

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-6-44-50

УДК 622.016.62.001.24:519.876

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ ДЛЯ ЦИФРОВОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРНОГО МАССИВА****ANALYSIS OF THE IMPACT OF MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS ON
THE PERFORMANCE OF THE PRODUCTION FACE FOR DIGITAL MODELING
OF THE ROCK STRATA****Калинин Степан Илларионович,¹**

доктор техн. наук, e-mail: niutk@yandex.ru

Stepan I. Kalinin,¹

Dr.Sc. in Engineering

Роут Геннадий Николаевич,¹

кандидат техн. наук, доцент, e-mail: rgn23.12.47@gmail.com

Gennady N. Route,¹

C.Sc. in Engineering, Associate Professor

Игнатов Юрий Михайлович,¹

кандидат техн. наук, доцент, e-mail:mnoc@mail.ru

Yuri M. Ignatov¹

C.Sc. in Engineering, Associate Professor

Гагарин Андрей Анатольевич,²

главный маркшейдер, e-mail:gagarinaa@suek.ru

Andrei A. Gagarin,²

chief surveyor, e-mail gagarinaa@suek.ru

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation

²АО «СУЭК Кузбасс» Кемеровская область, г. Ленинск - Кузнецкий, ул. Васильева, д.13

²JSC "SUEK Kuzbass" Kemerovo region, Leninsk-Kuznetsky, ul. Vasiliev, 13.

Аннотация:

Приведены результаты исследований влияния горно-геологических условий на производительность очистных забоев в двух выемочных столбах: лаве 50-03 шахты им. В.Д. Ялевского и лаве 66-09 шахты «Талдинская-Западная 1». Выемочные столбы выбранных лав отнесены по критерию производительности очистного забоя к разным классам технологичности запасов и построенные по ним цифровые модели массива горных пород при сравнительной оценке позволили выявить факторы, осложняющие работу механизированных комплексов. Результаты наблюдений за выполнением технологических операций в выбранных лавах показали, что главным фактором, срывающим плановую работу в лаве 66-09, явился показатель склонности пород непосредственной кровли к вывалам. В статье приведены результаты непосредственных замеров местоположения и параметров куполов, выявлены причины, механизмы и закономерности их образования с целью последующего использования этих знаний для прогнозирования подобных явлений и разработки способов защиты от них.

В построенных цифровых моделях массива горных пород в составе показателей горно-геологических условий двух выемочных столбов содержатся количественные параметры для определения типов и классов боковых пород угольных пластов, используются оценки устойчивости пород кровли и учитываются коэффициенты литотипности и склонности пород кровли к вывалам.

Созданные цифровые модели массива горных пород анализировались и редактировались в среде геоинформационных систем и дополнили банк эталонных моделей, планируемый к использованию для

дальнейших исследований по совершенствованию компьютерных методов прогноза горно-геологических условий.

Ключевые слова: цифровое моделирование, технологичность запасов, склонность пород к вывалам.

Abstract:

The results of studies of the influence of mining and geological conditions on the performance of production faces in two extraction panels: longwall 50-03 mine. V. D. Yalovsky and longwall 66-09 mine "Taldinskaya-Zapadnaya 1". The extraction panels selected by the longwalls were assigned to different classes of technological reserves according to the criterion of cleaning face productivity and the digital models of the rock mass built on them, during the comparative assessment, allowed to identify the factors complicating the work of mechanized complexes. The results of observations of the performance of technological operations in the selected longwalls showed that the main factor disrupting the planned work in longwall 66-09, was the indicator of the propensity of the rocks of the immediate roof to collapse. The article presents the results of direct measurements of the location and parameters of the domes, identified the causes, mechanisms and patterns of their formation in order to further use this knowledge to predict such phenomena and develop ways to protect against them.

In the built digital models of the rock mass in the mining and geological conditions of the two mining pillars contain quantitative parameters to define the types and classes of lateral rocks of the coal seams, estimates of the stability of the roof rocks and coefficients of lithotypes and inclination of the roof rocks to fall are used.

