ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
GIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2019;3:51-62

УДК [622.831.22:001.891.55]:004942 DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-51-62

# МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ШАХТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В ОКРЕСТНОСТИ СОПРЯЖЕНИЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

**В.В. Басов**

Сибирский государственный индустриальный университет, Москва, Россия,
e-mail: vadimbasov@yahoo.com

***Аннотация:*** Представлена настройка математической модели по результатам шахтного эксперимента, проведенного на одной из шахт Кузбасса на момент отработки выемочного участка 1—1 (I этап), 1—2 (II этап) (экспериментальный участок находился в месте сопряжения горных выработок). Проведен комплекс работ в шахтных условиях с применением визуально-измерительного контроля состояния массива горных пород в окрестности сопряжений горных выработок и доразведки посредством извлечения керна и проведения видеоэндоскопической съемки на участке влияния опорного давления лавы 1—2. Выполнена оценка результатов смещений пород кровли на сопряжении горных выработок полученных по результатам визуально-измерительного контроля в шахтных условиях, численного моделирования НДС массива горных пород и расчетных параметров смещений по действующим инструкциям. Разработанная методика шахтного эксперимента с применением инструментально-визуального наблюдения деформации пород кровли и боков на сопряжении горных выработок при подвигании очистного забоя к экспериментальному участку апробирована в условиях одной из шахт Южного Кузбасса. С применением разработанной методики установлены эмпирические зависимости смещений пород кровли выработок от расстояния до очистного забоя. Отклонения вычисленных и измеренных смещений пород горных выработок коррелируют в пределах допустимой погрешности.

***Ключевые слова:*** смещение пород, сопряжение горных выработок, наблюдательная станция, опорное горное давление, пласт, численное моделирование, угольная шахта, шахтный эксперимент.

***Для цитирования:*** *Басов В. В.* Методика оценки соответствия результатов численного моделирования и шахтных измерений геомеханических параметров массива горных пород в окрестности сопряжений горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 3. – С. 51–62. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-51-62.

# Evaluation procedure of conformance between numerical modeling and in-situ measurement data on geomechanical parameters of rock mass near intersections in mines

**V.V. Basov**

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia, e-mail: vadimbasov@yahoo.com

© В.В. Басов. 2019.

The article specifies the relevance of the research into the geomechanical processes that take place in rock mass in the vicinity of intersections in mines with regard to spatial arrangement of production face by solving 3D problem of nonuniform continuum mechanics using the finite element method (FEM). For the adequate FEM calculation of geomechanical parameters, the mathematical modeling is set up based on in-situ experimental data. The in-situ experiment was carried out in a Kuzbass mine during longwalling in areas 1–1 (stage I) and 1–2 (stage II); the experimental site was situated at the intersection of drives. The in-situ experimentation package included: visual inspection and measurements near the intersection; additional exploration based on coring and endoscopic video filming in the influence zone of abutment pressure of longwall 1–2. Based on the experimental results, measurements of displacements in the roof rocks at the intersection, numerical modeling of stress state and calculated displacements based on the current guidelines were compared. The developed procedure for the in-situ experiment using visual and instrumentation control over deformation of roof and sidewalls at intersections of drives during advance of production face toward the experimentation site has been tested in a mine in the South Kuzbass. Using the developed procedure for numerical modeling of spatial distribution of geomechanical parameters in rock mass at intersections of underground excavations, the empirical relations between the roof rock displacements and the distance to the production face are obtained. The deviations between the measured and calculated displacements of rocks correlate with allowable error.

***Key words:*** displacement of rocks, intersections of drives, observation station, abutment pressure, seam, numerical modeling, coal mine, in-situ experiment.

***For citation:*** Basov V. V. Evaluation procedure of conformance between numerical modeling and in-situ measurement data on geomechanical parameters of rock mass near intersections in mines. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;3:51-62. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-51-62.

## Введение

В настоящее время при работе высокопроизводительных очистных забоев поддержание сопряжений горных выработок в зоне опорного горного давления является трудоемким процессом. Это связано с динамическим изменением параметров опорного горного давления, зависящих от многих факторов, в том числе от расстояния между сопряжением выработок и очистным забоем, а также длины консоли зависания пород активной кровли над выработанным пространством [1]. Поэтому исследования геомеханических процессов массива горных пород в окрестности сопряжений горных выработок с учетом пространственно-временного расположения очистного забоя являются актуальными. Существующие методы численного решения задач механики сплошной среды не в полной мере обеспечивают адекватное представление о геомеханических процессах в массиве горных пород, так как расчет параметров НДС массива горных пород в окрестности изучаемого объекта исследований происходит, как правило, при решении двумерной задачи [2, 3]. При двумерной постановке задачи не учитываются множество факторов: сложная геометрическая форма сопряжений и пересечений горных выработок, геологические нарушения и влияние пространственно-временного расположения очистного забоя [4—6].

