

ТРАНСПОРТ И ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Статья поступила в редакцию: 28.07.2026

Статья принята к публикации: 01.08.2026

Статья опубликована: 28.08.2026

УДК 622.8+004.9

Сравнительный анализ и направления автоматизации расчёта параметров анкерной крепи горных выработок

Жалбыров Жанибек Даулетханович

инженер, магистр технических наук, главный инженер
Товарищества с ограниченной ответственностью Karaganda Komir
Республика Казахстан, г. Караганда

Рахматуллаев Рустам Рахимович

инженер, магистр технических наук, начальник
отдела геопрогноза и геомеханики Акционерного общества Qarmet
Республика Казахстан, г. Темиртау

Ефанин Максим Викторович

инженер, магистр технических наук, главный технолог
шахты имени И.А. Костенко Товарищества с ограниченной ответственностью Karaganda
Komir

Республика Казахстан, г. Караганда

Джусупов Нурбол Даулетханович

мл. науч. сотр., магистр технических наук, ассистент
кафедры Разработка месторождений полезных ископаемых Некоммерческого акционерного
общества Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова
Республика Казахстан, г. Караганда
E-mail: shulepin_an@mail.ru

Comparative analysis and directions of automation of calculation of parameters of anchor support of mining workings

Zhalbyrov Zhanibek Dauletkhanovich

Engineer, Master of Technical Sciences, Chief Engineer of Limited Liability Partnership
'Karaganda Komir'
Republic of Kazakhstan, Karaganda

Rakhmatullaev Rustam Rakhimovich

Engineer, Master of Technical Sciences, Head of the Department of Geo-forecasting and
Geomechanics of Joint Stock Company 'Qarmet'
Republic of Kazakhstan, Temirtau

Efanin Maksim Viktorovich

Engineer, Master of Technical Sciences, Chief Technologist of I.A. Kostenko Mine of Limited
Liability Partnership 'Karaganda Komir'
Republic of Kazakhstan, Karaganda

Dzhusupov Nurbol Dauletkhanovich

Junior Researcher
master of Technical Sciences, Assistant of the Department 'Mining of Mineral Deposits' of Non-
commercial Joint Stock Company 'Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov'
Republic of Kazakhstan, Karaganda

Аннотация

В статье представлен сравнительный анализ нормативного, программно-аналитического, численного и мониторингового подходов к определению параметров анкерной крепи горных выработок. Цель исследования состоит в обосновании структуры автоматизированного расчёта, позволяющего учитывать геометрию выработки, глубину разработки, прочностные и структурные характеристики массива, соотношение горизонтальных и вертикальных напряжений, зоны повышенного горного давления и прогнозируемые деформации контура. В качестве методов использованы сопоставление действующей нормативной методики с программной проверкой Conversys, анализ возможностей численного моделирования и обобщение принципов геомеханического мониторинга. Установлено, что ручной расчёт обеспечивает назначение базовой плотности крепления, однако ограниченно отражает влияние трещиноватости, межслоевых контактов, направления проведения выработки и изменения напряжённого состояния при приближении очистного фронта. Предложен алгоритм, включающий контроль полноты исходных данных, расчёт напряжений и индекса прочности кровли, определение высоты и массы потенциальной зоны разрушения, подбор длины, шага и несущей способности анкеров, а также проверку схемы по критериям разрыва, выдергивания и податливости. Практическая значимость решения заключается в возможности оперативного сравнения вариантов крепления и корректировки паспорта по результатам измерений конвергенции, пучения почвы и нагрузок в анкерах. Применение алгоритма повышает обоснованность выбора одноуровневой, двухуровневой или комбинированной крепи.

Abstract

The article presents a comparative analysis of regulatory, software-based analytical, numerical, and monitoring approaches to determining rock-bolting parameters for underground mine workings. The purpose of the study is to substantiate the structure of an automated calculation procedure that accounts for roadway geometry, mining depth, strength and structural characteristics of the rock mass, the ratio of horizontal to vertical stresses, zones of increased rock pressure, and predicted contour deformation. The methods include comparison of the current regulatory procedure with the Conversys software verification approach, assessment of numerical modelling capabilities, and generalization of geomechanical monitoring principles. Manual calculations were found to provide a basic support density, but to reflect only to a limited extent the effects of fracturing, bedding contacts, roadway orientation, and stress redistribution near the approaching extraction front. An algorithm is proposed that includes validation of input data, calculation of stresses and the roof strength index, determination of the height and weight of the potential failure zone, selection of bolt length, spacing, and load-bearing capacity, and verification against tensile failure, pull-out, and deformation criteria. The practical significance of the proposed approach lies

Библиографическое описание: Сравнительный анализ и направления автоматизации расчёта параметров анкерной крепи горных выработок // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Жалбыров Ж.Д. [и др.]. 2026. 8(149). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23287>

in enabling rapid comparison of support alternatives and adjustment of the support plan using measurements of convergence, floor heave, and bolt loading. Its application improves the justification for selecting single-level, two-level, or combined support systems.