The created digital models of the rock mass were analyzed and edited in the environment of geoinformation systems and added to the Bank of reference models, which are planned to be used for further research to improve computer methods of forecasting mining and geological conditions.

Key words: digital modeling, manufacturability of reserves, rocks prone to falls.

В инструкции по составлению технологической документации указывается, что она разрабатывается на основании прогнозных данных о горно-геологических условиях и внезапное появление новых свойств массива горных пород приводит к осложнениям в работе машин и механизмов. Для совершенствования методов оценки, прогноза и хранения информации о строении и свойствах массива горных пород необходимо вести работы по научному сопровождению проводимых горных работ [1] с внедрением методов компьютерного моделирования месторождения. К настоящему времени на всех шахтах Кузнецкого угольного бассейна с применением компьютерных технологий выполнен переход к цифровым моделям объектов и создана цифровая горная графическая документация. Последующие необходимые действия для компьютерного моделирования месторождения – это создание базы данных с цифровым описанием геополей и геоанализ с прогнозированием и размещением результатов на цифровых маркшейдерских планах.

При обобщении исходных геологических материалов производится комплексная оценка горно-геологических условий и принимаются проектные решения планирования горных работ по выемочному столбу. Существующие документы позволяют это сделать с использованием количественных оценок по каждому отдельному показателю и с последующей классификацией [2].

Для оценки горно-геологических условий с применением компьютерных технологий целесообразно выполнять классификацию сначала по комплексному показателю, а затем уточнять

ситуацию на отдельных участках угольных пластов по каждому показателю. Деление площади угольного пласта на отдельные участки происходит при наличии объектно-ориентированного подхода к классификации объектов. Способом суммирования знаний является разработка банка моделей эталонных объектов (выемочных столбов), описанных множеством горно-геологических показателей. Для выбранных выемочных столбов (эталонных) должны быть установлены прочностные, упругие и другие механические свойства вмещающих пород, оценено наличие тектонических напряжений, определены другие показатели горно-геологических условий и известны результаты очистных работ в лавах [3].

Использование банка моделей позволяет производить классификацию новых объектов и определяться с выводами о методах дальнейшего изучения горно-геологических условий. Иерархический метод классификации нацелен на последовательное объединение исходных объектов в заранее заданное количество классов. На первом этапе целесообразно создать классификацию делением всех объектов на две части, а затем при накоплении данных продолжить дальнейшее разделение на классы. Создаем обучающую выборку, состоящую из двух классов выемочных столбов с разной степенью эффективности работы очистных забоев и изученности геологической ситуации. При проведении классификации важно использовать заранее заданную информацию о классах, которые необходимо сформировать. Такая информация регламентируется при создании обучающей выборки, т. е. множества объектов, для

каждого из которых известна его принадлежность к одному из классов. Объектом классификации при цифровом описании геополей являются ячейки регулярной сетки (С1- отдельный блок блочной модели), наложенные на исследуемую площадь угольного пласта. Обозначим все множество С1, наложенных на выемочный столб, символом

$$O = \{o_1, \dots, o_i\}, \quad (1)$$

где o_i – i -й С1; N – количество С1.

Целью классификаций является получение некоторого заранее заданного количества объектов С1 разных классов. В пределах каждого класса С1 должны быть максимально «похожи» друг на друга, однородны, а С1 из разных классов – максимально «отличаться». Технология создания регулярной сетки для угольных месторождений описана в работе [4].

Результаты наблюдений за выполнением технологических операций в лаве 50-03 [3] позволили отнести ее к классу №1 (с высокотехнологичными запасами), а лаву 66-09 – к классу №2 (с низкотехнологичными запасами) и показали возможность создать обучающую выборку для классификации горно-геологических условий из двух классов с использованием комплексного критерия. За комплексный критерий для оценки влияния изученности горно-геологических факторов принят показатель – производительность очистного забоя.

В класс №1 технологичности запасов включаем выемочные столбы с суточной производительностью очистного забоя более 20 тыс. тонн при условии, что геологические условия не осложняли ведение очистных работ.