В этой связи для получения наиболее полного и адекватного представления о геомеханическом состоянии массива горных пород в окрестности сопряжений горных выработок предлагается использовать метод конечных элементов при постановке и решении трехмерной задачи механики сплошной неоднородной среды. Для обоснованного расчета геомеханических параметров массива горных пород МКЭ необходимо провести

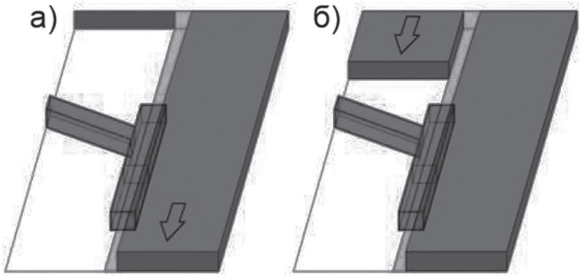


*Рис. 1. Этапы проведения шахтного эксперимента: после отработки выемочного участка 1—1 (I этап) (а); на момент отработки выемочного участка 1—2 (II этап) (б)*
*Fig. 1. Stages of the in-situ measurements: after mining longwall panel 1—1 (the first stage) (a); in the moment of time of mining longwall panel 1—2 (the second stage) (b)*

настройку математической модели по результатам инструментальных измерений в шахтных условиях.

### Цель работы

Оценка соответствия результатов численного моделирования и шахтного эксперимента для настройки математической модели.

### Задачи исследования

1. Разработать методику шахтного эксперимента с применением визуально-измерительного контроля деформации пород кровли и боков на сопряжении горных выработок при подвигании очистного забоя к экспериментальному участку.

2. Разработать программу и методику численного моделирования пространственного распределения геомеханических параметров массива горных пород в окрестности сопряжений подземных горных выработок.

3. Провести оценку геомеханических параметров массива горных пород в окрестности сопряжений очистных и подготовительных выработок с учетом влияния динамического опорного давления.

4. Осуществить настройку математической модели по результатам шахтного эксперимента для расчета МКЭ геомеханических параметров пространственного НДС массива горных пород в окрестности исследуемого участка сопряжения горных выработок с учетом влияния динамического опорного давления.

5. Оценить адекватность результатов численного моделирования и шахтных измерений геомеханических параметров массива горных пород в окрестности сопряжений горных выработок.

Шахтный эксперимент проведен на одной из шахт Кузбасса на момент отработки выемочного участка 1—1 (I этап), 1—2 (II этап) (рис. 1).

Горные работы по отработке пологого угольного пласта 1 мощностью 3,6 м проводились на глубине 385 м. В соответствии с горно-геологическим прогнозом на отработку выемочного участка 1—2 экспериментальный участок находился вблизи геологического нарушения «И» и в зоне повышенного горного давления от целиков пласта-спутника.

Экспериментальный участок находился в месте сопряжения конвейерного штрека 1—2 со сбойкой 1—5 и диагональной сбойкой 1—2—2 (далее штрек, сбойка, диагональная сбойка), подготовленного для следующего выемочного участка 1—2 (рис. 2).

Длина очистного забоя 1—1 составляла 200 м. Длина очистного забоя 1—2 варьировалась от 200 до 70 м. Штрек, сбойка между штреками и диагональная сбойка пройдены шириной 4,9 м, 4,6 м, 4,6 м соответственно по угольному пласту с анкерным креплением.

*Рис. 2. Выкопировка с плана горных выработок [8]*
*Fig. 2. Segment the plan mine workings [8]*

Шахтные исследования проведены в соответствии с разработанной методикой, которая включала в себя [5, 7, 8]:

- визуально-измерительный контроль состояния массива горных пород в окрестности сопряжений горных выработок;
- обследование состояния крепи на сопряжении горных выработок с выявлением ее деформаций;
- мониторинг смешений реперов на глубинных реперных станциях (ГРС);
- съемка поперечного сечения выработок на сопряжении при помощи дальномера;
- съемка выработки до и после деформирования с измерением высоты.

Инструментальные измерения деформации пород на сопряжении горных выработок проводились при помощи шахтного дальномера по предложенной схеме (рис. 3, *а*, б).

Мониторинг смещений пород в своде естественного равновесия исследуемого участка сопряжений проводился по реперам, установленным на реперной станции. Схема наблюдательных станций включает горную выработку, вертикальную скважину, закрепленные в скважине реперы, систему измерения смещений реперов (рис. 3, *в*).

