

Научная статья

УДК 622.281.5

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-125-139

УСИЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАМНОГО КРЕПЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОФИЛЯ СВП ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ОТРЕЗКАМИ БОКОВЫХ СТОЕК

Кулаков Андрей Васильевич¹, Конурин Антон Игоревич^{1*},
Елгазинов Данияр Серыкканович², Шапошник Юрий Николаевич¹

¹ Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН² Товарищество с ограниченной ответственностью «Георесурс Инжиниринг»

*E-mail: konurin@misd.ru



Информация о статье

Поступила:

27 мая 2024 г.

Одобрена после
рецензирования:

29 сентября 2024 г.

Принята к публикации:

10 октября 2024 г.

Опубликована:

24 октября 2024 г.

Ключевые слова:

крепление выработок, арочные
металлические крепи,
математическое
моделирование, напряженно-
деформированное состояние
элементов крепей.

Аннотация.

Увеличение глубины ведения горных работ приводит к увеличению горного давления и вызывает необходимость совершенствования технологий поддержания горных выработок. При этом изменяющиеся горнотехнические условия отработки требуют оперативного изменения параметров крепления, а на большинстве горнодобывающих предприятий циклы приобретения и доставки новых материалов занимают длительное время. В статье рассмотрены вопросы крепления горных выработок большого сечения металлическими рамными крепями из профиля СВП. Опыт ведения горных работ в неустойчивых породах показывает, что при проведении выработок большого сечения достаточно сложно подобрать необходимый типоразмер рамной крепи и одним из возможных вариантов крепления в таких условиях является усиление крепления дополнительными боковыми стойками. Выполнено математическое моделирование предложенной конструкции крепи методом конечных элементов в рамках теории упругости. Рассчитаны основные характеристики работоспособности крепей стандартной конструкции и с увеличением высоты боковых стоек с применением сварной конструкции. Анализ устойчивости крепей из профиля СВП для проверки и подтверждения их несущей способности при изменении стандартной конструкции выполнен на основе аналитических расчетов нагрузок на крепь и численного моделирования арочной металлической крепи с удлинением боковой стойки. Установлено, что удлинение боковой стойки с применением сварной конструкции отрезком профиля СВП высотой 0,4÷1,0 м с применением сварки не снижает характеристики работоспособности крепей при условии соблюдения требований к качеству сварного соединения. Отклонение от проектной высоты и соответствующее удлинение боковой стойки с применением сварной конструкции более 1,5 м не допускается.

Для цитирования: Кулаков А.В., Конурин А.И., Елгазинов Д.С., Шапошник Ю.Н. Усиление металлического рамного крепления на основе профиля СВП дополнительными отрезками боковых стоек // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 5 (165). С. 125-139. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-125-139, EDN: ESQKML

Устойчивое развитие горнотехнических систем требует непрерывного совершенствования геотехнологий подземной добычи руд [1,2]. Одним из основных трендов является потребность производств в принятии оптимальных решений в кратчайшие сроки [3,4]. Важным фактором обеспечения безопасности

горных работ является выбор рациональных типов крепи [5-7]. Продолжаются исследования, связанные с совершенствованием параметров рамных металлических крепей [8,9].

На сегодняшний день в сложных горно-геологических условиях в неустойчивых породах крепление капитальных выработок производится

в том числе и металлическими рамными крепями из профиля СВП (ГОСТ 18662 – 2023. Профили горячекатаные специальные взаимозаменяемые (СВП) для крепи горных выработок. Сортамент). На сегодняшний день промышленностью выпускаются трехзвенные, четырехзвенные и пятизвенные крепи с сечением крепи от 7,8 до 20,5 м², применяемый прокат – СВП17, СВП19, СВП22, СВП27 и СВП33 (ГОСТ 31560 – 2012. Крепи металлические податливые рамные. Крепь арочная. Общие технические условия).

