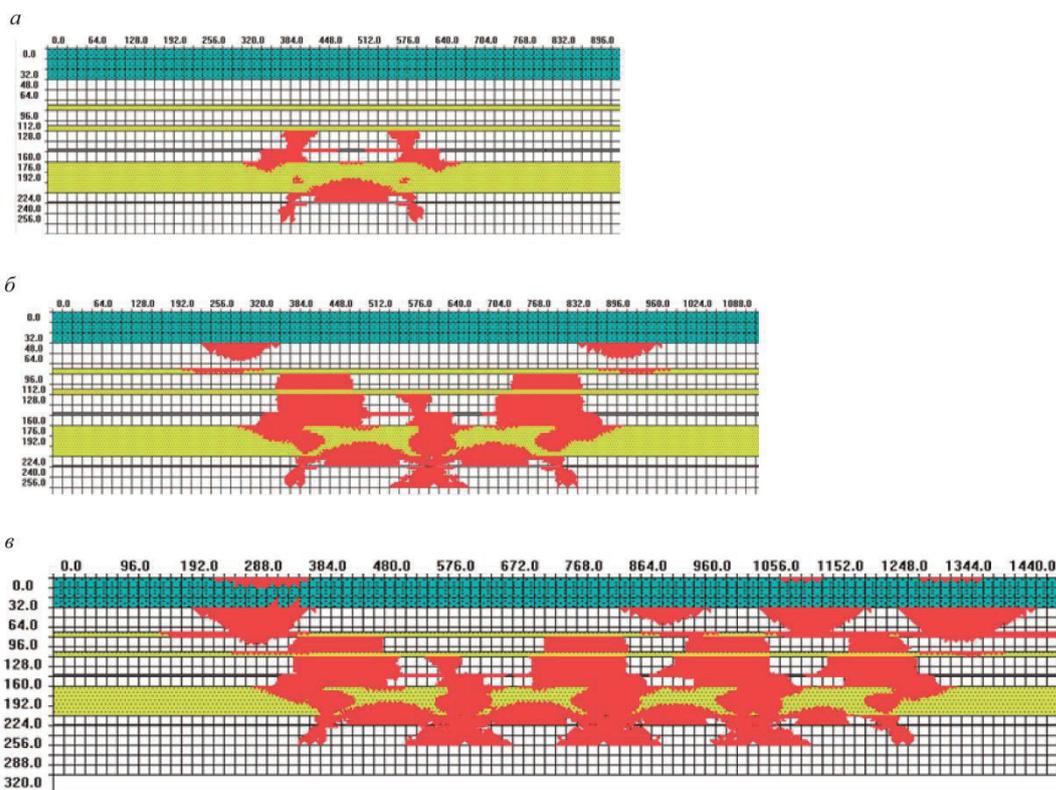


Рис. 3. Зоны разрушения в подработанном массиве горных пород при наличии прочного слоя: а – при отработке 1-го выемочного участка; б – 2-х выемочных участков; в – 4-х выемочных участков по пласту Байкаимский

Таблица 1

Влияние параметров системы разработки длинными столбами на величину коэффициента извлечения (объемы потерь)

Вариант	Длина столба, $L$ , м	Длина лавы, $l$ , м	Ширина межлавного целика, $Z$ , м	Объемы потерь, $Q_{пот}$ , т	$K_{изв}$
№1	2000	250	25	1890000	0,91
№2	2000	200	20	1512000	0,91
№3	2000	180	35	2646000	0,83
№4	2000	150	50	3780000	0,70
№5	2000	120	70	5292000	0,48

Таким образом, применение лав с длинами менее рациональных или камерно-столбовой системы разработки может быть оправдано лишь в случае, если ущерб от вредного влияния подземной разработки будет сопоставим с ущербом от потерь полезного ископаемого.

На рис. 4 представлены зависимости, отражающие влияние применяемых систем разработки и их параметров (определяющих коэффициент извлечения запасов)

на уровень суммарного ущерба, связанного с подработкой земной поверхности, включающего затраты на рекультивацию и ущерб от потери потенциальной прибыли при снижении коэффициента извлечения.

Как видно на рис.4, существенное влияние на уровень суммарного ущерба оказывает конъюнктура рынка угля, а также технико-экономические показатели работы шахты.