Съемка выработки до и после деформирования с измерением высоты осуществлялась при помощи тахеометра

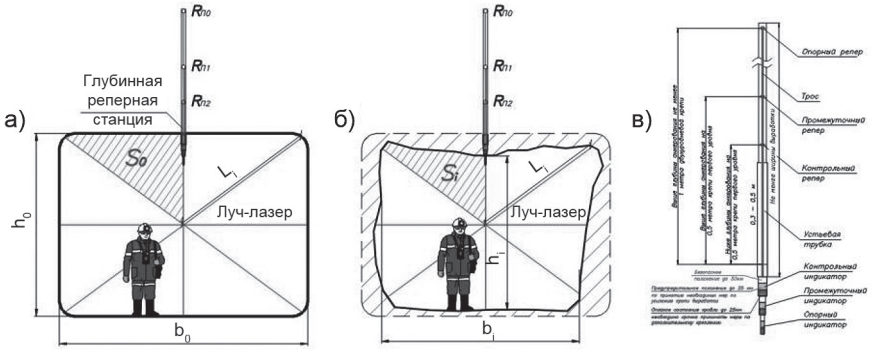


*Рис. 3. Схема инструментального измерения смещений пород на сопряжении выработок при помощи лазерного дальномера [8]: исходное сечение выработки (а); деформированное сечение выработки (б); конструкция ГРС (в)*

*Fig. 3. Scheme of instrumental measurement of rock displacement at the mine workings connections using a laser range finder [8]: initial mine working section (a); deform mine working section (b); scheme station (v)*

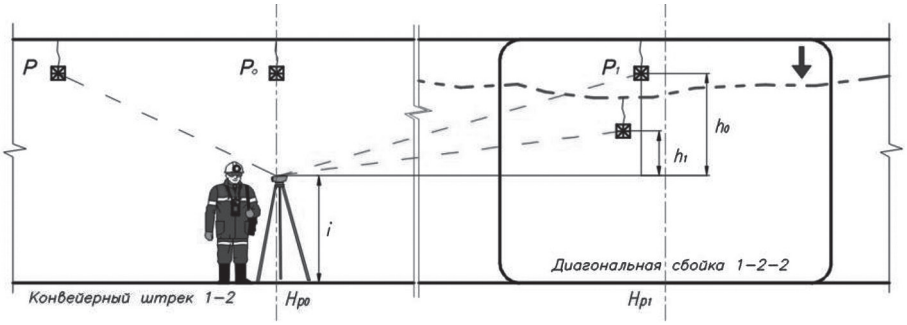


*Рис. 4. Схема инструментального измерения смещений пород на сопряжении выработок при помощи тахеометра*

*Fig. 4. The scheme of instrumental measurement of roof rock displacements in mine workings connections with the use of a total station*

(рис. 4). На первом этапе при отработке выемочного участка 1—1 проведены визуальные наблюдения состояния массива горных пород в окрестности исследуемого участка, а также обследование состояния крепи кровли и боков сопряжений горных выработок.

Установлено, что на расстоянии 100—150 м за очистным забоем наблюдалась деформация опорных элементов крепи на протяжении 40 м от исследуемого участка в сторону выработанного пространства выемочного участка 1—1. На участке примыкания штрека со сбойкой отмечено: интенсивное развитие трещин в кровле на сопряжении, отслоение пород кровли (куполение), отжим угля с последующим разрушением решетчатой затяжки со стороны выработанного пространства выемочного участка 1—1 (рис. 5, *а*).

Для приведения штрека 1—2 в эксплуатационное состояние был произведен выпуск горной массы с последующей зачисткой, установкой металлической крепи усиления типа КМПТ-27 с шагом 1 м и забучиванием пустот деревянным брусом (рис. 5, *б*). Диагональную сбойку усилили деревянными рудстойками в два ряда по бокам выработки под верхняк из СВП-22.

На втором этапе шахтного эксперимента визуальные наблюдения и визуально-измерительный контроль смеще-

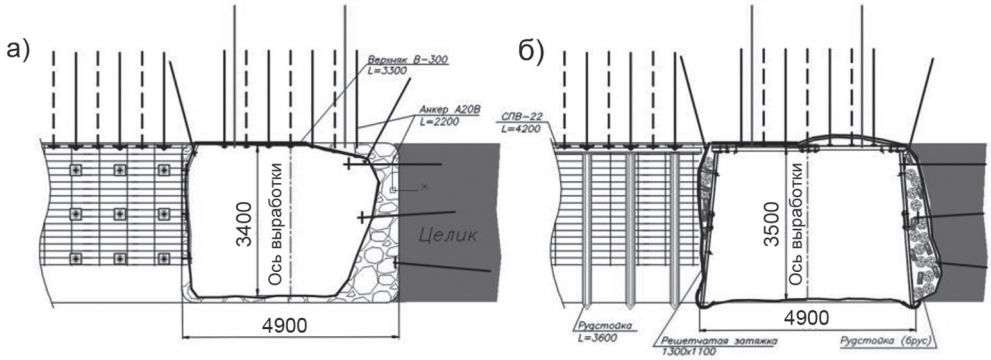


*Рис. 5. Конвейерный штрек 1—2 в зоне сопряжения между сбойками: после деформирования выработки (а); после усиления металлической крепью типа КМПТ-27 [8] (б)*

