Код МРНТИ 52.13.23

Р. А. Мусин, Д. Р. Ахматнуров, *А. Н. Есендосова, Н. М. Замалиев
НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК КАРАГАНДИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Аннотация. В статье представлены результаты многолетних комплексных исследований устойчивости горных выработок Карагандинского угольного бассейна на глубинах более 500 м. На основе анализа литолого-стратиграфического строения, структурных особенностей и физико-механических свойств пород обоснованы оптимальные параметры анкерного крепления в условиях сложного напряженно-деформированного состояния массива. Выполнены аналитические расчеты, численное моделирование методом конечных элементов и натурные инструментальные наблюдения. Установлены количественные зависимости между глубиной разработки, свойствами пород и параметрами анкерных систем. Разработанные рекомендации обеспечивают прогнозирование устойчивости выработок, повышение надежности крепи и увеличение срока безремонтной эксплуатации на 25–40% и могут быть использованы при проектировании и эксплуатации шахт в аналогичных условиях.

Ключевые слова: *анкерное крепление, Карагандинский угольный бассейн, геомеханика, устойчивость кровли, напряженно-деформированное состояние, физико-механические свойства, моделирование, глубинные выработки, эксплуатационная безопасность, инженерное прогнозирование.*

Қарағанды көмір бассейнінің дайындық қазбаларын анкерлік бекіту параметрлерінің геомеханикалық негіздемесі

Аңдатпа. Мақалада 500 м-ден асатын тереңдіктерде Қарағанды көмір бассейніндегі тау-кен қазбаларының тұрақтылығы бойынша көпжылдық кешенді зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Жыныстардың литологиялық-стратиграфиялық құрылысы, құрылымдық ерекшеліктері және физика-механикалық қасиеттерін талдау негізінде тау жыныстары массивінің күрделі кернеулі-деформацияланған жағдайларында анкерлік бекітудің оңтайлы параметрлері негізделді. Аналитикалық есептеулер, соңғы элементтер әдісімен сандық модельдеу және натуралық аспаптық бақылаулар жүргізілді. Қазу тереңдігі, жыныстардың қасиеттері және анкерлік жүйелердің параметрлері арасындағы сандық тәуелділіктер анықталды. Ұсынылған ұсынымдар қазбалардың тұрақтылығын болжауға, бекітудің сенімділігін арттыруға және жөндеусіз пайдалану мерзімін 25–40% ұлғайтуға мүмкіндік береді және ұқсас жағдайлардағы шахталарды жобалау мен пайдалануда қолданылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: *анкерлік бекіту, Қарағанды көмір бассейні, геомеханика, шатыр тұрақтылығы, кернеулі-деформацияланған күй, физика-механикалық қасиеттер, модельдеу, терең қазбалар, пайдалану қауіпсіздігі, инженерлік болжау.*

Geomechanical substantiation of rock-bolt support parameters in the Karaganda coal basin

Abstract. The article presents the results of long-term comprehensive studies on the stability of mine workings in the Karaganda Coal Basin at depths exceeding 500 m. Based on an analysis of lithological-stratigraphic structure, structural features, and physico-mechanical properties of rocks, optimal parameters of rock bolting under complex stress-strain conditions of the rock mass are substantiated. Analytical calculations, finite element numerical modeling, and in situ instrumental observations were performed. Quantitative relationships between mining depth, rock properties, and parameters of bolting systems were established. The developed recommendations enable reliable prediction of roadway stability, improvement of support reliability, and an increase in maintenance-free service life by 25–40% and can be applied in the design and operation of mines under similar conditions.

Keywords: *rock-bolt support, Karaganda coal basin, geomechanics, roof stability, stress-strain state, physical and mechanical properties, numerical modeling, deep mine workings, operational safety, engineering prediction.*

Введение

Рост глубины разработки угольных пластов Карагандинского угольного бассейна сопровождается усложнением горно-геологических условий и усилением горного давления, что обусловливает необходимость совершенствования систем крепления выработок [1–3]. Повышенные концентрации напряжений вблизи контура приводят к снижению устойчивости кровли и боков выработок, ускоренному разрушению рамной крепи и росту эксплуатационных затрат. Наиболее неблагоприятные условия характерны для глубин свыше 600 м, где вмещающие породы представлены чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов с выраженной анизотропией прочностных свойств [4, 5].