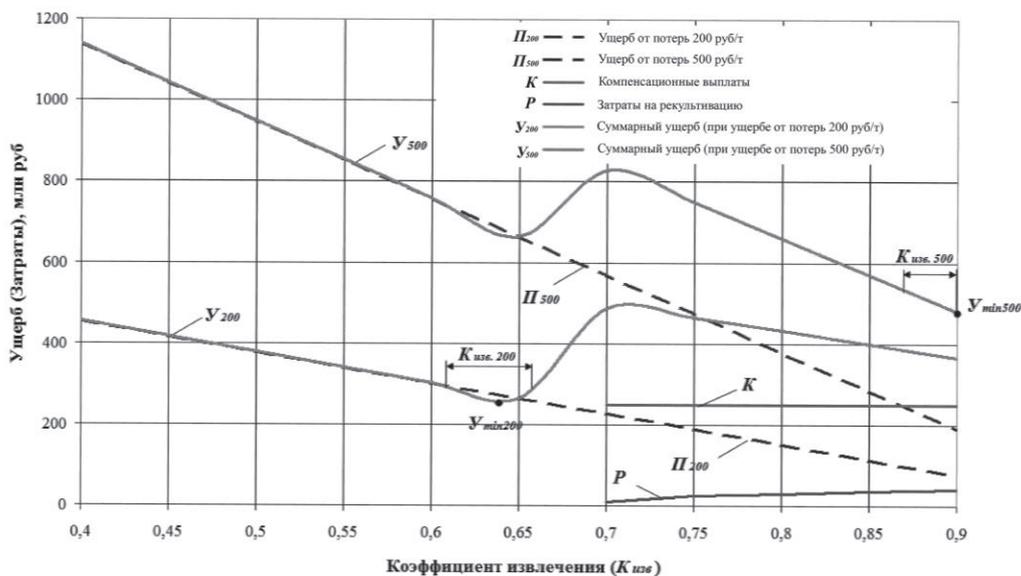


Рис. 4. Влияние параметров применяемых систем разработки на потенциальный ущерб от подработки земной поверхности и потери запасов в условиях шахты „Им. А.Д. Рубана“

Исследованиями установлено, что при отработке сближенных пластов в условиях шахты „Им.А.Д. Рубана“ минимальный уровень суммарного ущерба ( $Y_{500}$ , рис. 4), при достигнутых технико-экономических показателях, обеспечивается при максимальном значении коэффициента извлечения, соответствующего использованию применяемой системы разработки длинными столбами с сохранением ее основных параметров.

В то же время в данных условиях возможно возникновение ситуации (например, вследствие снижения отпускной цены на уголь), при которой минимизация суммарного ущерба ( $Y_{200}$ , рис.4) будет достигаться при снижении коэффициента извлечения путем изменения параметров используемой системы разработки или применения камерно-столбовой системы разработки.

**Выводы и перспективы развития направления.** В результате выполненных исследований состояния подработанного массива горных пород и земной поверхности при различных вариантах развития горных работ в условиях шахты „Им. А.Д. Рубана“ установлено:

1. Интенсивность и характер процесса сдвижения подработанной толщи определяется наличием в ней прочных мощных слоев песчаников, способных к формированию устойчивых „мостов“, препятствующих распространению деформаций и разрушений от выработанных пространств разрабатываемых пластов до поверхности. В таком случае оседания земной поверхности будут существенно ниже, чем рассчитанные в соответствии с „Правилами охраны...“ [1].

2. По мере развития горных работ и возрастания площади подработанного массива возможно динамическое разрушение „породы-моста“ с формированием провалов на поверхности даже при расположении выработанных пространств на глубинах, существенно превышающих 20 вынимаемых мощностей пласта.

3. Формирование разрывов поверхности можно исключить при изменении последовательности отработки выемочных столбов под мощными слоями песчаников или при переходе на системы разработки короткими забоями.

4. Выполненная укрупненная оценка ущерба от дополнительных потерь подготовленных запасов при переходе на камерно-столбовую систему разработки с целью исключения негативного влияния подработки на состояние земной поверхности в условиях шахты „Им. А.Д. Рубана“ показала, что ущерб от дополнительных потерь запасов многократно превышает затраты на работы по рекультивации земель в зонах провалов, возникающих при использовании систем разработки шпанными столбами.

5. В качестве критерия выбора рациональных параметров технологических схем отработки сближенных угольных пластов в условиях вредного влияния горных работ на земную поверхность предложен минимальный ущерб, включающий затраты на рекультивацию, восстановление подработанных объектов, а также стоимость потерь запасов полезного ископаемого в целых.

6. Разработанный подход был использован при планировании развития горных работ на шахте „Им. А.Д. Рубана“, что позволило, при сохранении высоких нагрузок на очистные забои и коэффициента извлечения угля более чем на 50%, уменьшить затраты на рекультивацию подработанных земель сельскохозяйственного значения.

7. Перспективы развития направления связаны с дальнейшим изучением воздействия интенсивной обработки пластов длинными забоями на подрабатываемый массив с последующей корректировкой действующих нормативных документов.