*Fig. 5. Conveyor mine working 1—2 in zone connections inter mine workings: after deformations mine working (a); after reinforcement a metal support type MSPT-27 [8] (b)*

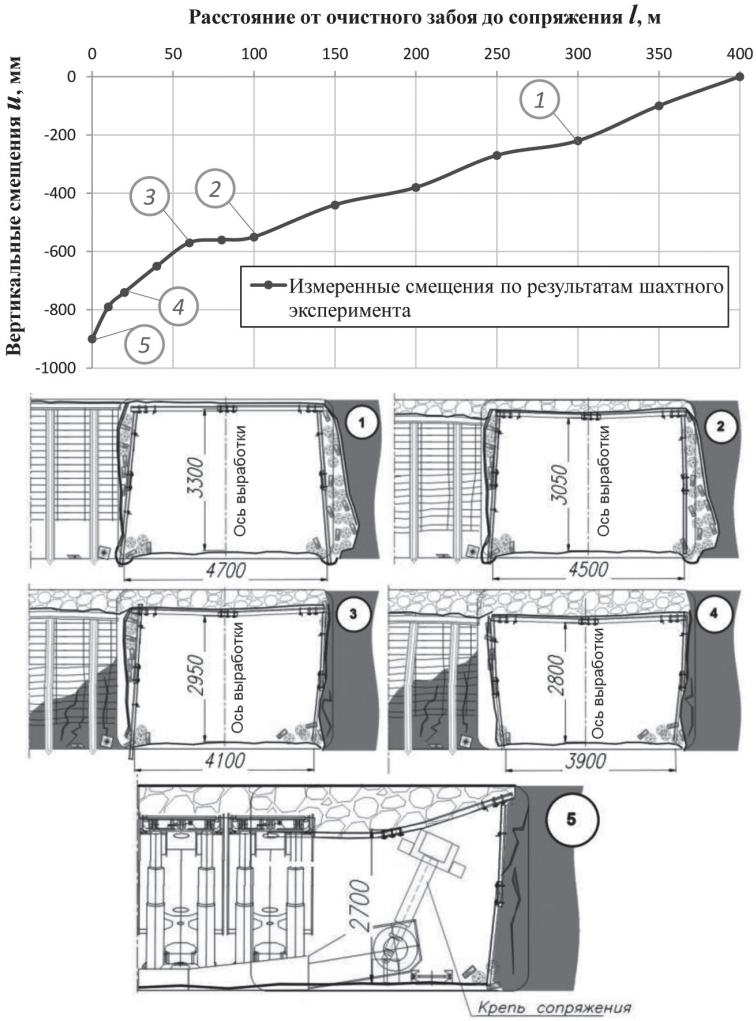


*Рис. 6. Зависимость распределения смещений пород кровли от расстояния до очистного забоя 1—2 [8]*

*Fig. 6. The dependence of the distribution of displacement of roof rocks from the distance to longwall face 1—2 [8]*

ний пород кровли на сопряжении штрека с диагональной сбойкой проводились при отработке выемочного участка 1—2. Проявление динамики опорного горного давления при работе очистного забоя по выемке угля пласта 1 наблюдалось на расстоянии 400 м от экспериментального участка с дальнейшим уменьшением расстояния до створа очистного забоя с исследуемым сопряжением горных выработок. Подвигание очистного забоя 1—2 до экспериментального участка составило порядка 3 месяцев.

По результатам обработки данных инструментальных измерений деформаций контура выработки на исследуемом участке, съемки выработки до и после деформирования с измерением высоты и анализа данных смещений пород кровли сопряжения по ГРС построен график зависимости распределения смещений пород кровли от расстояния до очистно-

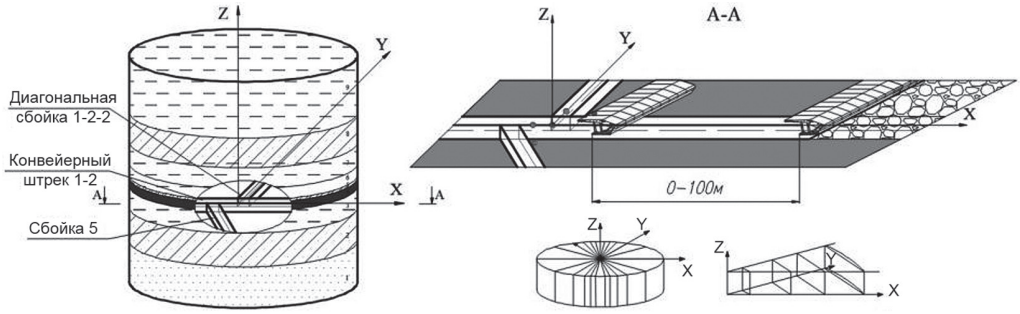


*Рис. 7. Расчетная схема объемной математической модели с дискретизацией модели на слои и конечные элементы [7]*

*Fig. 7. The scheme of a volume mathematical model with discretization of model into layers and finite elements [7]*

го забоя 1—2 (рис. 6). По результатам обследования крепи на сопряжении выработок было зафиксировано в 300 м от забоя лавы 1—2 выдавливание бруса с боков штрека в местах забучивания пустот (рис. 6, участок 1).