Высокая экономическая значимость угольной отрасли, обеспечивающей свыше половины энергобаланса, требует повышения надежности горных выработок транспортного, вентиляционного и дренажного назначения. Современные анкерные системы крепления обеспечивают перераспределение нагрузок в массиве за счет вовлечения устойчивых слоев кровли, что способствует выравниванию напряженного состояния и снижению риска обрушений [6–8]. Глубинное распределение основных угольных пластов Карагандинского бассейна, приведенное на рис. 1, показывает, что значительная часть подготовительных выработок эксплуатируется в интервалах, где влияние горного давления становится определяющим фактором выбора типа и параметров крепления.

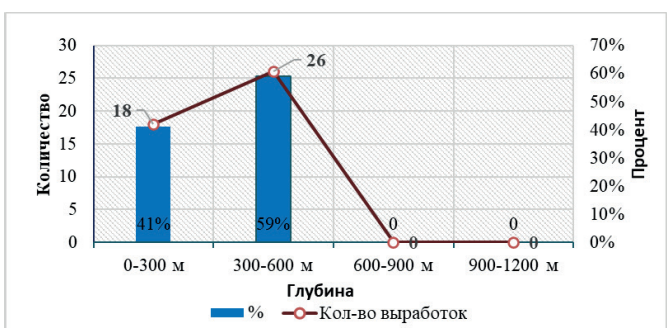


Рис. 1. Характеристика пластов Карагандинского угольного бассейна по глубине залегания.
Сурет 1. Қарағанды көмір бассейнінің қабаттарының тереңдік бойынша сипаттамасы.
Figure 1. Characteristics of the coal seams of the Karaganda coal basin by depth.

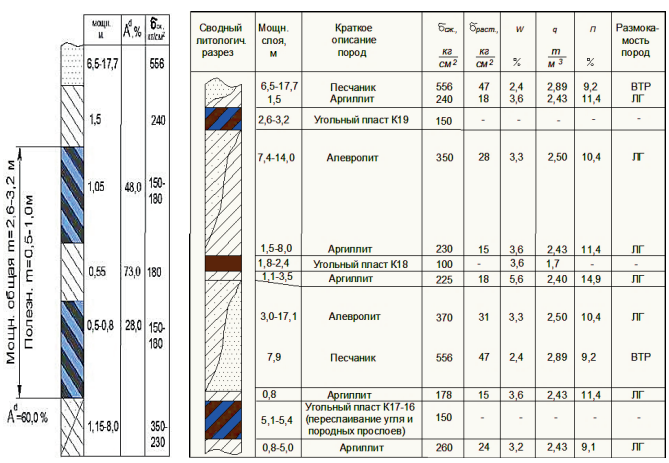
Ключевым этапом является анализ физико-механических свойств пород угленосной толщи, определяющих деформируемость массива и эффективность анкерного крепления. По данным лабораторных исследований, предел прочности пород кровли при одноосном сжатии

составляет 20–90 МПа, модуль упругости — 3–16 ГПа, коэффициент Пуассона — 0,18–0,30; указанные параметры использованы при построении геомеханических моделей напряженно-деформированного состояния массива [9, 10].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки инженерно обоснованных методик расчета параметров анкерного крепления, обеспечивающих адаптацию конструкций к конкретным горно-геологическим условиям, снижение деформаций и повышение безопасности горных работ в Карагандинском угольном бассейне.

Методы и материалы

Для обоснования параметров анкерного крепления применена комплексная методика, включающая лабораторные испытания пород, анализ эксплуатационных данных и математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива. Исследования выполнены на участках действующих шахт Карагандинского угольного бассейна (им. Костенко и «Шахтинская»). Методическая основа работы предусматривала системную оценку инженерно-геологических условий, включая мощность пластов, свойства пород кровли и боков, а также анализ деформационных процессов при различных типах крепления [1–3]. Структурное строение пласта k18 и обобщенные физико-механические свойства пород угленосной толщи, использованные при расчетах, представлены на рис. 2.