### Список литературы / References

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях – СПб.: ВНИМИ, 1998. – 291 с.

*Pravila okhrany sooruzheniy i prirodnykh obyektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh gornykh razrabotok na ugolnykh shakhtakh* (1998), [Rules of Constructions and Natural Objects Protection from Harmful Effect of Underground Coal Mining], VNIIMI, Saint-Petersburg, Russia.

2. Мустафин М.Г. Механизм и энергия разрушения прочного слоя в почве подготовительной выработки / М.Г. Мустафин, И.М. Петухов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 10. – С. 36–41.

Mustafin, M.G. and Petukhov, I.M. (2002), “Mechanism and energy of the hard layer destruction in the roadway floor”, *Mining Informational-Analytical Bulletin*, no.10, pp. 36–41.

3. Syd S. Peng (2008), *Coal Mine Ground Control*, West Virginia University, USA.

**Мета.** Підвищення ефективності відробки світ пологих вугільних пластів в умовах шкідливої дії гірничих робіт на земну поверхню.

**Методика.** Використаний комплексний метод проведення досліджень, що містить аналіз і узагальнення опублікованих у гірничотехнічній літературі даних з проблеми зниження впливу підземних гірничих робіт на земну поверхню при інтенсивній відробці світ пластів; натурні спостереження за процесами осідання земної поверхні в зонах підробки; натурні дослідження геологічної будови покриваючої товщі методом аудіомагнітотелуричного зондування; експериментально-аналітичні дослідження з використанням методу скінчених елементів.

**Результати.** Розкрито механізм формування провалів земної поверхні при роботі на глибинах, що перевищують майже в 100 разів виїману потужність відробленого пласта. Розроблені рекомендації із забезпечення економічної ефективності відробки запасів в умовах шкідливої дії підземних гірничих робіт на земну поверхню.

**Наукова новизна.** Встановлені закономірності формування тріщин і розривів на земній поверхні при відробці пластів на значній глибині та наявності в покривлі потужних міцних шарів пісковика. Встановлена залежність між збитком від втрат вугілля та витрат на рекультивацию поверхні від різних параметрів систем розробки пластів.

**Практична значимість.** Встановлено, що наявність потужних міцних шарів пісковика в покриваючій товщі є основним чинником, який визначає характер деформацій поверхні при глибинах розробки, що перевищують 20-кратну потужність пласта при використанні системи розробки довгими стовпами із залишенням між виїмковими ділянками витягнутих стрічкових ціликів. Визначені технологічні умови зімкнення сформованих тріщин і провалів на поверхні за послідовної підробки пологих вугільних пластів у світі на шахтах ВАТ „СУЕК-Кузбас“. Запропонований критерій вибору параметрів технологічних схем відробки пластів в умовах шкідливої дії підробки на земну поверхню.

**Ключові слова:** підземна розробка, вугільний пласт, підробка земної поверхні, зрушення гірських порід, комп'ютерне моделювання

**Purpose.** Determination of parameters of the effective close multiple-seam mining technologies in the conditions of a negative effect of mining operations on a daily surface.

**Methodology.** The complex method, which includes analysis and summary of the published results of undermined by intensive multi-seam mining surface subsidence researches is used; field studies of undermined surface subsidence processes; field studies of undermined massive geological structure by audio-magneto-telluric sounding method; experimental-analytical researches by finite element method.

**Findings.** The mechanism of the daily surface failures formation during coal seam mining at depths, almost by 100 times exceeding the mining seam thickness is shown. The recommendations to provide the economic effectiveness of coal mining in conditions of negative effect of underground mining operations on a daily surface are given.

**Originality.** The conditions of closing of the daily surface cracks and failures caused by flat seam longwall mining are determined. Dependence between damage caused by the coal reserves losses, costs of surface reclamation and various parameters of mining system for conditions of the VAT “SUEK-Kuzbass” coal mines is determined.

**Practical value.** It is established that existence of the thick and strong sandstone layers in covering rock mass is the main factor that determines the daily surface deformations character when the depths of mining exceeds the 20 thickness of seam, mined with using longwall system with leaving between longwall panels no extractable chain pillars. Technological conditions of the surface cracks and failures closing, which were caused by consecutive flat coal seams mining in VAT “SUEK-Kuzbass” coal mines, are determined. The criteria for the coal mining technological schemes parameters choice in the conditions of a negative effect of the mining operations on a daily surface are offered. Methodical recommendations for the choice of coal mining technological schemes parameters in the conditions of a negative effect of underground mining operations on a daily surface are developed.

**Keywords:** coal seam, intensive mining, daily surface undermining, subsidence, computer modeling

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук С.Ф. Власовим. Дата надходження рукопису 21.02.14.