В кровле сопряжения шайбы анкерной крепи выдавлены. С приближением фронта очистных работ на расстоянии 100 м от очистного забоя в кровле штрека на сопряжении и на протяжении 20 м зафиксирован прогиб СВП в замковой части крепи КМПТ-27 (рис. 6, участок 2). На расстоянии 70 м от очистного забоя зафиксирована деформация верхняка из СВП-22 на сопряжении диагональной сбойки со штреком (рис. 6, участок 3). При расстоянии 50—30 м от забоя в зоне влияния опорного давления лавы 1—2 наблюдался прогиб стоек металлической крепи в местах сварочных швов, в 5 м от сопряжения штрека с диагональной сбойкой. Вследствие деформаций кровли, по бокам штрека началось выдавливание угольного целика со стороны отработанного выемочного столба 1—1 (рис. 6, участок 4). При подвигании очистного забоя в 10 м от исследуемого участка зафиксировано интенсивное опускание кровли штрека. На момент положения сопряжения в створе с очистным забоем отмечено критическое состояние крепи штрека (рис. 6, участок 5). В результате для восстановления проектного сечения штрека произведен выпуск породы в кровле на сопряжении. Для заполнения пустот куполов в кровле применялись полимерные смолы.

Для исследования геомеханических параметров пространственного НДС массива горных пород в окрестности исследуемого участка сопряжения горных выработок с учетом влияния динамического опорного давления применен метод численного моделирования с использованием пакета компьютерных программ, разработанного в Сибирском государственном индустриальном университете [9].

Настройка математической модели для численного моделирования пространственного НДС методом конечных элементов проводилась в следующей последовательности:

1. На основе горно-геологического прогноза отработки выемочного участка 1—1, 1—2 сформирован файл исходных данных, включающий в себя мощность породных слоев, физико-механические свойства массива горных пород.

2. Разработана объемная расчетная схема в соответствии с граничными условиями, включающая пространственно-временное расположение очистного забоя и сети горных выработок в пределах выемочного участка 1—2 (рис. 7).

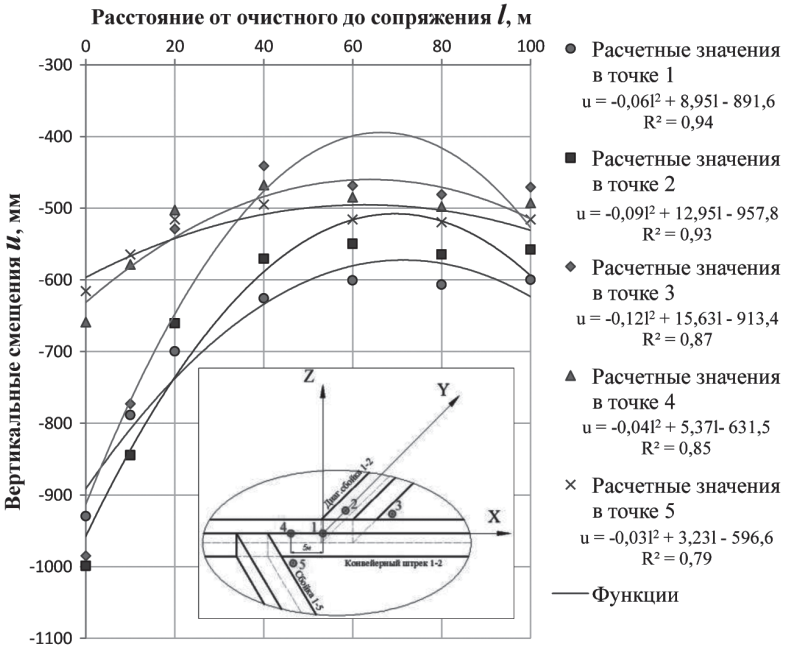


*Рис. 8. Графики зависимости вертикальных смещений пород в кровле на сопряжении горных выработок от расстояния до очистного забоя*

*Fig. 8. Graphics of vertical displacement of rocks in the roof at the mine working connection from the distance to longwall face*

3. Осуществлена проверка математической модели на правильность ввода исходных данных и работы вычислений геомеханических параметров НДС массива горных пород.

