

Код МРНТИ 52.35.29

В.Ф. Демин, Р.А. Мусин, М.А. Байкенжин, Ж.М. Асанова

Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан)

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ КОНТУРНОГО КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С УЧЕТОМ ГЕОМЕХАНИКИ МАССИВА

**Аннотация.** Экономическая эффективность добычи угля, снижение его себестоимости напрямую связаны с поддержанием подготовительных выработок в рабочем состоянии. В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности применения анкерного крепления в горных выработках. Анализ показал, что анкерное крепление может применяться как автономная и временная крепь в зонах горно-геологических нарушений. Предлагаемая технология основана на применении податливой анкерной крепи для снижения коллатеральной деформации приконтурных пород и опалубки. Проведенные экспериментальные исследования работы крепи в неустойчивых породах кровли, в зоне влияния очистных работ показали, что устойчивость разработки зависит от технических и горно-геологических факторов. Проведенные исследования дают основание полагать, что предлагаемый вариант повышения несущей способности крепи может существенно улучшить состояние горных выработок.

**Ключевые слова:** горнодобывающая промышленность, контурное крепление, гидравлические стойки, канатный анкер, многоконтурное крепление, анкерная крепь, рамно-анкерная крепь, опорное давление, рамная крепь, трещинообразование.

### Массив геомеханикасын ескере отырып, тау-кен қазбаларын контурлық бекіту жүйелерінің параметрлерін негіздеу

**Аңдатпа.** Көмір өндірудің экономикалық тиімділігі, оның өзіндік құнының төмендеуі дайындық қазбаларын жұмыс жағдайында ұстауға тікелей байланысты. Мақалада тау-кен қазбаларында анкерлік бекітуді қолдану тиімділігін арттыру мәселелері қарастырылған. Таудау анкерлік бекітуді тау-геологиялық бұзылулар аймақтарында автономды және уақытша бекітпе ретінде қолдануға болатындығын көрсетті. Ұсынылған технология контурлық жыныстар мен пішіндердің кепілдік деформациясын азайту үшін икемді анкерді қолдануға негізделген. Шатырдың тұрақсыз жыныстарындағы, тазарту жұмыстарының әсер ету аймағындағы бекітпенің жұмысына жүргізілген эксперименттік зерттеулер дамудың тұрақтылығы техникалық және тау-кен-геологиялық факторларға байланысты екенін көрсетті. Жүргізілген зерттеулер бекітпенің көтергіштік қабілетін арттырудың ұсынылып отырған нұсқасы тау-кен қазбаларының жағдайын едәуір жақсарту алады деп пайымдауға негіз береді.

**Түйінді сөздер:** тау-кен өнеркәсібі, контурлық бекіту, гидравликалық тіректер, арқан анкер, көп тізбекті бекіту, анкер бекіткіші, рамалық анкер, тірек қысымы, рамалық бекіту, жарықшақ түзілу.

### Substantiation of parameters of contour fastening systems of mine workings taking into account the geomechanics of the array

**Abstract.** The economic efficiency of coal mining and the reduction of its cost are directly related to the maintenance of preparatory workings in working condition. The article deals with the issues of increasing the efficiency of the use of anchor fastening in mine workings. The analysis showed that the anchorage can be used as an autonomous and temporary anchorage in areas of mining and geological disturbances. The proposed technology is based on the use of malleable anchor support to reduce the collateral deformation of contour rocks and formwork. Experimental studies of the work of the support in unstable roof rocks, in the zone of influence of cleaning works have shown that the stability of the development depends on technical and mining-geological factors. The conducted studies give reason to believe that the proposed option of increasing the bearing capacity of the support can significantly improve the condition of mine workings.

**Key words:** mining industry, contour fastening, hydraulic struts, rope anchor, multi-contour fastening, anchor support, frame-anchor support, support pressure, frame support, cracking.