Сводный литологич. разрез	Мощн. слоя, м	Краткое описание пород	$\sigma_{сж.}$, кг/см²	$\sigma_{раст.}$, кг/см²	W, %	q, т/м³	n, %	Размокаемость пород
	6,5-17,7	Песчаник	556	47	2,4	2,89	9,2	ВТР
	1,5	Аргиллит	240	18	3,6	2,43	11,4	ЛГ
	2,6-3,2	Угольный пласт К19	150	-	-	-	-	-
	7,4-14,0	Алевролит	350	28	3,3	2,50	10,4	ЛГ
	1,5-8,0	Аргиллит	230	15	3,6	2,43	11,4	ЛГ
	1,8-2,4	Угольный пласт К18	100	-	3,6	1,7	-	-
	1,1-3,5	Аргиллит	225	18	5,6	2,40	14,9	ЛГ
	3,0-17,1	Алевролит	370	31	3,3	2,50	10,4	ЛГ
	7,9	Песчаник	556	47	2,4	2,89	9,2	ВТР
	0,8	Аргиллит	178	15	3,6	2,43	11,4	ЛГ
	5,1-5,4	Угольный пласт К17-16 (переслаивание угля и породных прослоев)	150	-	-	-	-	-
	0,8-5,0	Аргиллит	260	24	3,2	2,43	9,1	ЛГ

а *б*

Рис. 2. Структурная колонка пласта k18 *(а)* **и физико-механические свойства пород угленосной толщи** *(б)*.
Сурет 2. k18 қабатының құрылымдық бағанасы *(а)* **және көмірлі қалыңдық жыныстарының физикалық-механикалық қасиеттері** *(б)*.
Figure 2. Structural column of seam k18 *(a)* **and physico-mechanical properties of the coal-bearing rocks** *(b)*.

Прочностные характеристики пород определялись по результатам испытаний на одноосное сжатие, растяжение и срез. Установлено, что прочность алевролитов и аргиллитов составляет 15–60 МПа, песчаников — до 90 МПа. Влияние водонасыщения оценивалось по сопоставлению прочностных характеристик пород в естественно-влажном и водонасыщенном состояниях, а также с учетом ранее опубликованных данных по осадочным породам Карагандинского бассейна; для слабосцементированных аргиллитов и алевролитов снижение прочности может достигать 30%, что подчеркивает необходимость учета гидрогеологических факторов. Анализ зависимости осадки основания от среднего давления показал различную деформируемость массива при изменении условий нагружения. Дополнительно выполнена статистическая обработка эксплуатационных данных за длительный период наблюдений, позволившая выявить взаимосвязь между типом крепления, длиной анкеров и скоростью смещений кровли [4, 5]. Обобщенные эксплуатационные показатели основных видов крепления приведены на рис. 3.

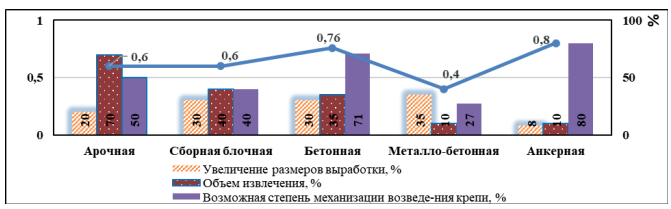
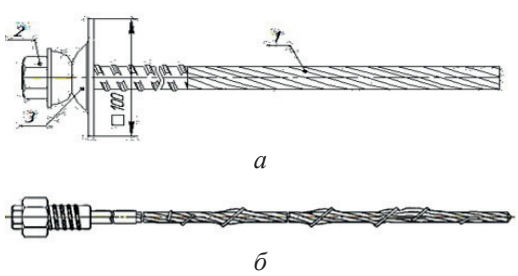


Рис. 3. Эксплуатационные показатели видов крепления горных выработок.
Сурет 3. Тау-кен қазбаларының бекіту түрлерінің пайдалану көрсеткіштері.
Figure 3. Operational indicators of types of mine support.

На следующем этапе разработаны экспериментальные конструкции анкеров с механической, смолоинъекционной и комбинированной фиксацией. Основное внимание уделено канатным анкерам АК01 и КАГ-20, обеспечивающим повышение несущей способности системы за счет увеличения длины и более равномерного распределения усилий по стержню [6–8]. Общий вид рассматриваемых конструкций канатных анкеров представлен на рис. 4.



а

б

Рис. 4. Общий вид канатных анкеров: *а — канатный анкер АК01 (-08, -14) для химических и минеральных скрепляющих составов; б — канатный анкер КАГ-20. 1 — стержень анкера сварной, 2 — гайка, 3 — шайба опорная.*
Сурет 4. Арқанды анкерлердің жалпы көрінісі: *а — химиялық және минералдық бекіткіш құрамдарға арналған АК01 (-08, -14) арқанды анкер; б — КАГ-20 арқанды анкер; 1 — анкердің дәнекерленген өзегі, 2 — гайка, 3 – тірек шайба.*
Figure 4. General view of cable (rope) anchors: *(a) — Cable anchor AK01 (-08, -14) for chemical and mineral bonding compounds; (b) — Cable anchor KAG-20; 1 — welded anchor rod, 2 — nut, 3 — bearing washer.*

Численные расчеты выполнены с применением аналитических и графоаналитических методов с учетом глубины, мощности пластов, прочности и трещиноватости пород; параметры свода равновесия определялись из уравнений статического равновесия [9]. Расчетная схема, использованная для определения высоты свода естественного равновесия над выработкой, приведена на рис. 5.