Опыт ведения горных работ на свинцово-цинковом месторождении южного Казахстана, в частности при креплении выработок показал, что при проведении выработок большого сечения, в том числе камерных, достаточно сложно подобрать типоразмер рамной крепи. Так, максимальное сечение пятизвенной крепи из профиля СВП27 составляет 18,7 м², СВП22 – 15,4 м². При этом высота крепи достигает, соответственно, 4490 и 4130 мм, что часто бывает недостаточным при креплении камерных выработок. Закрепное пространство по контуру рамной крепи ограждается металлической сеткой, сетка проволочная из катанки с ячейкой 100×100 мм или 100×50 мм, диаметр проволоки 4 мм. Забутовка (или расклинка) рам с массивом производится пустой породой. Верхняк и две стойки соединяются хомутами. Ширина закрепного пространства по бортам выработки составляет 0,2 ÷ 0,3 м. С целью повышения высоты закрепляемого пространства рамами предложено удлинять боковую стойку отрезком профиля СВП27 высотой 0,4÷1,0 м с применением сварки (Рис. 1).

Для горного массива месторождения в районе тектонических разломов, сложенного аргиллитами и ритмитами, на глубине 350 м (уровень горизонта -80 м) при значении рейтинга Бартонa Q = 1,86 – слабого массива категории D, категории устойчивости по ПТЭ (Правила технической эксплуатации рудников, приисков и шахт, разрабатывающих месторождения цветных, редких и драгоценных металлов, М.: Недра, 1981) – IV категория устойчивости рекомендуется применение металлических рамных крепей, а также смешанной крепи (анкера + металлическая сетка + усиленный торкретбетон толщиной 5 см) [10–14].

Анализ устойчивости крепей из профиля СВП27 для проверки и подтверждения их несущей способности при изменении стандартной конструкции – удлинении боковой стойки отрезком профиля СВП27 с применением сварки выполнен путем аналитического расчета нагрузок на крепь [15,16] и численным моделированием арочной крепи из профиля СВП27 с удлинением боковой стойки.

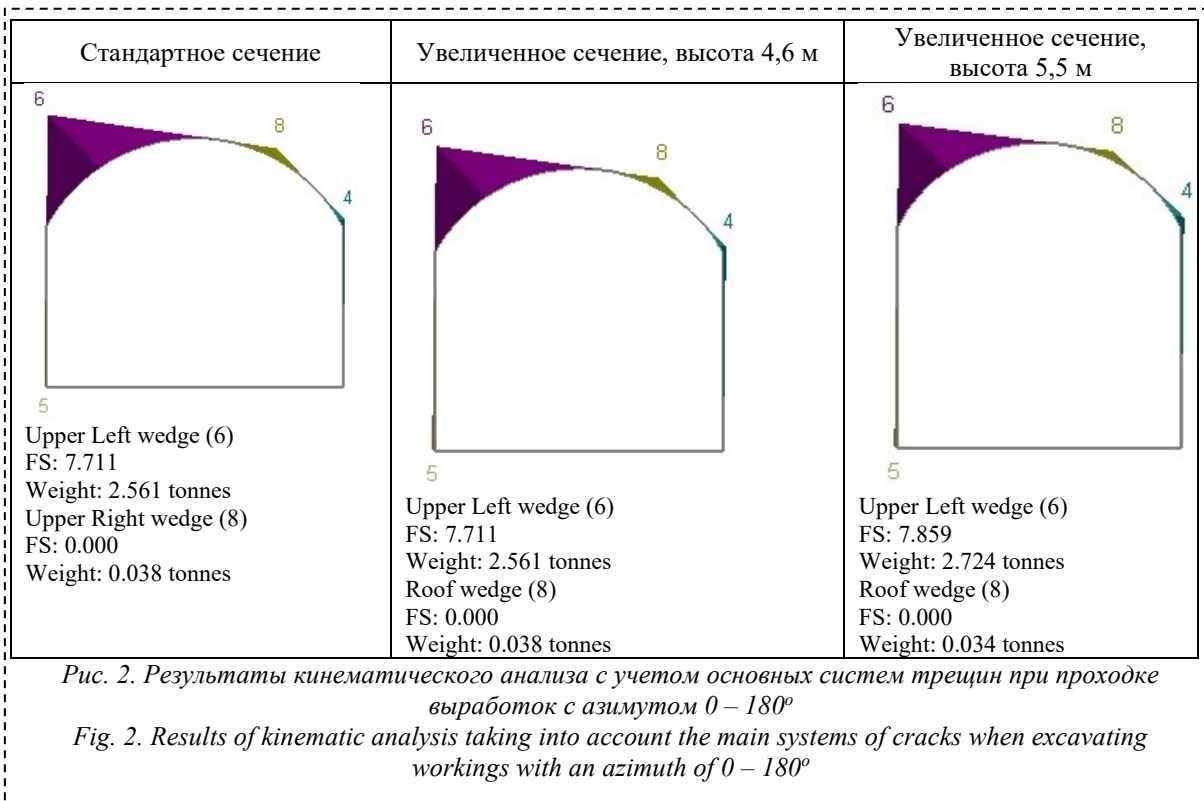
При аналитических расчетах тип крепи выбирают на основании величины смещения