#### Введение

Несмотря на значительный рост уровня механизации производственных процессов, угольная и горнорудная отрасли горнодобывающей промышленности остаются одними из наиболее трудоемких.

Применение технологии контурного крепления предусматривается, преимущественно, на шахтах и рудниках, где крепь выработок усиливают с помощью гидравлических стоек, канатных анкеров, а на сопряжениях с лавой используется механизированная крепь сопряжения.

Предлагается использовать средства контурного заложения кровли, боков и почвы при многоконтурном креплении горного

массива для скрепления вмещающих пород в качестве крепи усиления при поддержании подготовительных выработок на сопряжении с очистным забоем без применения штрековых механизированных крепей сопряжения, канатных анкеров и гидравлических стоек.

В результате усиления крепи выработок средствами контурного заложения кровли, боков и почвы производится связывание пород кровли поддерживаемой выработки, возрастает прочность приконтурного массива пород в зоне опорного давления впереди очистного забоя и на сопряжении лавы с подготовительной выработкой. Средства упрочнения контура выработки могут быть успешно

использованы в качестве крепи усиления в выработках с рамной, рамно-анкерной и анкерной крепью, чем существенно снижается проявление опережающего опорного давления впереди очистного забоя; повышается безопасность ведения горных работ; значительно уменьшается трудоемкость при установке и доставке элементов крепи; растет производительность очистного забоя за счет сокращения времени концевых операций; на сопряжении обеспечиваются условия для беспрепятственного прохода людей и транспортировки оборудования; значительно сокращаются материальные затраты на доставку оборудования и последующую эксплуатацию крепи<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Журов В.В. Совершенствование методики расчета параметров крепления выработок с учетом горнотехнологических факторов. / Дисс... канд. техн. наук. – Караганда: КарГТУ, 2010. – 115 с.

**Методы**

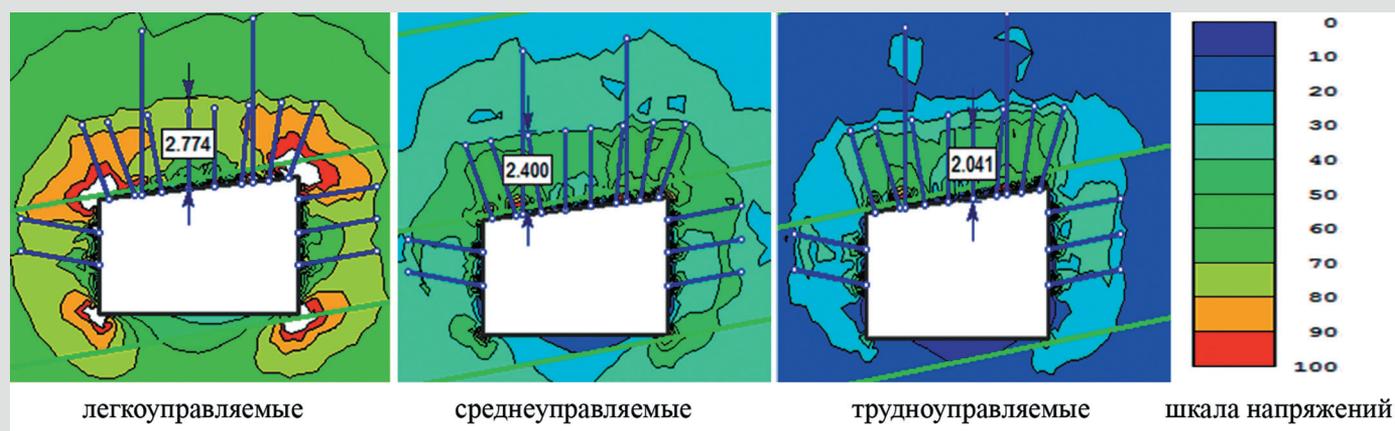
В настоящее время в большинстве угольных и рудных шахт традиционно используется для усиления крепи широких горных выработок и их сопряжений стоечная смешанная и рамная крепь. В сравнении с ними средства контурного укрепления, боков и почвы обладают следующими преимуществами: низкие материальные затраты и металлоемкость;

низкая трудоемкость при доставке и установке; не препятствует проходу людей и транспортировке оборудования; не требует перемонтажа крепи при установке оборудования в выработке<sup>2</sup>.