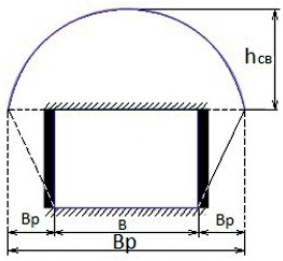


Рис. 5. Расчетная схема для определения высоты свода естественного равновесия.
Сурет 5. Табиғи тепе-теңдік күмбезінің биіктігін анықтауға арналған есептік сызба.
Figure 5. Design diagram for determining the height of the natural equilibrium arch.

На основе установленных зависимостей смещений кровли от глубины разработки, прочности пород, длины анкеров и шага их установки, а также зависимостей коэффициента устойчивости и плотности анкерования от параметров крепления определены оптимальные параметры анкерного крепления: длина 1,6–2,4 м и шаг 0,8–1,2 м, обеспечивающие устойчивость кровли на глубинах до 800 м. Полученные данные использованы для калибровки моделей и проверки на натурных объектах. Методика учитывает прочностные и геометрические особенности массива, повышая надежность и воспроизводимость расчетов.

Результаты исследований

В результате аналитических, лабораторных и натурных исследований, выполненных на участках подготовительных выработок шахт им. Костенко и «Шахтинская», получены количественные зависимости для обоснования рациональных параметров анкерного крепления. Натурный этап включал инструментальные наблюдения за смещениями кровли и боков выработок, оценку состояния элементов крепи, фиксацию зон трещиноватости и сопоставление полученных данных с расчетными параметрами. Структурная схема методики автоматизированного расчета параметров анкерного крепления представлена на рис. 6. Анализ напряженно-деформированного состояния массива показал, что увеличение длины анкеров приводит к перераспределению зон растяжения и сжатия в кровле и снижению максимальных смещений в выработке [1–4]. Установлено, что для кровли, сложенной аргиллитами и алевролитами с прочностью менее 25 МПа, при увеличении глубины разработки с 500 до 700 м смещения возрастают более чем на 40%, что обосновывает необходимость применения комбинированных схем крепления и увеличения длины анкеров.

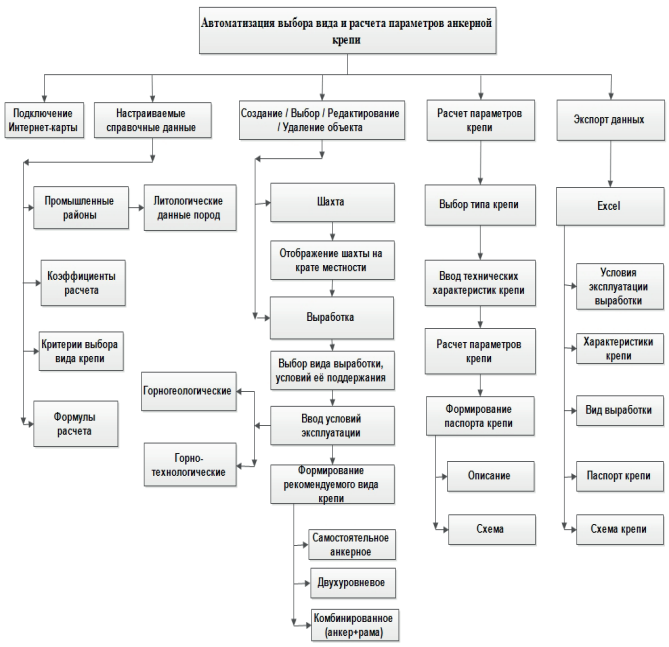


Рис. 6. Структурная схема методики автоматизированного расчета параметров анкерного крепления.
Сурет 6. Анкерлік бекітудің параметрлерін автоматтандырылған есептеу әдістемесінің құрылымдық сызбасы.
Figure 6. Structural diagram of the methodology for automated calculation of anchor support parameters.