пород и ширины выработки с учетом состояния пород ее кровли. По значениям внутренних усилий выбирается профиль крепи и определяется шаг ее установки в выработке. По расчетному моменту сопротивления сечения выбирается тип и номер профиля крепи с моментом сопротивления и площадью сечения. Далее профиль проверяется на прочность при изгибе в опасном сечении с максимальным изгибающим моментом с учетом нормальной силы, действующей в этом сечении.



Рис. 1. Удлинение боковой стойки рамной крепи отрезком профиля СВП27 с применением сварки
Fig. 1. Extension of the side post of the frame support with a section of SVP27 profile using welding

Кинематический анализ устойчивости выработок был выполнен с использованием средних ориентаций систем трещин. При анализе использовалась программа Unwedge, разработанная компанией Rocscience. При анализе использовалось стандартное сечение горной выработки S = 18,8 м² с габаритными размерами 4,65 × 3,85 м (ширина × высота), сечение с увеличенной высотой на 750 мм – габаритными размерами 4,65 × 4,60 м, сечение с увеличенной на 1650 мм высотой – габаритными размерами 4,65 × 5,50 м. В расчетах на основании деформационно-прочностных свойств пород к крупным системам трещин был применен угол трения трещины 35° и сцепление 10 т/м². Анализ проведенных расчетов показал формирование потенциальных тетраэдрических клиньев, которые могут образоваться в кровле, подошве и бортах. Клинья с коэффициентом запаса устойчивости (FS) ниже 1,0 считаются неустойчивыми, и для них требуется



дополнительное крепление. Из проанализированных клиньев обычно клинья в кровле создают наибольший риск для ведения горных работ.

Результаты кинематического анализа вывалов в программе Unwedge показали, что все неустойчивые клинья в кровле – небольшого размера и весом, по большей части, менее 10 т (Рис. 2).

В соответствии с выполненными расчетами для конкретных горно-геологических условий подземного рудника установлено, что для выработки сечением $S_{св} = 18,8 \text{ м}^2$ (ширина в свету 4,65 м и высота 3,85 м) на глубине 350 м крепление рамами СВП27 с шагом 1,0 м обеспечивает требуемую устойчивость с коэффициентом запаса (FS) не менее 1,3. Отклонение от проектной высоты и соответствующее удлинение боковой стойки с применением сварной конструкции более 1,5 м не допускается.

Численное моделирование арочной крепи из профиля СВП27 с удлинением боковой стойки

Цель численного исследования – прочностной анализ крепей из профиля СВП27 конечно-элементным моделированием для проверки и подтверждения их несущей способности при изменении стандартной конструкции – удлинении боковой стойки отрезком профиля СВП27 с применением сварки.