Для обеспечения устойчивого состояния выработок и сопряжений на весь период эксплуатации наиболее целесообразным является применение многоуровневой анкерной крепи, где, кроме анкеров первого

уровня, используются анкеры глубокого заложения. Жесткие анкеры глубокого заложения закрепляются в устойчивых породах кровли, за пределами свода естественного равновесия. При этом неустойчивые породы кровли скрепляются анкерами первого уровня и подвешиваются на анкерах второго уровня к устойчивым породам<sup>3</sup>.

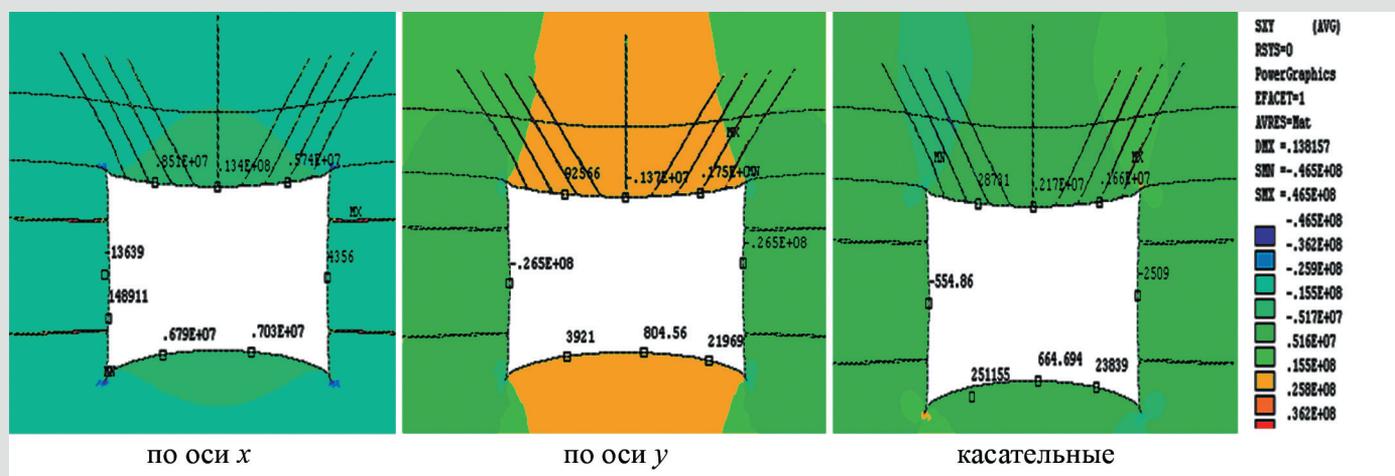
Таким образом, исследования по установлению основных влияющих



**Рис. 1. Развитие деформаций в зависимости от управляемости пород кровли пласта в зоне опорного давления впереди лавы.**

**Сурет 1. Қабат шатырының жыныстарын басқаруға байланысты деформациялардың дамуы лаваның алдындағы қысым аймағында.**

**Figure 1. The development of deformations depending on the controllability of the rocks of the roof of the formation in the zone of reference pressure ahead of the lava.**



**Рис. 2. Влияние угла наклона анкера на НДС массива горных пород вокруг выработки с прямоугольным сечением.**

**Сурет 2. Тік бұрышты қимасы бар жұмыс төңірегіндегі таужыныс массасының кернеулі-деформациялық күйіне анкердің көлбеу бұрышының әсері.**

**Figure 2. Influence of the angle of inclination of the anchor on the stress-strain state of the rock mass around a working with a rectangular section.**

<sup>2</sup>Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна. – Караганда: Филиал Республиканского государственного предприятия «Национальный научно-исследовательский центр по проблемам промышленной безопасности», Угольный департамент АО «АрселорМиттал Темиртау», 2008. – 88с.