В класс №2 включаем выемочные столбы с суточной производительностью очистного забоя 20 тыс. тонн и менее. В работе таких лав есть осложнения в работе из-за геологических условий.

Создание обучающей выборки для класса №1 технологичности запасов.

Результаты наблюдений за эффективной работой многих лав показали необходимость в обучающую выборку такого класса принять лаву 50-03 шахты им. В.Д. Ялевского. В методическом руководстве [5] указывается, что для оценки технологичности запасов необходимо установить горно-геологические и горнотехнические условия залегания угольных пластов, определить типы и классы боковых пород угольных пластов, установить осложняющие работу лавы факторы и их влияние на производительность лавы.

Для выемочного столба 50-03 построена цифровая модель массива горных пород, в которую включены следующие условия залегания угольного пласта 50: средняя мощность пласта 3,85 м, средний угол падения пласта не превышает 11°. Непосредственная кровля сложена алевролитом

мелко- и среднезернистым мощностью 0,7-9,8м с сопротивлением сжатию 30-40 МПа. Основная кровля представлена мелко- и среднезернистым песчаником мощностью 3-5 м и алевролитом мелко- и среднезернистым мощностью 15-21м. Сопротивление песчаника сжатию составляет 60-75 МПа. Сопротивление алевролита сжатию – 45-60 МПа. Непосредственная почва пласта представлена алевролитом мелкозернистым мощностью 5,7 м с сопротивлением сжатию 35 МПа.

Устойчивость пород определялась в пределах активной кровли. Мощность активной кровли составляет 22,8 м. Активная кровля складывается из слоев непосредственной и основной кровли. Породы непосредственной кровли определяют устойчивость активной кровли, породы основной кровли определяют нагрузочные свойства активной кровли. Изменение угла падения пласта (11-13°) свидетельствует о наличии естественной пликвативной нарушенности и развитой трещиноватости пород непосредственной кровли. Согласно классификации [2] непосредственная кровля пласта по показателю сопротивление сжатию отнесена к типу средней устойчивости (2) и для отдельных участков – к неустойчивой (3).

Нагрузочные свойства пород активной кровли определяют тип и силовые параметры механизированной крепи. Активная кровля пласта 50 по нагрузочным свойствам будет проявляться в основном как тяжелая группа кровли по тяжести (3А). Оценка пород активной кровли по обрушаемости производилась по шагам обрушения непосредственной и основной кровли, высоте обрушения пород, характеру обрушения. Расчет шагов обрушения производился по методу профессора Ардашева К.А. [6]. Обрушение пород будет происходить со следующими шагами: при первичных осадках – 39-65 м, при вторичных осадках с шагом 6,6-10,5 м – в зависимости от состава пород. На участках выемочного столба, где кровля по нагрузочным свойствам относится к тяжелой, следует ожидать проявления горного давления в динамической форме с резкими осадками пород.

Определение склонности пород к вывалам производится по формуле монографии [7]

$$тв = a \cdot e^{-\frac{B \cdot \sigma_{сж}}{100}}, \quad (2)$$

где a характеризует породы при низкой прочности нижних слоев; B – коэффициент, учитывающий влияние сопротивления крепи, принимается равным 0,71; $\sigma_{сж}$ – сопротивление непосредственной кровли на сжатие принимается равным 350 кг/см²; e – основание натурального логарифма.

Породы склонны к вывалам при условии $тв \geq 10\%$. Расчет показывает, что для выемочного

столба 50-03, $\tau_v = 8,2\%$ породы непосредственной кровли не склонны к вывалам.

Для отработки пласта с учетом геологических условий принято оборудование очистного забоя в составе механизированной крепи DBT. Для выемки угля принят выемочный комбайн SL-500 (фирмы Eickhoff), лавный конвейер SHPF-6/1342, перегружатель STPF-6/1342. Технической службой шахты разработан паспорт выемочного участка и ТЭО, в котором среднесуточная добыча угля проектируется в объеме 35 тыс. тонн. При работе комплекса условия были однородными, проблем не было, план выполнялся все месяцы работы лавы [3].