Для выполнения математического моделирования методом конечных элементов (МКЭ) разработаны параметрические твердотельные модели арочных податливых

крепей из профиля СВП27 (два варианта конструкции: стандартная и с удлинением боковой стойки) с максимальным учетом их конструктивных особенностей, в том числе податливых узлов, согласно техническому паспорту. Расчетами установлены области и элементы крепей, в которых при принятой схеме нагружения наиболее вероятно ожидать максимальную концентрацию механических напряжений, в том числе зоны, где превышен предел текучести материала крепи (прогнозируются разрушения), оказывающих в целом основное влияние на их несущую способность, сопротивление крепи и работоспособность (прочность, надежность). Расчетная схема учитывает основные геологические, горнотехнические и геомеханические данные [17].

Установлено, что надежность применения крепей определяется главным образом, прочностью (работоспособностью) податливого узла. При этом максимальная несущая способность выделенных типов крепей обеспечивается в жестком режиме. Прогнозная прочностная оценка арочных податливых крепей из профиля СВП27 дает полное представление о их напряженно-деформированном состоянии (НДС), условиях работы элементов крепи и, соответственно, несущей способности (прочности). Выполненные численные расчеты в большей степени направлены на выявление уязких, «проблематичных» с позиции потери прочности элементов крепи с целью поиска и установления надежного конструктива (отсутствие отказа), обеспечивающего

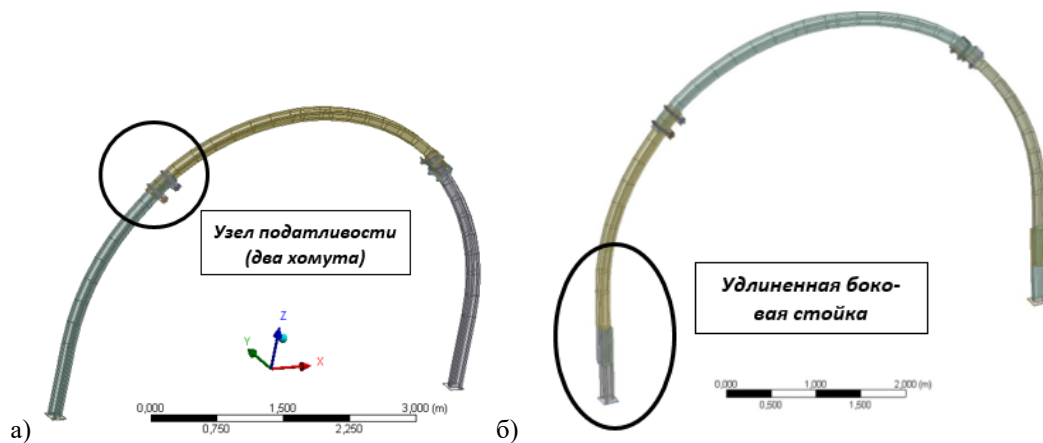


Рис. 3. Общий вид параметрической модели крепи из профиля СВП27 стандартной конструкции (а) и с удлинением боковой стойки (б)

Fig. 3. General view of the parametric model of support from the SVP27 profile of the standard design (a) and with an extension of the side post (b)