<sup>3</sup>Задавин Г.Д. Установление параметров анкерной крепи при проведении подготовительных выработок в условиях шахт Карагандинского бассейна. / Дисс... канд. техн. наук. – Караганда: КарГТУ, 2008. – 130 с.

горно-геологических и горнотехнических факторов и параметров контурной технологии крепления выработок с управлением технологическим состоянием углеродного горного массива вмещающих пород и совершенствованию технологических схем по повышению эффективности и обеспечению безопасности разработки угольных пластов является актуальной задачей горных работ [1].

**Отличие предлагаемой технологии** состоит в том, что будут разработаны технологические схемы ведения горных работ на основе аналитического моделирования с созданием контурной и многоцелевой технологии крепления горных выработок и применением

технологии с анкерами контурного и глубокого заложения и крепления с учетом геомеханики дезинтеграционных процессов, происходящих в массиве пород, с учетом влияния эксплуатационных параметров разработки подземных месторождений на базе аналитического моделирования процессов разрушения контуров вокруг выработок.

### Напряженно-деформированное состояние массива горных пород при креплении выработок в зоне очистного забоя

На рис. 1 представлено развитие деформаций в зависимости от управляемости пород кровли пласта в зоне опорного давления впереди лавы при моделировании напряженно-деформированного

состояния и результаты расчетов с использованием программы Flac 2 (США)<sup>4</sup>.

Смещения в легкоуправляемых породах составили 2,7 мм; в среднеуправляемых – 2,4 мм; в трудноуправляемых (прочных) – 2,0 мм. Для поддержания выработок в эксплуатационном состоянии в зоне опорного давления необходимо соблюдение следующих условий: формирование несущей балки анкерами первого уровня; породы кровли выработки за пределами естественного свода давления имеют меньшие смещения и большие сопротивления нагрузкам, чем породы в своде; смещения пород кровли за лавой приводят к увеличению давления, вызывающего разрушение пород кровли и боков выработки<sup>4</sup>.

### Влияние технологических факторов на условия поддержания горных выработок

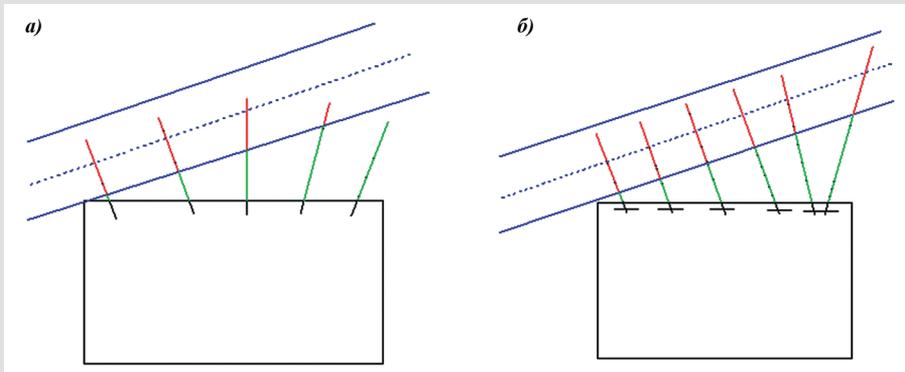
**Влияние угла наклона контурных анкеров на НДС массива горных пород.** Моделирование НДС вокруг горных выработок с применением метода конечных элементов проведено для условий шахты им. Кузембаева Карагандинского угольного бассейна с использованием для оценки напряженно-деформированного состояния горного массива программы *Ansys*.