Ключевые слова: анкерная крепь, горная выработка, автоматизированный расчёт, геомеханика, зона разрушения, конвергенция, мониторинг.

Keywords: anchor support, underground workings, automated calculation, geomechanics, destruction zone, convergence, monitoring.

Введение

Увеличение глубины разработки угольных месторождений сопровождается ростом напряжений и усложнением деформирования приконтурного массива. Для слоистых пород Карагандинского угольного бассейна устойчивость кровли определяется не только пределом прочности при сжатии, но и трещиноватостью, мощностью слабых прослоев, обводнённостью, направлением проведения выработки и влиянием очистных работ. При глубинах 600–1000 м изменение одного из этих факторов способно увеличить зону неупругих деформаций и сделать типовой паспорт крепления недостаточным [8, с. 54–61; 9, с. 1475–1490].

Анкерная крепь формирует в кровле армированный грузонесущий слой. Её работоспособность зависит от согласованного выбора длины анкеров, глубины закрепления, шага установки, несущей способности и податливости. Недостаточная длина приводит к закреплению внутри разрушенной области, а простое увеличение количества анкеров не исключает вторичного сводообразования. Поэтому расчёт должен определять не только плотность крепления, но и положение устойчивого слоя, массу потенциально неустойчивого блока и запас системы «анкер - закрепляющий материал - массив».

Цель работы - обосновать структуру автоматизированного расчёта параметров анкерной крепи на основе сопоставления существующих инженерных методов.

Материалы и методы

Сопоставлены расчёт по действующим инструкциям, программная проверка Conversys, численное моделирование и проектирование по данным геомеханического мониторинга. Полнота метода оценивалась по учёту геометрии и глубины выработки, прочности кровли, почвы и боков, трещиноватости, коэффициента бокового давления, зон повышенного горного давления, характеристик анкеров и прогнозируемых деформаций. Для формализованной оценки структурного состояния массива дополнительно учитываются принципы классификаций RMR, Q и CMRR, позволяющие связать трещиноватость и качество кровли с выбором системы поддержания [2, 3, 7].

Для первичной оценки принимаются вертикальное напряжение $\sigma_v = \gamma H$ и коэффициент бокового давления $K = \sigma_h / \sigma_v$. Отношение прочности кровли к вертикальному напряжению выражается индексом $I_r = \sigma_c / \sigma_v$. Снижение I_r и рост K увеличивают размеры зоны разрушения. Расчётная длина анкера определяется как $L_a = h_f + l_z$, где h_f – высота

нарушенной зоны, l_z – длина закрепления в устойчивом слое. Требуемое количество анкеров проверяется условием $n \geq G_f / (R_a \eta)$, где G_f – вес неустойчивых пород на один погонный метр, R_a – расчётная несущая способность анкера, η – коэффициент условий работы.

Результаты исследования

Главное различие между нормативной методикой и Conversys состоит в логике проектирования. В ручном расчёте плотность анкеров определяется по исходным условиям. В программе проектировщик задаёт предполагаемую схему, после чего система проверяет её работоспособность. Программная проверка учитывает большее число факторов и позволяет быстро сравнивать варианты без повторения всех операций вручную.

Таблица 1.

Сравнение подходов к расчёту анкерной крепи

Критерий	Нормативный расчёт	Программная проверка
Трещиноватость и расстояние между отдельностями	Учитываются укрупнённо	Вводятся отдельными параметрами
Горизонтальные напряжения и направление проходки	Учитываются ограниченно	Учитываются непосредственно
Зоны повышенного давления и нарушения	Вводятся поправочными коэффициентами	Проверяются по отдельным сценариям
Плотность анкеров	Определяется расчётом	Задаётся и проверяется
Податливость и запас анкера	Оцениваются по типовым данным	Проверяются расчётно
Конвергенция и остаточное сечение	Как правило, не прогнозируются	Выдаются как результат

Автоматизация требует контроля достоверности исходных данных. Для каждого параметра необходимо фиксировать источник: лабораторное испытание, геологическое описание, инструментальное измерение или экспертную оценку. При отсутствии обязательного значения либо выходе за допустимый диапазон программа должна блокировать расчёт и формировать перечень уточнений. Это снижает риск получения формально точного, но геомеханически необоснованного результата.

Численные модели позволяют определять пластические зоны, раскрытие трещин, сдвиг по межслоевым контактам и изменение состояния выработки при приближении очистного фронта. Однако их результаты чувствительны к модели среды и граничным условиям. Поэтому метод конечных элементов следует применять как проверочный этап для сложных участков, а расчётные параметры уточнять по натурным измерениям [6, с. 282–296; 5, с. 267–273].