Программа исследований включала семь вариантов моделирования положения очистного забоя до сопряжения горных выработок. Для каждого варианта моделирования произведены замеры расчетных вертикальных смещений (*u*) МКЭ в характерных точках (1—5). По результатам замеров для каждой точки в соответствии с рекомендациями, приведенными в статье [9], построены зависимости вертикальных смещений от

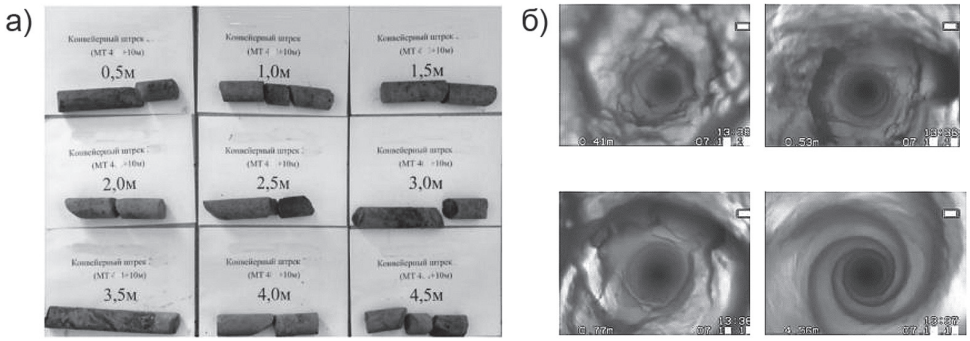


*Рис. 9. Доразведка экспериментального участка: керн горной породы кровли сопряжения горных выработок (а); видеоэндоскопическая съемка кровли экспериментального участка (б)*

*Fig. 9. Supplementary exploration of the study areas: removal of core roof rock mine working connections (a); videoimage endoscopy survey roof rock of the study areas (b)*

*Рис. 10. Схема формирования исходных данных для расчета смещений по нормативным документам*

*Fig. 10. The scheme of formation of the initial data for the calculation of offsets in regulatory documents*

расстояния очистного забоя до сопряжения горных выработок ($l$) (рис. 8).

Для определения зависимости смещений в разных точках от расстояния очистного забоя до сопряжения горных выработок проведена статистическая обработка данных и построены корреляционные зависимости вида $u = al^2 + bl + c$, где $u$ — смещения полученные МКЭ, мм; $l$ — расстояние от сопряжения до очистного забоя, м; $a$,$b$ — коэффициенты.

Для осуществления доразведки были проведены работы по извлечению керна на участке влияния опорного давления лавы 1—2 (рис. 9, *а*). По результатам видеоэндоскопической съемки выявлено, что на расстоянии 50 м от очистного забоя в кровле сопряжения выработок зафиксирована повышенная трещиноватость пород, что является причиной перераспределения напряжений и, как следствие, уменьшения физико-механических свойств пород кровли. Данные доразведки были внесены в виде поправочных коэффициентов в свойства горных пород в исходные данные комплекса компьютерных программ (рис. 9, *б*).

Проведен расчет смещений пород кровли на сопряжении горных выработок согласно методике [11, 12] и инструкции [13, 14] для следующих горно-гео-

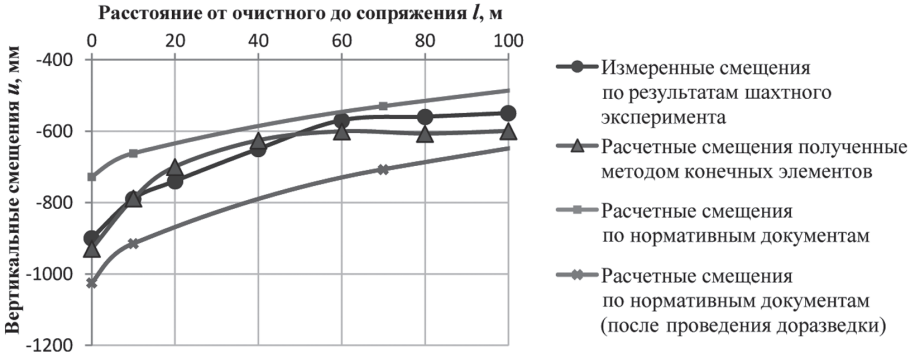


*Рис. 11. Графики зависимости вертикальных смещений пород в кровле на сопряжении горных выработок от расстояния до очистного забоя*

*Fig. 11. Graphics of vertical displacement of rocks in the roof at the mine working connection from the distance to longwall face*

логических и горнотехнических условий, приведенных на рис. 10.

На рис. 11 представлены графики зависимости вертикальных смещений пород в кровле на сопряжении горных выработок от расстояния до очистного забоя, полученные по результатам численного моделирования МКЭ, инструментальных измерений в шахтных условиях и расчетных значений по нормативным документам.

Смещения на экспериментальном участке, полученные с применением формул, приведенных в нормативных документах в зоне опорного давления в 10 м и в створе с очистным забоем, имеют расхождение порядка 20%. Однако смещения, полученные МКЭ, коррелируют с результатами, полученными в шахтных условиях. Расчетные значения смещений пород в кровле на сопряжении горных выработок, полученные согласно нормативным документам, совпадают с фактическими данными за пределами зоны влияния очистных работ, однако в зоне влияния опорного давления выявлено расхождение с данными инструментальных измерений в шахтных условиях. Это является причиной необоснованного выбора параметров крепи на сопряжении выработок в зоне влияния опорного горного давления, так как в большинстве случаев расчетные значения с применением формул, приведенных в нормативных документах, имеют расхождение с фактическими данными визуально-измерительного контроля.