Исследовано влияние угла наклона контурного анкера на НДС массива горных пород. На рис. 2 изображено влияние угла наклона анкера на НДС массива горных пород с прямоугольной выработкой и установкой контурных анкеров [2]. Определены значения максимальных нормальных и касательных напряжений, по которым определены эмпирические зависимости (1) и (2):

$$\sigma_y^{\max}(\alpha) = 3,0 \times 10^{-5} \times \alpha^4 - 6,0 \times 10^{-3} \times \alpha^3 + 0,8 \times \alpha^2 - 13,0 \times \alpha + 154,0. \quad (1)$$

$$\tau_{\max}(\alpha) = 9,0 \times 10^{-3} \times \alpha^2 - 1,9 \times \alpha + 95,0. \quad (2)$$

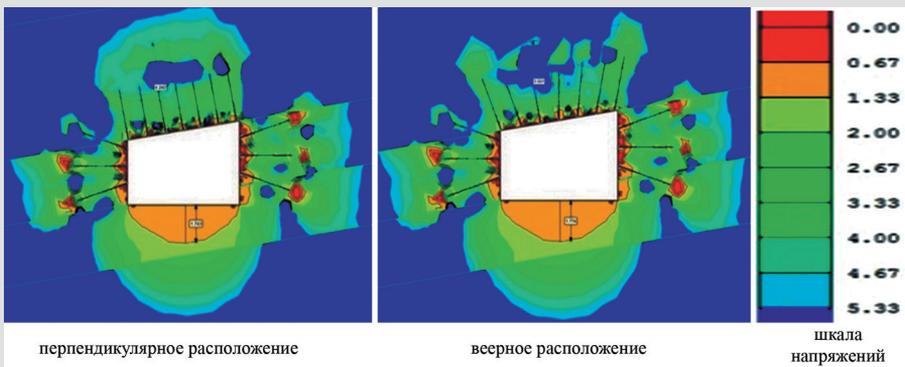
Установлено влияние на величину напряжений угла установки контурной крепи. Значение угла



**Рис. 3. Расположение анкеров контурной крепи относительно напластования слоев горных пород.**

**Сурет 3. Тау жыныстары қабаттарының қабаттасуына қатысты контурлы бекітпенің анкерінің орналасуы.**

**Figure 3. The location of the contour support anchors relative to the stratification of rock layers.**



**Рис. 4. Результаты моделирования расположения контурной анкерной крепи относительно напластования слоев горных пород.**

**Сурет 4. Тау жыныстары қабаттарының қабаттасуына қатысты контурлы анкерлік бекітпенің орналасуын модельдеу нәтижелері.**

**Figure 4. Results of modeling the location of the contour anchor support relative to the stratification of rock layers.**

<sup>4</sup>Демин В.Ф., Двужилова С.Н., Демина Т.В. Технология крепления выработок на основе оценки напряженно-деформированного состояния горного массива: монография. – Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing is a trademark of AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG, 2018. – 200 с.

наклона анкера, равное  $75^\circ$ , при минимальных нормальных напряжениях рекомендуется при установке канатных анкеров в зоне влияния очистных работ.

### Расположение контурной крепи относительно напластования слоев горных пород

Рекомендуется расположение анкерной крепи относительно напластования слоев горных пород по веерной схеме относительно кровли выработки под различными

углами к плоскостям напластования (рис. 3а), возможно также устанавливать анкеры перпендикулярно плоскостям напластования горных пород (рис. 3б).

Произведена оценка напряженно-деформированного состояния горного массива с использованием программы *Phase<sup>2</sup>*. Анализ результатов осуществлялся методом конечных элементов.

Произведенные расчеты показывают, что при креплении анкерами по нормали к напластованиям

пород возникают значительные напряжения, увеличивается область трещинообразования, и зона расслоения пород в кровле может достигать 4,2 м. При креплении под углом к напластованиям высота расслоения может достигать 3,7 м (рис. 4) [3].