Создание обучающей выборки для класса №2 технологичности запасов

Результаты наблюдений за работой лав показали, что в обучающую выборку такого класса необходимо принять лаву 66-09 шахты «Талдинская-Западная 1». Была построена цифровая модель массива горных пород с горно-геологическими и горнотехническими условиями залегания угольных пластов, определены типы и классы боковых пород угольных пластов, установлены осложняющие работу лавы факторы.

По данным технической службы шахты, непосредственная кровля столба 66-09 сложена из пород с сопротивлением сжатию от 7 МПа до 74,8 МПа, а мощность кровли меняется от 2 м до 17 м. Оценка устойчивости пород непосредственной кровли производится по утвержденному методу [2] и делится по площади на участки от средней устойчивости (2 класс) до неустойчивой (3 класс).

Определение на плане границ зон, в которых прогнозируются аномалии по устойчивости кровли, произведено с учетом коэффициента литотипности и коэффициента склонности пород кровли к вывалам. Литологический код горной породы определен по методике [8] и является показателем, учитывающим влияние естественной трещиноватости пород кровли, слоистости пород и ползучести пород. Технической службой шахты для пород кровли столба 66-09 среднее значение

коэффициента литотипности установлено равным 0,40, и тогда коэффициент трещиноватости равен 0,68, коэффициент слоистости – 0,77, коэффициент ползучести – 0,7. Оценка влияния на устойчивость пород непосредственной кровли в зоне аномалии пликативных нарушений произведена с использованием коэффициента структурного ослабления углепородного массива. Для радиуса перегиба пород менее 300 м принимается коэффициент структурного ослабления, равный 0,6 по методу из [9]. С учетом коэффициента структурного ослабления пород в замковой части сопротивление пород непосредственной кровли пласта 66 на сжатие составит (4,2-44,9 МПа). Видно, что в аномальной зоне непосредственная кровля пласта переходит в класс неустойчивых пород, и резко меняется геомеханическая ситуация [10].

Активная кровля пласта слагается из пород ложной кровли, непосредственной кровли и основной кровли. Активная кровля пласта 66 по нагрузочным свойствам оценивается как «тяжелая» [6]. Нагрузочные свойства кровли определяют требуемый тип крепи механизированного комплекса, силовые и геометрические параметры механизированной крепи. Оценка нагрузочных свойств основной кровли производится с использованием методов из [2,6].

При отработке угольных пластов оценка склонности пород кровли к вывалам производится по рекомендациям, изложенным в [7]. Если $\tau_v \geq 10\%$, породы непосредственной кровли склонны к вывалам, а в нашем случае $\tau_v = 95\%$. Видно, что породы непосредственной кровли склонны к вывалам.

Таким образом, выемочные столбы выбранных лав отнесены к разным классам технологичности запасов и построенные по ним цифровые модели массива горных пород [11], могут быть реализованы в программах геоинформационных систем (Mineframe, MicroMine, Surpac, MapInfo) [12,13].



Рис.1. План горных выработок по пласту 66 шахты «Талдинская-Западная 1»
Fig.1. Mining Plan for in seam 66 of mine «Taldinskaya-Zapadnaya 1»

Сравнение результатов моделирования с данными горных работ в лаве 66-09.

Отработка пласта производится системой ДСО, применяется механизированный комплекс ДВТ с крепью поддерживающе-оградительного типа. По паспорту на отработку лавы 66-09 предусматривается добыча из лавы в месяц в объеме 540 тыс. тонн. Фактические показатели отработки пласта в лаве 66-09 являются неудовлетворительными, они значительно ниже

проектных показателей (см. рис.1). Вывалы и обрушения горных пород приводили к простоям лавы и резкому падению уровня добычи угля из забоев с февраля и по сентябрь 2019 года.