**Выводы**

1. Разработана методика шахтного эксперимента с применением инструментально-визуального наблюдения деформации пород кровли и боков на сопряжении горных выработок при подвигании очистного забоя к экспериментальному участку, обеспечивающая текущий мониторинг состояния горных выработок и накопления информации для настройки математической модели.

2. Разработана программа и методика численного моделирования пространственного распределения геомеханических параметров массива горных пород в окрестности сопряжений подземных горных выработок, апробированные в условиях одной из шахт Южного Кузбасса.

3. Проведена оценка геомеханических параметров массива горных пород в окрестности сопряжений очистных и подготовительных выработок с учетом влияния динамического опорного давления, установлены эмпирические зависимости смещений пород кровли выработок от расстояния до очистного забоя.

4. Проведена настройка математической модели по результатам шахтного эксперимента для расчета МКЭ геомеханических параметров пространственного НДС массива горных пород в окрестности исследуемого участка сопряжения горных выработок с учетом влияния динамического опорного давления.

5. Проведена оценка адекватности результатов численного моделирования и шахтных измерений геомеханических параметров массива горных пород в окрестности сопряжений горных выработок. Отклонения вычисленных и измеренных смещений пород горных выработок не превышают ± 10%.

Результаты исследований могут быть использованы в качестве рекомендаций при разработке технической документации по ведению горных работ на угольных шахтах при аналогичных горно-геологических условиях шахтного поля.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Полевщиков Г.Я.* «Деформационно-волновые» процессы в массиве горных пород при движении очистного забоя в угольных пластах // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2013. — № 5 — С. 50—60.

2. *Akhmetkhanov R. S.* Probabilistic modeling in system engineering. IntechOpen, London, 2018, 278 p.

3. *Seryakov V. M., Rib S. V., Fryanov V. N.* Stress state of a coal pillar in fully mechanized longwall mining in dislocation zone // Journal of Mining Science. 2017. No 6. Pp. 1001—1008.

4. *Rib S. V.* The influence of rock interlayer location on the stress-strain state of the rock massif near the underground mine // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 206. Pp. 1—4 (012011) (accessed: http://library.sibsiu.ru).

5. *Басов В. В.*, *Риб С. В.*, *Фрянов В. Н.* Исследование характера деформирования эквивалентного материала для тестирования численной модели прогноза устойчивости сопряжений горных выработок // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — Вып. 2. — С. 134—144.

6. *Глушихин Ф. П.*, *Кузнецов Г. Н.*, *Шклярский М. Ф.*, *Павлов В. Н.*, *Злотников М. С.* Моделирование в геомеханике. — М.: Недра, 1991. — 240 с.

7. *Басов В. В.* Методика геомеханического обоснования параметров сопряжений горных выработок в зоне влияния динамического опорного давления / Инновационный конвент «Кузбасс: образование, наука, инновации», Кемерово, 15.12.2017 г.: материалы Инновационного конвента. Департамент молодежной политики и спорта Кемеровской области; ред. кол.: В. В. Кашталап и др. — Кемерово, 2017. — С. 25—30.

8. *Basov V. V.*, *Serg A. G.* Geomechanical substantiation of parameters of workings intersection taking into account the influence of dynamic bearing pressure // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 2018. Vol. 206. Pp. 1—7 (012010) DOI: 10.1088/1755-1315/206/1/012010 URL: http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/206/1/012010/pdf (дата обращения 21.12.2018).

9. *Корнев Е. С.*, *Павлова Л. Д.*, *Фрянов В. Н.* Комплекс проблемно-ориентировочных программ для моделирования геомеханических процессов в горном массиве при подземной разработке угольных пластов // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование». — 2012. — № 3. URL: http://ofernio.ru/portal/newspaper/ofernio/2012/3.doc (дата обращения 26.06.2012).

10. *Tsvetkov A. B.*, *Pavlova L. D.*, *Fryanov V. N.* Construction of the approximant of complete diagram for rock deformation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 45. Pp. 1—7 (012009). URL: http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/45/1/012009/pdf (дата обращения 23.12.2018).

11. *Методика* расчета и выбора параметров крепи на сопряжениях горных выработок при одинарной и парной подготовке выемочных столбов: утв. Департаментом угольной промышленности Минэнерго России 16.01.2003 г. — СПб.: Межотраслевой научный центр ВНИМИ, 2004. — 84 с.

12. *Указания* по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. Мин-во угольн. пром-сти СССР, ВНИМИ горн. геомех. и маркшейд. дела. Изд. 4-е, доп. — Л., 1986. — 222 с.

13. *Федеральные* нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах» (утв. Приказом Ростехнадзора № 610 от 17.12.2013 г.).