Для выработки высотой 3,5 м и шириной 5,0 м на глубине 650 м при прочности кровли 37 МПа была проверена схема с анкерами диаметром 25 мм, длиной закреплённой части 2,3 м и несущей способностью 320 кН. При плотности 2,5 анкера на погонный метр прогнозируемая конвергенция кровли составила 10 мм, расчётное пучение почвы – 25 мм, остаточная ширина – 4991 мм, минимальная высота – 3458 мм. Фактическое максимальное пучение 32 мм показало необходимость калибровки модели, но подтвердило приемлемую точность инженерного прогноза.

Структура автоматизированного расчёта

Предлагаемый алгоритм включает шесть последовательных модулей: 1) ввод геометрических, геологических и технических данных; 2) автоматическую проверку полноты, размерности и допустимых диапазонов; 3) расчёт вертикальных и горизонтальных напряжений, индекса прочности кровли и коэффициентов концентрации; 4) определение высоты и массы потенциальной зоны разрушения; 5) подбор длины, плотности и схемы расположения анкеров с проверкой разрыва, выдергивания и податливости; 6) формирование технологической схемы, отчёта и программы мониторинга.

После начала проведения выработки в систему загружаются измеренные смещения кровли, почвы и боков, нагрузки в анкерах и результаты глубинных реперов. При превышении допустимой скорости деформаций алгоритм должен рекомендовать уменьшение шага, увеличение длины, установку второго уровня либо переход к комбинированной крепи. Таким образом, паспорт становится не разовым документом, а обновляемой цифровой моделью участка.

Обсуждение результатов

Эффективная автоматизация не сводится к переносу формул в электронную таблицу. Она должна показывать чувствительность решения к неопределённости. Проектировщику важно видеть, как изменятся высота зоны разрушения и длина анкера при снижении прочности кровли, росте коэффициента K или появлении слабого прослоя. Для условий Карагандинского бассейна длина анкера должна определяться положением устойчивого слоя. Если нарушенная зона превышает стандартную длину стержневых анкеров, необходимо автоматически рассматривать двухуровневую схему или канатные анкеры [10, с. 74–83; 1, с. 1–19].

Ограничением остаётся качество геомеханической информации. Программа устраняет арифметические и процедурные ошибки, но не устраняет природную неоднородность массива. Поэтому результат должен сопровождаться областью применимости, оценкой достоверности и обязательной программой наблюдений.

Заключение

Нормативный расчёт является необходимой основой проектирования, но его информативность недостаточна для сложного трещиноватого массива. Программная проверка расширяет перечень учитываемых факторов, прогнозирует деформации и позволяет оперативно сравнивать варианты крепления.

Предложенный алгоритм объединяет контроль исходных данных, оценку напряжённого состояния, расчёт зоны разрушения, подбор параметров анкеров, проверку несущей способности и калибровку по мониторингу. Его применение сокращает время проектирования, повышает прослеживаемость решений и создаёт основу для обоснованного выбора одноуровневой, двухуровневой или комбинированной крепи.

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 литературы

1. Akhmatnurov D., Zamaliyev N., Mussin R., Demin V., Ganyukov N., Zagórski K., Skrzypkowski K., Korzeniowski W., Stasica J. Optimization of reinforcement schemes for stabilizing the working floor in coal mines based on an assessment of its deformation state. *Materials*. 2025. Vol. 18. Article 3094. DOI: 10.3390/ma18133094.
2. Barton N., Lien R., Lunde J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support // *Rock Mechanics*. – 1974. – Т. 6, № 4. – DOI: 10.1007/BF01239496.
3. Bieniawski Z.T. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. – New York: John Wiley & Sons, 1989. – 272 P.
4. Brady B.H.G., Brown E.T. *Rock Mechanics for Underground Mining*. 3rd ed. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. – 628 P.
5. Hoek E. Carranza-Torres C., Corkum B. Hoek–Brown failure criterion edition // *Proceedings of the North American Rock Mechanics Symposium*. Toronto,. – 2002. – P. 267–273.
6. Kang H., Wang J., Wu Y. In-situ stress measurements and roadway support practice in deep coal mines of China // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. – 2015. – № 3. – P. 317–328.
7. Molinda G.M., Mark C. *Coal Mine Roof Rating (CMRR): A Practical Rock Mass Classification for Coal Mines*. U.S. Bureau of Mines Information Circular 9387. Washington, DC. – 1994. – 83 P.
8. Peng S.S. *Coal Mine Ground Control*. – Morgantown: West Virginia University Press, 2015. – 480 P.
9. Xie H., Gao M., Zhang R., Peng G., Wang W., Li A. Study on the mechanical properties and mechanical response of coal mining at 1000 m or deeper. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2019. Vol. 52. P. 1475–1490. DOI: 10.1007/s00603-018-1509-y.
10. Zholmagambetov N., Khalikova E., Demin V., Balabas A., Abdrashev R., Suiintayeva S. Ensuring a safe geomechanical state of the rock mass surrounding the mine workings in the Karaganda coal basin, Kazakhstan. *Mining of Mineral Deposits*. 2023. No. 1. P. 74–83.