Так как при креплении контурными анкерами по нормали к напластованиям обеспечивается создание системы «порода – крепь», в боках выработки возникают большие расслоения пород – до 4,5 мм по падению пласта и 5,5 мм по его восстанию. Несущая балка обеспечивает снижение напряжений при нормальном расположении анкеров на 10-15% в кровле, в боках выработки – на 20%. Влияние<sup>5</sup> на пучение почвы выработки снижается до 5%.

### Результаты

Проведено моделирование геомеханического состояния в окрестности горных выработок с применением метода конечных элементов<sup>6</sup> с использованием для оценки напряженно-деформированного состояния горного массива программы *Ansys*.

Выявлены закономерности влияния длины анкера (3) и глубины разработки (4) на устойчивость горной выработки прямоугольной формы сечения в условиях шахты им. Костенко<sup>7</sup>.

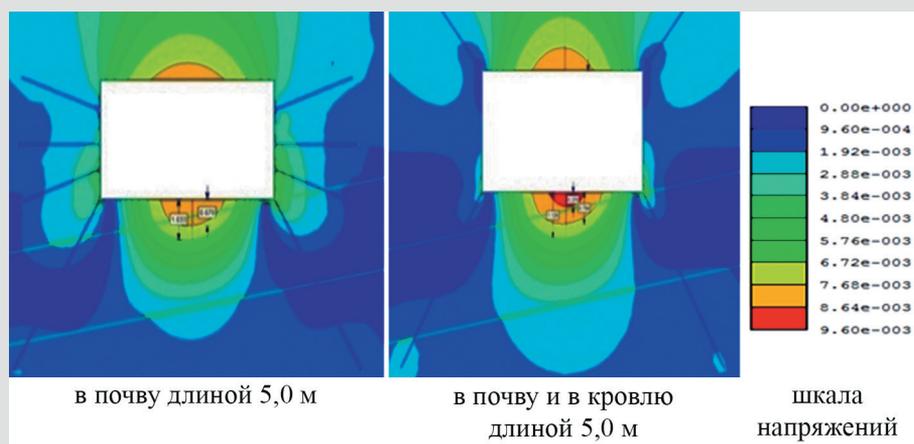
$$\sigma_y(l) = 0,38l + 24. \quad (3)$$

$$\sigma_y(H) = 4,3 + 0,22H. \quad (4)$$

### Расположение контурного крепления относительно элементов выработки при пучении пород почвы

Проведены моделирование напряженно-деформированного состояния и расчеты с использованием программы *Flac 2* (США) для различных горнотехнических условий разработки угольных пластов Карагандинского бассейна.

Рассматривались прямоугольное и арочное сечения выработок с припочвенными и угловыми кровельными анкерами различной длины. Проведенные моделирование



красный цвет – зона разрушения; оранжевый – растрескивания; светло-зеленый – расслоения (все три верхние зоны – разгрузки); 4, 5 – зоны трещинообразования; 6 – зона микродеформаций

Рис. 5. Сечение выработки с наклонными контурными анкерами.

Сурет 5. Көлбеу контурлы анкермен қазбаның қимасы.

Figure 5. Section of the workings with inclined contour anchors.