14. *Федеральные* нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах», утвержденные приказом Ростехнадзора от 19.11.2013 г. № 550 (Зарегистрированы в Минюсте России 31.12.2013 г. № 30961). ГИАБ

## REFERENCES

1. Polevshchikov G. Ya. Deformation-wave processes under production face advance in coal and rocks. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2013, no 5, pp. 50—60. [In Russ].

2. Akhmetkhanov R. S. *Probabilistic modeling in system engineering*. IntechOpen, London, 2018, 278 p.

3. Seryakov V. M., Rib S. V., Fryanov V. N. Stress state of a coal pillar in fully mechanized longwall mining in dislocation zone. *Journal of Mining Science*. 2017. No 6. Pp. 1001—1008.

4. Rib S. V. The influence of rock interlayer location on the stress-strain state of the rock massif near the underground mine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 206. Pp. 1—4 (012011) (accessed: http://library.sibsiu.ru).

5. Basov V. V., Rib S. V., Fryanov V. N. The strain character study of the equivalent material for testing numerical model that predict staying junction of mine workings. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2017, Issue 2, pp. 134—144.

6. Glushikhin F. P., Kuznetsov G. N., Shklyarskiy M. F., Pavlov V. N., Zlotnikov M. S. *Modelirovanie v geomekhanike* [Modeling in geomechanics], Moscow, Nedra, 1991, 240 p.

7. Basov V. V. Method of geomechanical substantiation of parameters of interfaces of mine workings in the zone of influence of dynamic reference pressure. *Innovatsionnyy konvent «Kuzbass: obrazovanie, nauka, innovatsii»*, Kemerovo, 15 December 2017: proceedings. Kemerovo, 2017, pp. 25—30. [In Russ].

8. Basov V. V., Serg A. G. Geomechanical substantiation of parameters of workings intersection taking into account the influence of dynamic bearing pressure. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* 2018. Vol. 206. Pp. 1—7 (012010) DOI :10.1088/1755-1315/206/1/012010 URL: http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/206/1/012010/pdf (accessed 21.12.2018).

9. Kornev E. S., Pavlova L. D., Fryanov V. N. Complex of problem-oriented programs for modeling geomechanical processes in the rock mass in underground coal seams development. *Khroniki ob"edinennogo fonda elektronnykh resursov «Nauka i obrazovanie»*. 2012, no 3. URL: http://ofernio.ru/portal/newspaper/ofernio/2012/3.doc (accessed 26.06.2012).

10. Tsvetkov A. B., Pavlova L. D., Fryanov V. N. Construction of the approximant of complete diagram for rock deformation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2016. Vol. 45. Pp. 1—7 (012009). URL: http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/45/1/012009/pdf (accessed 23.12.2018).

11. *Metodika rascheta i vybora parametrov krepi na sopryazheniyakh gornykh vyrabotok pri odinarnoy i parnoy podgotovke vyemochnykh stolbov*: utverzhdena Departamentom ugol'noy promyshlennosti Minenergo Rossii 16.01.2003 g. [The method of calculation and selection of parameters of the support on the interfaces of mine workings with single and pair preparation of excavation posts: approved by the Department of coal industry of the Ministry of energy of Russia 16.01.2003], Saint-Petersburg, Mezhotraslevoy nauchnyy tsentr VNIMI, 2004, 84 p. [In Russ].

12. *Ukazaniya po ratsional'nomu raspolozheniyu, okhrane i podderzhaniyu gornykh vyrabotok na ugol'nykh shakhtakh SSSR*. Izd. 4-e. [Instructions on the rational location, protection and maintenance of mine workings in the coal mines of the USSR, 4th edition], Leningrad, 1986, 222 p. [In Russ].

13. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Instruktsiya po rasche-tu i primeneniyu ankernoy krepi na ugol'nykh shakhtakh»*: utverzhdeny Prikazom Rostekhnadzora № 610 ot 17.12.2013 g. [Federal norms and rules in the field of industrial safety «Instruction on calculation and application of anchorage in coal mines»: approved by the order of Rostekhnadzor № 610 from 17.12.2013.]. [In Russ].

14. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti v ugol'nykh shakhtakh»*, utverzhdennye prikazom Rostekhnadzora ot 19.11.2013 g, no 550 (Zaregistrirovany v Minyuste Rossii 31.12.2013 g, no 30961) [Federal regulations and rules in the field of industrial safety «Safety rules in coal mines» approved by the order of Rostekhnadzor of 19.11.2013, no 550 (Registered in the Ministry of justice of Russia 31.12.2013, no 30961)]. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Басов Вадим Викторович* — аспирант,
e-mail: vadimbasov@yahoo.com,
Сибирский государственный индустриальный университет.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

*V.V. Basov*, Graduate Student, e-mail: vadimbasov@yahoo.com,
Siberian State Industrial University,
654007, Novokuznetsk, Russia.