Результаты моделирования показали, что увеличение длины анкеров с 1,2 до 2,4 м снижает смещения кровли на 25–30%, а уменьшение шага установки до 0,8 м обеспечивает более равномерное распределение напряжений в массиве. При этом зона пластических деформаций сокращается на 1,5–2,0 м от контура выработки, что повышает коэффициент устойчивости более чем на 0,2. Установлена зависимость смещений кровли от прочности пород и длины анкеров: при увеличении прочности с 20 до 80 МПа смещения уменьшаются до 12–15 мм. Для оценки эксплуатационной целесообразности проведено сопоставление коэффициента устойчивости с суммарными затратами на крепление и ремонт выработки (рис. 7). Данная зависимость показывает, что анкерное крепление обеспечивает более благоприятное соотношение устойчивости и приведенных затрат по сравнению с металлоарочной крепью. Экономический эффект формируется не только за счет роста коэффициента устойчивости, но и за счет снижения материалоемкости, уменьшения объемов ремонтных работ, сокращения простоев и увеличения срока службы выработок; средняя экономия по совокупности эксплуатационных факторов составляет 12–18% на погонный метр.

Обобщенные результаты исследований представлены в виде зависимости плотности установки анкеров от глубины выработки (рис. 8). Полученные кривые показывают, что при комбинированных схемах крепления оптимальная плотность установки анкеров первого уровня составляет 1,1–1,3 анк/м² при глубинах 600–700 м. Для анкеров глубокого заложения расчетная плотность изменяется в зависи-

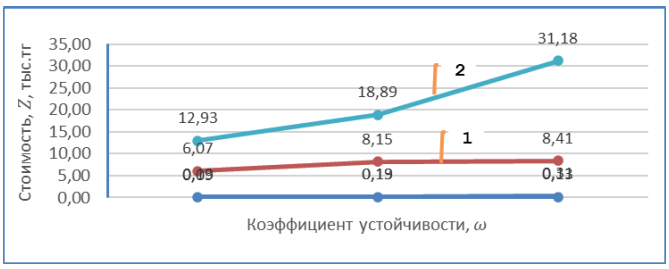


Рис. 7. Зависимость изменения коэффициента устойчивости от суммы затрат на крепление и ремонт.
1 — анкерное крепление, 2 — металлоарочная крепь.
Сурет 7. Бекіту мен жөндеуге жұмсалған шығындар сомасына байланысты тұрақтылық коэффициентінің өзгеру тәуелділігі.
1 — анкерлік бекіту, 2 — металл доғалы бекітпе.
Figure 7. Dependence of the stability coefficient variation on the total cost of support and repair.
1 — anchor support, 2 — steel arch support.

мости от глубины и требуемого уровня устойчивости, что позволяет дифференцировать параметры крепи для участков с различной степенью нарушенности массива.

Дополнительно рассмотрена зависимость относительной экономической эффективности ***E*** от длины анкера ***L*** и шага установки ***s***. При увеличении длины анкеров от 1,2 до 2,4 м показатель ***E*** снижается: при шаге установки 0,8 м — с 3,7 до 2,9, при шаге 1,0 м — с 2,9 до 2,2, при шаге 1,2 м — с 2,2 до 1,5. Это указывает на необходимость выбора рационального компромисса между повышением устойчивости, стоимостью крепления и трудоемкостью монтажа. Следовательно, увеличение длины анкеров целесообразно прежде всего в зонах повышенного горного давления, слабой кровли и интенсивной трещиноватости, тогда как на относительно устойчивых участках рациональным является уменьшение плотности и длины анкеров в пределах допустимого уровня безопасности.

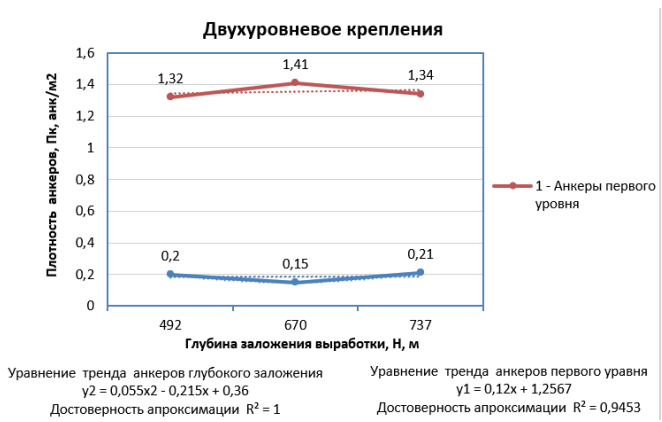


Рис. 8. Зависимость плотности установки анкеров первого уровня и глубокого заложения от глубины выработки.
Сурет 8. Бірінші деңгейлі және терең орнатылатын анкерлердің орналастыру тығыздығының қазба тереңдігіне тәуелділігі.
Figure 8. Dependence of the installation density of first-level and deep-seated anchors on the excavation depth.