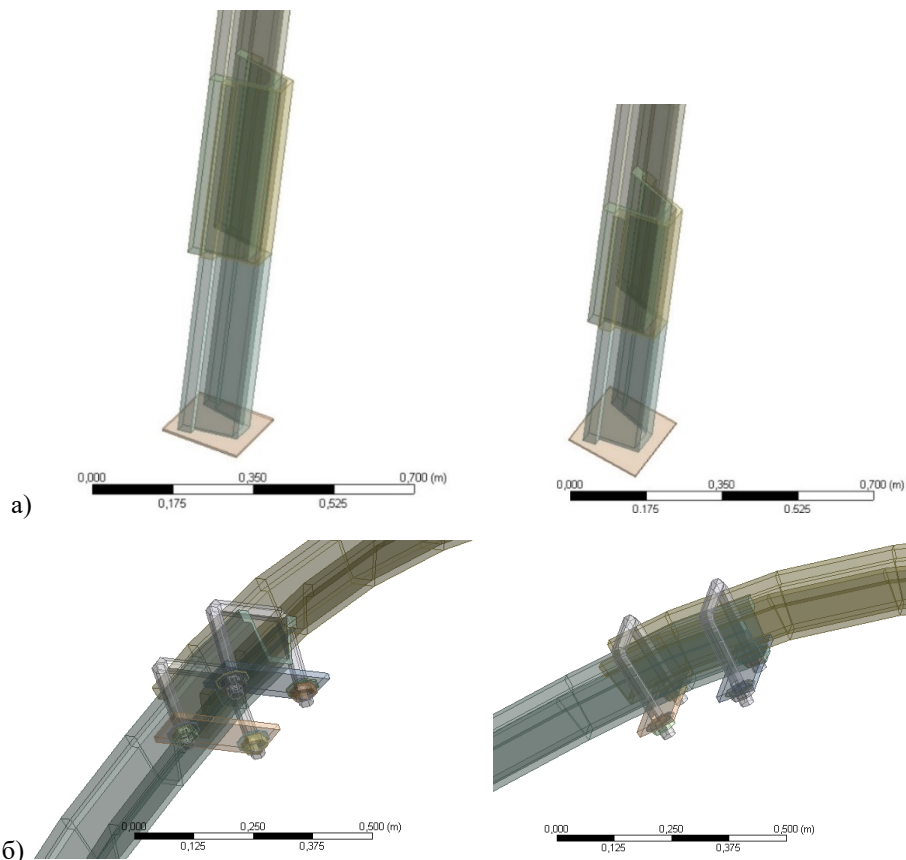


Рис. 4. Конструкция удлиненной боковой стойки крепи из профиля СВП27 (а) и узел податливости параметрической модели крепи из профиля СВП27 (б)

Fig. 4. Design of an elongated side pillar of the support made from the SVP27 profile (a) and the compliance unit of the parametric model of the support from the SVP27 profile (b)

требуемые значения несущей способности и сопротивления крепи.

Основные положения, реализуемые при численном моделировании крепи

Первым этапом явилось построение параметрических моделей крепей из профиля СВП27 стандартной конструкции и с удлинением боковой стойки (Рис. 3),

максимально учитывающих конструктивные параметры (Рис. 4), согласно исходным данным по размерам крепей и их элементов. Вторым этапом явилось выполнение математического моделирования НДС конструкции крепей (проведение структурного прочностного анализа) методом конечных элементов с использованием лицензионного программного

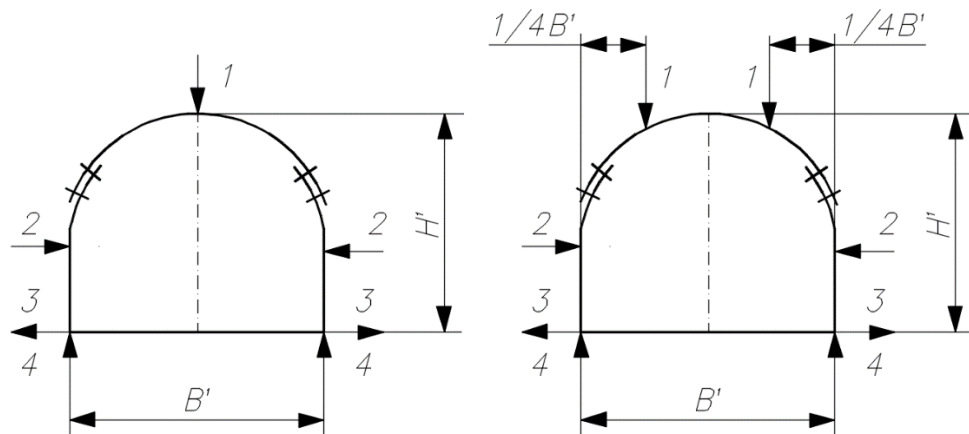


Рис. 5. Схемы нагружения крепей: 1 – активные нагрузки; 2 – боковой пассивный распор; 3, 4 – реакции опор

Fig. 5. Support loading schemes: 1 – active loads; 2 – lateral passive thrust; 3, 4 – support reactions