При работе лавы были серьезные проблемы с устойчивостью кровли, происходили вывалы и обрушения горных пород. Первоначально развитие куполов происходило на участке лавы, примыкающем к конвейерному штреку, а затем появилось в зонах отработки пласта как по длине

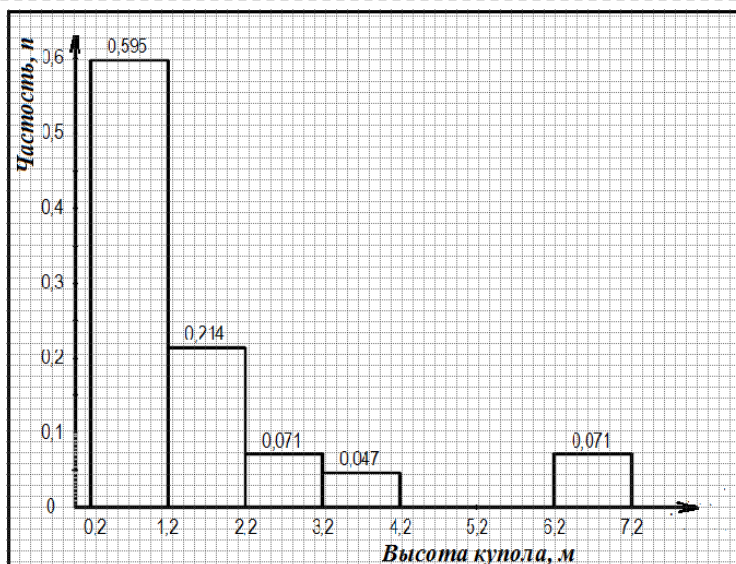


Рис.2. Гистограмма распределения высоты куполов в лаве 66-09
Fig.2. Histogram of dome height distribution in longwall 66-09

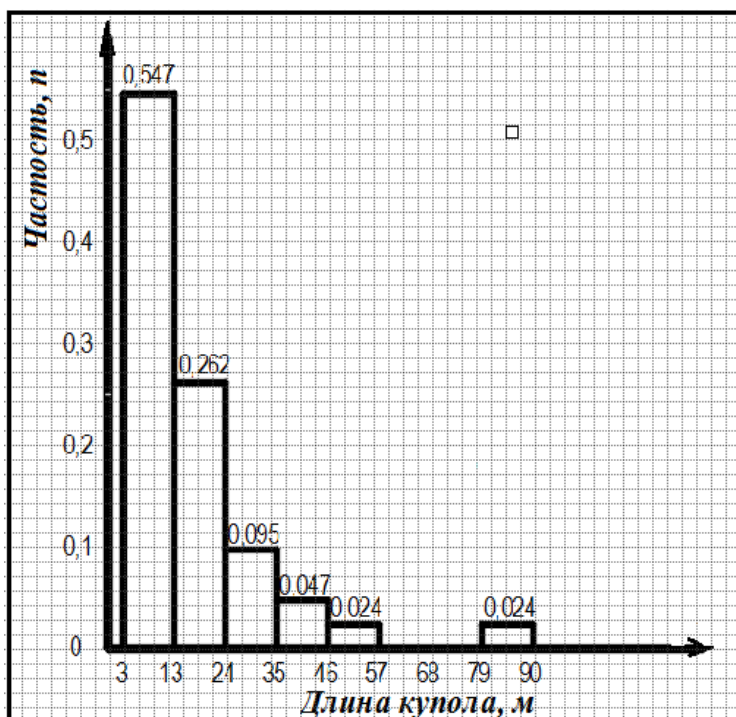


Рис. 3. Гистограмма распределения длины куполов в лаве 66-09
Fig. 3. Histogram of dome length distribution in longwall 66-09

лавы, так и по длине выемочного столба. Основной причиной происходящих вывалов пород является снижение прочностных свойств вмещающих пород. Образование куполов происходило при выемке угля и креплении очистного забоя, и их высота изменялась в очень широком диапазоне – от 0,02 м до 7 м. Длина куполов по длине лавы наблюдалась в пределах от 3 м до 90 м.

На рис. 2 и рис. 3 представлены результаты зафиксированных куполов в лаве за период наблюдений с 01.09.2018г. по 07.11.2018г. Результаты наблюдений обрабатывались с использованием методов теории вероятностей и математической статистики [14].