В аппроксимирующих зависимостях, приведенных на рис. 8, переменная ***x*** соответствует глубине расположения выработки ***H***, м. Синей кривой обозначена плотность установки анкеров глубокого заложения, а второй кривой — плотность установки анкеров первого уровня. Такое разделение позволяет учитывать различную роль коротких и глубоких анкеров в формировании устойчивой зоны вокруг выработки.

Установлено, что анкерное крепление длиной 2,0–2,4 м и шагом 0,8–1,0 м обеспечивает устойчивость кровли до 800 м.

Обсуждение результатов

Сопоставление расчетных и натурных данных подтвердило применимость предложенной методики в условиях Карагандинского угольного бассейна. Лабораторные испытания, промышленно-эксплуатационные наблюдения и результаты моделирования показали, что эффективность анкерного крепления определяется не отдельным параметром, а сочетанием длины анкера, шага установки, прочности пород, глубины разработки и степени трещиноватости массива. Наибольший эффект достигается на глубинах 600–800 м, где традиционные металлоарочные крепи работают в условиях повышенной деформационной нагрузки, тогда как анкерные системы обеспечивают перераспределение напряжений и формирование самонесущей зоны в кровле [5–7].

Полученные в настоящей работе результаты согласуются с ранее выполненными исследованиями [8–9] и уточняют их применительно к условиям Карагандинского угольного бассейна. Расчетно-натурное сопоставление показало, что увеличение длины анкеров до 2,4 м снижает конвергенцию выработок в среднем на 25–30% и приводит к сокращению зон пластических деформаций при плотности установки 1,0–1,2 анк/м². Мониторинг на шахтах им. Костенко и «Шахтинская» подтвердил снижение скоростей смещений кровли до 3–4 мм/сут на участках с рационально подобранными параметрами крепления. При этом экономическая оценка по совокупности материальных, ремонтных и эксплуатационных затрат показывает снижение расходов на 12–18% на погонный метр выработки. В целом методика обеспечивает рациональное сочетание безопасности, надежности и экономической эффективности эксплуатации глубоких выработок [10].

Заключение

Анализ геомеханических условий Карагандинского угольного бассейна показал, что потеря устойчивости кровли подготовительных выработок обусловлена сочетанием повышенного горного давления, литологической неоднородности и трещиноватости пород. При глубинах свыше 600 м рамные крепи не всегда обеспечивают длительную устойчивость без дополнительных мероприятий, что требует применения анкерных и комбинированных систем. Разработанная методика расчета параметров анкерного крепления учитывает прочностные свойства пород, глубину залегания, трещиноватость массива и геометрию выработки. Установлены рациональные параметры: длина анкеров 2,0–2,4 м и шаг 0,8–1,0 м при комбинированной

схеме крепления для участков со сложными горно-геологическими условиями.

Численное моделирование показало снижение смещений кровли на 25–30% и сокращение зоны пластических деформаций на 1,5–2 м при увеличении коэффициента устойчивости на 0,2–0,3 по сравнению с металлоарочными крепями. Натурные наблюдения и сопоставление с эксплуатационными данными по шахтам им. Костенко и «Шахтинская» подтвердили расчеты: скорость смещений кровли на участках с рационально подобранными параметрами крепления снижалась до 3–4 мм/сут, а срок безремонтной эксплуатации выработок увеличивался в 1,5–1,7 раза. Экономическая оценка показала снижение материало- и трудоемкости на 12–18%, что делает анкерную крепь рациональным решением для глубоких пластов Карагандинского бассейна и применимым при проектировании и реконструкции подготовительных выработок.