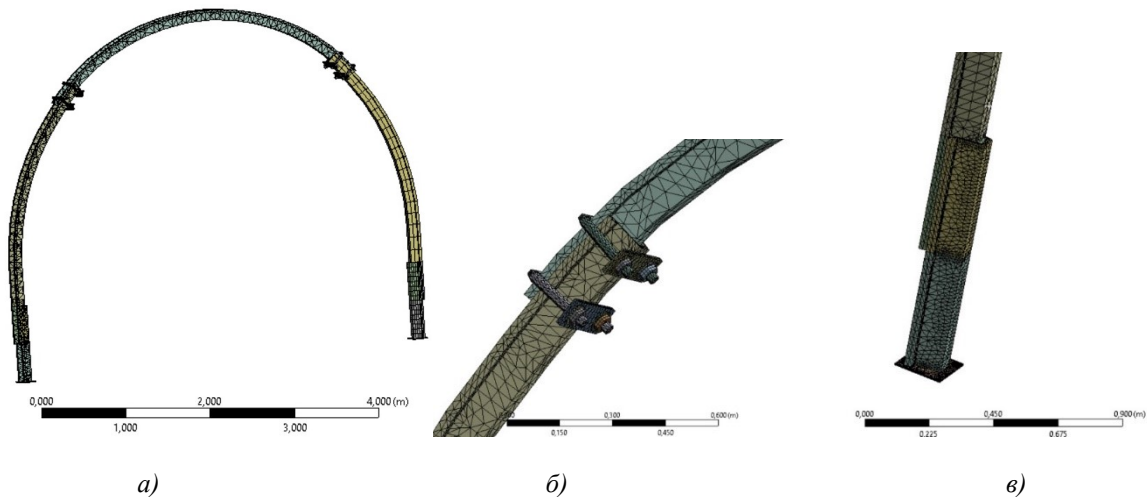


Рис. 6. Дискретизация расчетной области на конечные элементы: а – общий вид модели крепи из профиля СВП27 с удлинением боковой стойки, б – податливый узел, в – удлиненная боковая стойка

Fig. 6. Discretization of the computational domain into finite elements: а – general view of the support model from the SVP27 profile with an extension of the side post, б – compliant unit, в – extended side post

обеспечения ANSYS для определения основных технических показателей, характеризующих их несущую способность, сопротивление и работоспособность (прочность, надежность) согласно [18,19], а также дополнительные расчеты.

Численные решения по установлению НДС конструкций крепей выполнены с использованием математической модели упругой среды (НДС устанавливается в пределах упругости). Последнее обуславливается тем, что испытания крепей по ГОСТ Р 50910-96 (Крепи металлические податливые рамные. Методы испытаний) производятся в пределах упругости, а также выбор и обоснование деформирования конструкции крепей по линейной прямопропорциональной зависимости «напряжение σ – деформация ε » (по закону Гука) основаны на предположении, что крепь в процессе эксплуатации должна обеспечивать сохранение

площади поперечного сечения выработки. В штатных условиях эксплуатации крепи развитие пластических деформаций (металл течет) недопустимо, так как это приведет к существенному изменению формы крепи в выработке, что затруднит ее эксплуатацию (работу горнорабочих, транспорта). Но при этом следует отметить, что развитие пластических (неупругих) деформаций в элементах крепи не означает полную потерю ею несущей способности, т.е. крепь обладает ей, но при этом она деформируется таким образом, что становится небезопасно эксплуатировать выработку (поперечные размеры выработки не соответствуют безопасным зазорам и габаритам горных машин).

Одним из основных элементов крепи является податливый узел (подвижный элемент, малые перемещения), поэтому в расчете ведется учет контактного взаимодействия (условия

поведения контактной поверхности). В рассматриваемой модели применяется контакт с трением: он допускает скольжение с пропорциональным сопротивлением, определяемым коэффициентом трения, и с возможностью свободного разделения без сопротивления.

Несущая способность, сопротивление крепей и в целом их работоспособность (прочность) устанавливалась путем сопоставления эквивалентных напряжений теории Мизеса, характеризующей объемное сложное НДС с пределом текучести исследуемого материала крепи.