Снижение устойчивости пород пласта резко ухудшило процесс взаимодействия крепи механизированного комплекса с вмещающими породами. Геомеханическая ситуация в лаве характеризуется значительными вывалами пород, образованием длинных и высоких куполов в лаве, отжимом угля от забоя. Основные простои лавы связаны с устранением последствий обрушения пород и взаимодействия крепи с вмещающими породами, приведением лавы в рабочее состояние.

Таким образом, склонность пород кровли пласта б6 к вывалам послужила главной причиной снижения производительности очистного забоя.

Вывод

В результате выполненных работ получены

следующие результаты:

1. Созданные обучающие выборки класса №1 и класса №2 технологичности запасов пополнили банк эталонных моделей, планируемый к использованию для оценки новых выемочных столбов методами распознавания образов, и это способствует совершенствованию компьютерных методов прогноза горно-геологических условий.

2. Опробована методика цифрового моделирования массива горных пород, которая содержит количественные параметры для определения типов и классов боковых пород угольных пластов, использует оценку устойчивости пород кровли и учитывает коэффициенты литотипности и склонности пород кровли к вывалам.

3. Применен метод прогнозирования горно-геологических условий, который позволил произвести вычисление интегральных показателей, создать прогнозный план горно-геологических условий и произвести поиск опасных зон.

4. Произведено сравнение результатов прогноза с материалами, полученными при ведении горных работ. Проверка показала, что при попадании горных работ в прогнозируемые аномальные зоны происходили вывалы и обрушения горных пород, которые приводили к простоям лавы и резкому падению уровня добычи угля из забоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин С.И. Геомеханическое обеспечение эффективной выемки мощных пологих пластов с труднообрушаемой кровлей механизированными комплексами / С.И. Калинин, В. М. Колмагоров. - Кемерово: Кузбассвузиздат, 2002. - 113 с.
2. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. — СПб., 1993. — 147 с.
3. Калинин С.И. Обоснование суточной добычи угля из лавы длиной 400 метров в условиях шахты им. В.Д. Ялевского // С.И. Калинин, Ю.М. Игнатов, Г.Н. Роут, А.М. Черданцев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2018. — № 5. — С. 27-34.
4. Игнатов Ю.М. Разработка методов геоанализа и прогноза горно-геологических условий для угольных шахт с использованием геоинформационных систем // Ю.М. Игнатов, А.А. Гагарин, Г.Н. Роут, // Вестник научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. — 2018.— № 4 — С. 97-106.
5. Методическое руководство по оценке технологичности запасов шахтных полей и безопасной их отработке на пологих пластах – СПб., ВНИМИ, 2002. – 54 с.
6. Ардашев К.А., Крылов В.Ф., Куксов Н.И., Ткачев И.Г., Шалыгин А.С., Шик. В.М. Совершенствование управления горным давлением при разработке наклонных и крутых пластов. Москва: Недра, 1967. – 289с.
7. Колмагоров В.М., Рыженков М.И., Климов В.И., Калинин С.И. Разработка и внедрение полимерных композиций и технологий, повышающих эффективность и безопасность отработки угольных пластов с неустойчивыми вмещающими породами на шахтах Кузбасса. (Под редакцией академика АГН П.В. Егорова). Кемерово, Кузбассуглетехнология, Кем.кн. изд-во, 1999.-163с.
8. Широков А.П., Писляков Б.Г. Расчет и выбор крепи сопряжений горных выработок. М.: Недра, 1988. - 214с.
9. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. Ленинград, ВНИМИ, 1986. - 222с.

10. Batugin A., Myaskov A., Ignatov Y., Khotchenkov E. and Krasnoshtanov D. 2018 Re-using of data on rockbursts for up-to-date research of the geodynamic safety problem. IOP Conf. Series:Earth and Environmental Science (vol 1) 221. doi:10.1088/17551315/221/1/012089
11. Игнатов Ю.М. Применение компьютерного моделирования месторождения для снижения травматизма на шахтах // Ю.М. Игнатов, А.А. Гагарин, Г.Н. Роут, М.М. Латагуз // Вестник научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. — 2018.— № 1 — С. 72-79.
12. Лукичев С.В., Наговицын О.В., Морозова А.В. Моделирование рудных и пластовых месторождений в системе Mineframe// Горный информационно-аналитический бюллетень, 2004. – №5. – М.: МГТУ. – С. 296-301.
13. Mohammad Ali, Youhei Kawamura, MostafaSharifzadeh, Emmanuel Knox Chanda, Markus Wagner, Hyongdoo Jang, and HirokazuOkawa. «Development of Underground Mine Monitoring and Communication System Integrated ZigBeeand GIS.» //International Journal of Mining Science and Technology25 (5) 2015. p. 811-818.
14. Венцель. Е.С. Теория вероятностей. М., «Наука», 1964, - 576с.