Благодарность

Данное исследование выполнено при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования по реализации научной и научно-технической программы ИРН BR28712407.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Анализ устойчивости кровли горных выработок при применении анкерного крепления в Карагандинском бассейне / К. М. Муратбаев [и др.] // Уголь. – 2023. – № 10. – С. 45–52 (на русском языке)*
2. *Оценка перераспределения напряжений при проведении горных выработок в угленосных толщах / R. A. Mussin [и др.] // Energies. – 2024. – Т. 17. – № 8. – С. 4212–4220 (на английском языке)*
3. *Korzeniowski W., Skrzypkowski K., Szwed P. Мониторинг устойчивости горных выработок в угольных шахтах Польши с применением многоуровневых анкерных систем // Archives of Mining Sciences. – 2021. – Т. 66. – № 3. – С. 589–602 (на английском языке)*
4. *Zhang C., Pan Y., Wang J. Численное моделирование механизма анкерного крепления кровли в угольных выработках // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2021. – Т. 141. – С. 104719–104724 (на английском языке)*
5. *Замалиев Н. М., Ахматнуров Д. Р., Мусин Р. А. Моделирование напряженно-деформированного состояния пород кровли в зоне влияния очистных работ // Комплексное использование минерального сырья. – 2024. – № 2. – С. 67–75 (на русском языке)*
6. *Skrzypkowski K., Zagórski K., Korzeniowski W. Геотехническая оценка анкерного крепления в слоистом горном массиве // Journal of Mining Science. – 2020. – Т. 56. – № 2. – С. 289–297 (на английском языке)*
7. *Ахматнуров Д. Р., Замалиев Н. М., Ганюков Н. Ю. Определение параметров комбинированного анкерного крепления в условиях неоднородного массива пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 12. – С. 54–62 (на русском языке)*
8. *Korzeniowski W., Skrzypkowski K., Zamaliev N. Оптимизация параметров анкерного крепления кровли для глубоких угольных шахт // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2023. – Т. 133. – С. 104938–104942 (на английском языке)*
9. *Qin S., Li X., Zhang Y. Экспериментальное исследование несущей способности анкеров, закрепленных смолой, в кровле угольных шахт // Engineering Failure Analysis. – 2022. – Т. 138. – С. 106277–106282 (на английском языке)*
10. *Новая система анкерного крепления горных пород с использованием стальных частиц / X. Feng [и др.] // International Journal of Mining Science and Technology. – 2022. – Т. 32. – С. 1045–1058 (на английском языке)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Қарағанды көмір бассейнінде анкерлік бекітуді қолдану кезінде тау-кен қазбалары төбесінің тұрақтылығын талдау / К. М. Муратбаев [және т. б.] // Уголь. – 2023. – № 10. – Б. 45–52 (орыс тілінде)*
2. *Көмірлі қабаттарда тау-кен қазбаларын жүргізу кезінде кернеулердің қайта бөлінуін бағалау / R. A. Mussin [және т. б.] // Energies. – 2024. – Т. 17. – № 8. – Б. 4212–4220 (ағылшын тілінде)*
3. *Korzeniowski W., Skrzypkowski K., Szwed P. Көпдеңгейлі анкерлік жүйелерді қолдану арқылы Польша көмір шахталарындағы тау-кен қазбаларының тұрақтылығын мониторингтеу // Archives of Mining Sciences. – 2021. – Т. 66. – № 3. – Б. 589–602 (ағылшын тілінде)*
4. *Zhang C., Pan Y., Wang J. Көмір қазбаларында төбені анкерлік бекіту механизмін сандық модельдеу // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2021. – Т. 141. – Б. 104719–104724 (ағылшын тілінде)*
5. *Замалиев Н. М., Ахматнуров Д. Р., Мусин Р. А. Тазалау жұмыстарының әсер ету аймағындағы төбе жыныстарының кернеулі-деформацияланған күйін модельдеу // Минералдық шикізатты кешенді пайдалану. – 2024. – № 2. – Б. 67–75 (орыс тілінде)*
6. *Skrzypkowski K., Zagórski K., Korzeniowski W. Қабатталған тау жыныстары массивіндегі анкерлік бекітудің геотехникалық бағалануы // Journal of Mining Science. – 2020. – Т. 56. – № 2. – Б. 289–297 (ағылшын тілінде)*
7. *Ахматнуров Д. Р., Замалиев Н. М., Ганюков Н. Ю. Біртекті емес тау жыныстары массиві жағдайында біріктірілген анкерлік бекітудің параметрлерін анықтау // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. – 2023. – № 12. – Б. 54–62 (орыс тілінде)*