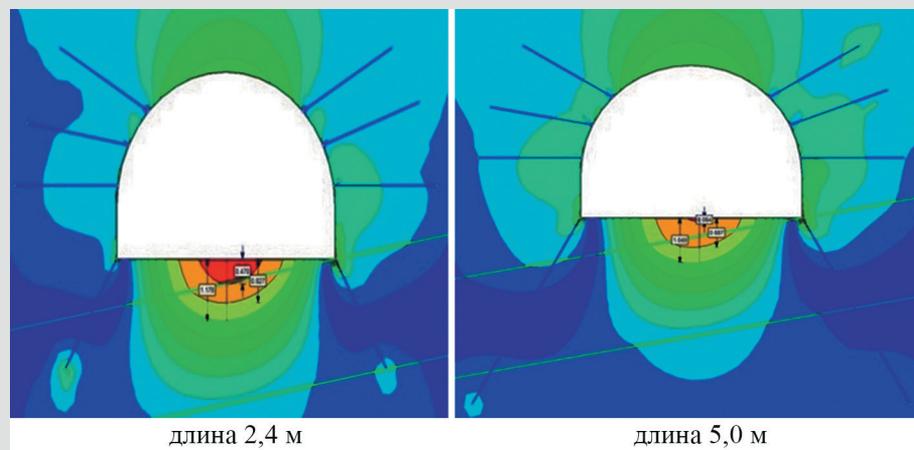


Рис. 6. Металлическая арочная крепь выработки с наклонными анкерами в почву.

Сурет 6. Қазбаның металл аркалы бекітпесі, топыраққа көлбеу экірлері бар.

Figure 6. Metal arched workings with inclined anchors in the soil.

<sup>5</sup> Широков А.П., Горбунов В.Ф. Повышение устойчивости горных пород. – Новосибирск: Наука, 1983. – 167 с.

<sup>6</sup> Черняк И.Л., Бурчаков Ю. И. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт. – М.: Недра, 1984. – 304 с.

<sup>7</sup> Заславский Ю.З., Зорин А.Н., Черняк И.Л. Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт. – Киев: Техника, 1972. – 156 с.

и расчеты позволили проанализировать технологические схемы снижения пучения пород почвы горных выработок (рис. 5 и 6) [4].

#### Заключение

Следует сделать вывод о том, что на деформации и напряжения в породах почвы оказывают не припочвенные, а боковые анкеры в зоне опорного давления вокруг контура выработки.

Реализация результатов проведенных исследований позволит:

- обосновать и создать эффективные параметры технологии крепления горных выработок;
- оптимизировать качественные и количественные параметры производственных процессов с учетом комплекса влияющих факторов на основе аналитического моделирования;

▪ обеспечить безопасные условия труда при интенсивной отработке угольных пластов;

- создать условия проведения горных выработок с обеспечением повышения эффективности горных работ в выемочном поле;
- сформировать прогрессивные инновационные технологические схемы проведения горных выработок.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Демин В.Ф., Двужилова С.Н., Демина Т.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния углеродного массива вокруг выработок. // Международная научно-практическая конференция «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №10: тезисы докладов). – Караганда: КарГТУ, 2018. – С. 91-94 (на русском языке)
2. Демин В.Ф. и др. Проблема создания прогрессивных технологических схем крепления горных выработок угольных шахт. // Международная научно-практическая конференция «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №10: тезисы докладов). – Караганда: КарГТУ, 2018. – С. 94-96 (на русском языке)
3. Демин В.Ф., Мусин Р.А., Демина Т.В., Томилов А.Н. Упрочнение массива законтурными анкерами для снижения пучения пород почвы. // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2018. – №7. – С. 34-40 (на русском языке)
4. Лабасс А. Давление горных пород в угольных шахтах. // В кн.: Горное давление. – М.: Госгортехиздат, 1961. – С. 59-164 (на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Демин В.Ф., Двужилова С.Н., Демина Т.В. Қазбалар айналасындағы көмір жынысының кернеулі-деформацияланған күйін модельдеу. // «Ғылым, білім және өндіріс интеграциясы – ұлт жоспарын жүзеге асырудың негізі» Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы (Сагинов оқулары №10: баяндама тезисі). – Қарағанды: ҚарМТУ, 2018. – Б. 91-94 (орыс тілінде)
2. Демин В.Ф. және т. б. Көмір шахталарының тау-кен қазбаларын бекітудің прогрессивті технологиялық схемаларын құру мәселесі. // «Ғылым, білім және өндіріс интеграциясы – ұлт жоспарын іске асырудың негізі» Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы (Сагинов оқулары №10: баяндама тезисі). – Қарағанды: ҚарМТУ, 2018. – Б. 94-96 (орыс тілінде)
3. Демин В.Ф., Мусин Р.А., Демина Т.В., Томилов А.Н. Топырақ жыныстарының шоғылануын төмендету үшін массивті контурлы анкерлермен нығайту. // Қазақстанның кен журналы. – Алматы, 2018. – №7. – Б. 34-40 (орыс тілінде)
4. Лабасс А. Көмір шахталарындағы тау жыныстарының қысымы. // Кітапта: Тау қысымы. – М.: Госгортехиздат, 1961. – Б. 59-164 (орыс тілінде)