REFERENCES

1. Kalinin S.I. geomechanical support of effective excavation of powerful flat layers with hard-to-break roof by mechanized complexes / S.I. Kalinin, V.M. Kolmagorov. - Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2002. - 113 p.
2. Instructions for geological work on coal deposits of the Russian Federation. — SPb., 1993. - 147 p.
3. Kalinin S.I. Substantiation of daily coal mining from lava 400 meters long in the conditions of the mine. V.D. Yalovsky // S.I. Kalinin, Yu.M. Ignatov, G.N. Routh, A.M. Cherdantsev // Bulletin of the Kuzbass state technical University. - 2018. - No. 5. Pp. 27-34.
4. Ignatov Yu.M. Development of methods of geoanalysis and forecast of mining and geological conditions for coal mines with the use of geoinformation systems // Yu.M. Ignatov, A.A. Gagarin, G.N. Routh, // Vestnik nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti. - 2018.- No. 4-Pp. 97-106.
- 5 Methodological guidance on assessing the manufacturability of reserves of mine fields and their safe development on shallow formations-SPb., VNIMI, 2002. - 54 p.
6. Ardashev K.A., Krylov V.F., Kuksov N.I., Tkachev I.G., Shalygin A.S., Chic. V.M. Improvement of rock pressure control in the development of inclined and steep formations. Moscow: Nedra, 1967. - 289с.
7. Kolmagorov V.M., Ryzhenkov M.I., Klimov V.I., Kalinin S.I. Development and implementation of polymer compositions and technologies that increase the efficiency and safety of mining coal seams with unstable host rocks in the mines of Kuzbass. (Edited by academician AGN P. V. Egorov). Kemerovo, Kuzbasstechenergo Who.kN. ed., 1999.- 163s.
8. Shirokov A.P., Pisyakov B.G. Calculation and choice of supports of mine workings. Moscow: Nedra, 1988. - 214с.
9. Instructions on the rational location, protection and maintenance of mine workings in coal mines of the USSR. Leningrad, VNIMI, 1986. - 222с.
10. Batugin A., Myaskov A., Ignatov Y., Khotchenkov E. and Krasnoshtanov D. 2018 Re-using of data on rockbursts for up-to-date research of the geodynamic safety problem. IOP Conf. Series:Earth and Environmental Science (vol 1) 221. doi:10.1088/17551315/221/1/012089
11. Ignatov Yu.M. The use of computer modeling of the field to reduce injuries in mines / Yu. m. Ignatov, A.A. Gagarin, G.N. Routh, M.M. Lataguz // Bulletin of the scientific center of the Institute for industrial and environmental safety. - 2018.- No. 1-Pp. 72-79.
12. Lukichev S.V., Nagovitsyn O.V., Morozova A.V. Modeling of ore and reservoir deposits in the Mineframe system // Mining information and analytical Bulletin, 2004. - No. 5. – М.: Moscow state mining University. - Pp. 296-301.
13. Mohammad Ali, Youhei Kawamura, MostafaSharifzadeh, Emmanuel Knox Chanda, Markus Wagner, Hyongdoo Jang, and HirokazuOkawa. “Development of Underground Mine Monitoring and Communication System Integrated ZigBeeand GIS.” //International Journal of Mining Science and Technology25 (5) 2015. p. 811-818.
14. Wensel. E. C probability Theory. М., «Science», 1964, - 576с

Поступило в редакцию 12.11.2019

Received 12 November 2019