8. *Korzeniowski W., Skrzypkowski K., Zamaliev N. Терең деңгейлі көмір шахталары үшін төбені анкерлік бекітудің параметрлерін оңтайландыру // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2023. – Т. 133. – Б. 104938–104942 (ағылшын тілінде)*
9. *Qin S., Li X., Zhang Y. Көмір шахталары төбесінде шайырмен бекітілген анкелердің көтергіштік қабілетін эксперименттік зерттеу // Engineering Failure Analysis. – 2022. – Т. 138. – Б. 106277–106282 (ағылшын тілінде)*
10. *Болат бөлшектерін пайдалануға негізделген тау жыныстарын анкерлік бекітудің жаңа жүйесі / X. Feng [және т. б.] // International Journal of Mining Science and Technology. 2022. Т. 32. Б. 1045–1058 (ағылшын тілінде)*

REFERENCES

1. *Analiz ustoichivosti krovli gornykh vyrabotok pri primenenii ankernogo krepleniya v Karagandinskom basseine [Analysis of roof stability of mine workings using rock bolting in the Karaganda Coal Basin] K. M. Muratbayev et al. Ugol' [Coal]. – 2023. – No. 10. – P. 45–52 (in Russian)*
2. *Evaluation of stress redistribution during roadway excavation in coal-bearing strata / R. A. Mussin et al. // Energies. – 2024. – Vol. 17. – No. 8. – P. 4212–4220 (in English)*
3. *Korzeniowski W., Skrzypkowski K., Szwed P. Monitoring roadway stability in Polish coal mines using multi-level anchoring systems // Archives of Mining Sciences. – 2021. – Vol. 66. – No. 3. – P. 589–602 (in English)*
4. *Zhang C., Pan Y., Wang J. Numerical simulation of roof bolting mechanisms in coal roadways // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2021. – Vol. 141. – P. 104719–104724 (in English)*
5. *Zamaliyev N. M., Akhmatnurov D. R., Mussin R. A. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya porod krovli v zone vliyaniya ochistnykh rabot [Modeling the stress-strain state of roof rocks in the zone influenced by longwall mining]. Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya [Complex Use of Mineral Resources]. –2024. – No. 2. – P. 67–75 (in Russian)*
6. *Skrzypkowski K., Zagórski K., Korzeniowski W. Geotechnical assessment of rock bolting in stratified rock mass // Journal of Mining Science. – 2020. – Vol. 56. – No. 2. – P. 289–297 (in English)*
7. *Akhmatnurov D. R., Zamaliyev N. M., Ganyukov N. Y. Opredelenie parametrov kombinirovannogo ankernogo krepleniya v usloviyakh neodnorodnogo massiva porod [Determination of parameters of combined rock bolting systems in heterogeneous rock mass conditions]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining Informational and Analytical Bulletin]. – 2023. – No. 12. – P. 54–62 (in Russian)*
8. *Korzeniowski W., Skrzypkowski K., Zamaliev N. Optimization of roof bolt parameters for deep-level coal mines // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2023. – Vol. 133. – P. 104938–104942 (in English)*
9. *Qin S., Li X., Zhang Y. Experimental study on bearing behavior of resin-anchored bolts in coal mine roofs // Engineering Failure Analysis. – 2022. – Vol. 138. – P. 106277–106282 (in English)*
10. *A novel rock bolting system exploiting steel particles / X. Feng et al. // International Journal of Mining Science and Technology. – 2022. – Vol. 32. – P. 1045–1058 (in English)*

Сведения об авторах:
Мусин Р. А., Ph.D, ассоц. профессор, кафедра «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), *R.A.Mussin@mail.ru;* https://orcid.org/0000-0002-1206-6889
Ахматнуров Д. Р., Ph.D, заведующий лабораторией, НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), *d.akhmatnurov@gmail.com;* https://orcid.org/0000-0001-9485-3669
Есендосова А. Н., Ph.D, ст. преподаватель, кафедра «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), *ainelesendosova@mail.ru;* https://orcid.org/0000-0001-7415-3630
Замалиев Н. М., Ph.D, ассоц. профессор, кафедра «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), *nailzamaliev@mail.ru;* https://orcid.org/0000-0003-0628-2654

Авторлар туралы мәліметтер:
Мусин Р. А., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)
Ахматнуров Д. Р., Ph.D, зертхана меңгерушісі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)
Есендосова А. Н., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру» кафедрасының аға оқытушысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)
Замалиев Н. М., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:
Mussin R. A., Ph.D, Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)
Akhmatnurov D. R., Ph.D, Head of Laboratory, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)
Yessendossova A. N., Ph.D, Senior Lecturer at the Department of Mining, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)
Zamaliyev N. M., Ph.D, Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)