#### REFERENCES

1. Dyomin V.F., Dvuzhilova S.N., Dyomina T.V. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya ugleporodnogo massiva vokrug vyrabotok. [Modeling of the stress-strain state of a carboniferous massif around workings]. // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Integraciya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizacii Plana nacji» (Saginovskie chteniya №10: tezisy dokladov) = International scientific and practical conference «Integration of science, education and production – the basis for the implementation of the National Plan» (Saginovsky readings №10: thesis of the report). – Karaganda: KarSTU, 2018. – P. 91-94 (in Russian)
2. Dyomin V.F. et al. Problema sozdaniya progressivnyx texnologicheskix sxem krepleniya gornyx vyrabotok ugol'nyx shaxt [The problem of creating progressive technological schemes for fixing mining workings of coal mines]. // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Integraciya nauki, obrazovaniya i proizvodstva

- *osnova realizacii Plana nacii*» (*Saginovskie chteniya №10: tezisy dokladov*) = *International scientific and practical conference «Integration of science, education and production – the basis for the implementation of the National Plan»* (*Saginovsky readings №10: thesis of the report. – Karaganda: KarSTU, 2018. – P. 94-96 (in Russian)*)
3. *Dyomin V.F., Mussin R.A., Dyomina T.V., Tomilov A.N. Uprochnenie massiva zakonturnymi ankerami dlya snizheniya pucheniya porod pochvy [Solidification of the massif with textured anchors to reduce heaving of soil rocks. // Gornyj zhurnal Kazaxstana = Mining Journal of Kazakhstan. – Almaty, 2018. – №7. – P. 34-40 (in Russian)*
  4. *Labass A. Davlenie gornyx porod v ugol'nyx shaxtax [Pressure of rocks in coal mines]. // V knige: Gornoe davlenie = In the book: Mountain pressure. – M. : Gosgortehizdat, 1961. – P. 59-164 (in Russian)*

#### Сведения об авторах:

**Демин В.Ф.**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан), [vladfdemin@mail.ru](mailto:vladfdemin@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0002-1718-856X>

**Мусин Р.А.**, PhD, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан), [R.A.Mussin@mail.ru](mailto:R.A.Mussin@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1206-6889>

**Байкенжин М.А.**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан), [mbmqm@mail.ru](mailto:mbmqm@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7345-3375>

**Асанова Ж.М.**, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет» (г. Караганда, Казахстан), [zhanar-a@bk.ru](mailto:zhanar-a@bk.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1169-8729>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Демин В.Ф.**, техника ғылымдарының докторы, «Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Мусин Р.А.**, PhD, «Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Байкенжин М.А.**, техника ғылымдарының кандидаты, «Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Асанова Ж.М.**, «Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

#### Information about the authors:

**Dyomin V.F.**, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department «Development of Mineral Deposits» of Non-profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Mussin R.A.**, PhD, Senior Lecturer at the Department «Development of Mineral Deposits» of Non-profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Baikenzhin M.A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department «Development of Mineral Deposits» of Non-profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

**Asanova Zh.M.**, Senior Lecturer at the Department «Development of Mineral Deposits» of Non-profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)