Свойства материалов крепей приняты по техническим характеристикам типовых параметров изделий, предоставленных их производителем из стали марки Ст5сп:

- предел текучести – 295 Н/мм² (МПа);
- модуль упругости – 200 ГПа;
- коэффициент Пуассона – 0,3;
- плотность – 7850 кг/м³.

Постановка задачи и краевые условия

При математическом моделировании методом МКЭ постановка задачи о напряженно-деформированном состоянии элементов крепей, как отмечалось выше, основывалась на линейной зависимости напряжений-деформаций, т.е. в рамках теории упругости. Краевые условия в виде действующих нагрузок (сосредоточенных вертикальных сил) и ограничений (боковой пассивный распор и закрепление опорных плит стоек) в рассматриваемых типах крепей принимались согласно [20,21] (Рис. 5).

При выполнении расчетов определялись следующие характеристики крепи: несущая способность — предельная вертикальная нагрузка в жестком режиме работы с заблокированными узлами податливости, кН/раму; сопротивление крепи — значение верхнего пика нагрузки в податливом режиме работы, кН/раму; наработка до отказа — максимальный прогиб верхняка после исчерпания податливости, мм; вертикальная податливость (общая) — величина, на которую уменьшается первоначальная высота рамы при работе податливой крепи до исчерпания податливости, мм.

Дискретизация расчетной области на конечные элементы показана на Рис. 6.

Следует отметить, что переход из податливого режима работы крепи в жесткий на практике осуществляется блокированием узлов податливости [22]. В основном это реализуется затяжкой резьбовых соединений на хомутах (также возможно исчерпание податливости за счет усадки верхняка до его распора со стойками). Другими словами, в расчетах сдвига в податливом узле не прекращаются, хотя и уменьшаются до незначительных величин. В расчете границей податливости

приняты нагрузки, приращение которых на 10 кН соответствует сдвигению в податливом узле примерно на 1 мм. После этого происходит блокировка узлов податливости (имитация затяжки резьбовых соединений хомутов). Далее с учетом результатов расчетов в режиме податливости выполняется расчет в жестком режиме работы крепи (т.е. деформации крепи в податливом режиме учитываются в новом расчете).

Результаты расчетов НДС элементов крепей приводятся в виде картин изолиний, эквивалентных по Мизесу, а также главных максимальных и минимальных напряжений. За эквивалентное напряжение по Мизесу принималось σ_{eq} , за максимальное главное – σ_1 , за минимальное – σ_3 , сдвиговое усилие – τ_{max} .

Напряжения σ_{eq} характеризуют сложное напряженное состояние для материалов, имеющих близкие пределы прочности на сжатие и растяжение (к чему относятся сталь), σ_1 – позволяют определить места концентраций сжимающих напряжений, σ_3 – области массива, в которых действуют растягивающие напряжения; τ_{max} – устанавливают зоны, где возможны разрушения за счет возникновения критических сдвигающих усилий (вязкое разрушение), данному разрушению всегда предшествует развитие заметных пластических (неупругих) деформаций.

Критерий для оценки прочности крепей

Для установления несущей способности, сопротивления крепи и условий их работоспособности принята четвертая теория прочности, эффективно зарекомендовавшая себя при прочностном анализе конструкций, изготовленных из металлов. Согласно данной теории сложное объемное НДС конструкций оценивается через эквивалентные напряжения теории Мизеса:

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}, \quad (1)$$

где σ_{eq} – интенсивность напряжений по Мизесу; σ_1 , σ_2 и σ_3 – главные максимальные, промежуточные и минимальные напряжения, полученные из упругого решения.

Считается, что пластичность (текучесть) материала наступает тогда, когда интенсивность напряжений по Мизесу превышает предел текучести $\sigma_{0,2}$ материала (критерий Мизеса применим к расчету пластических зон в металлических конструкциях):

$$\sigma_{eq} \geq \sigma_{0,2} \quad (2)$$

В качестве предельных напряжений при оценке прочности крепей принимается предел текучести $\sigma_{0,2}$ металла при рабочей температуре, равный 295 МПа.

Для надежной работы (работоспособности) конструктивных элементов рассматриваемых

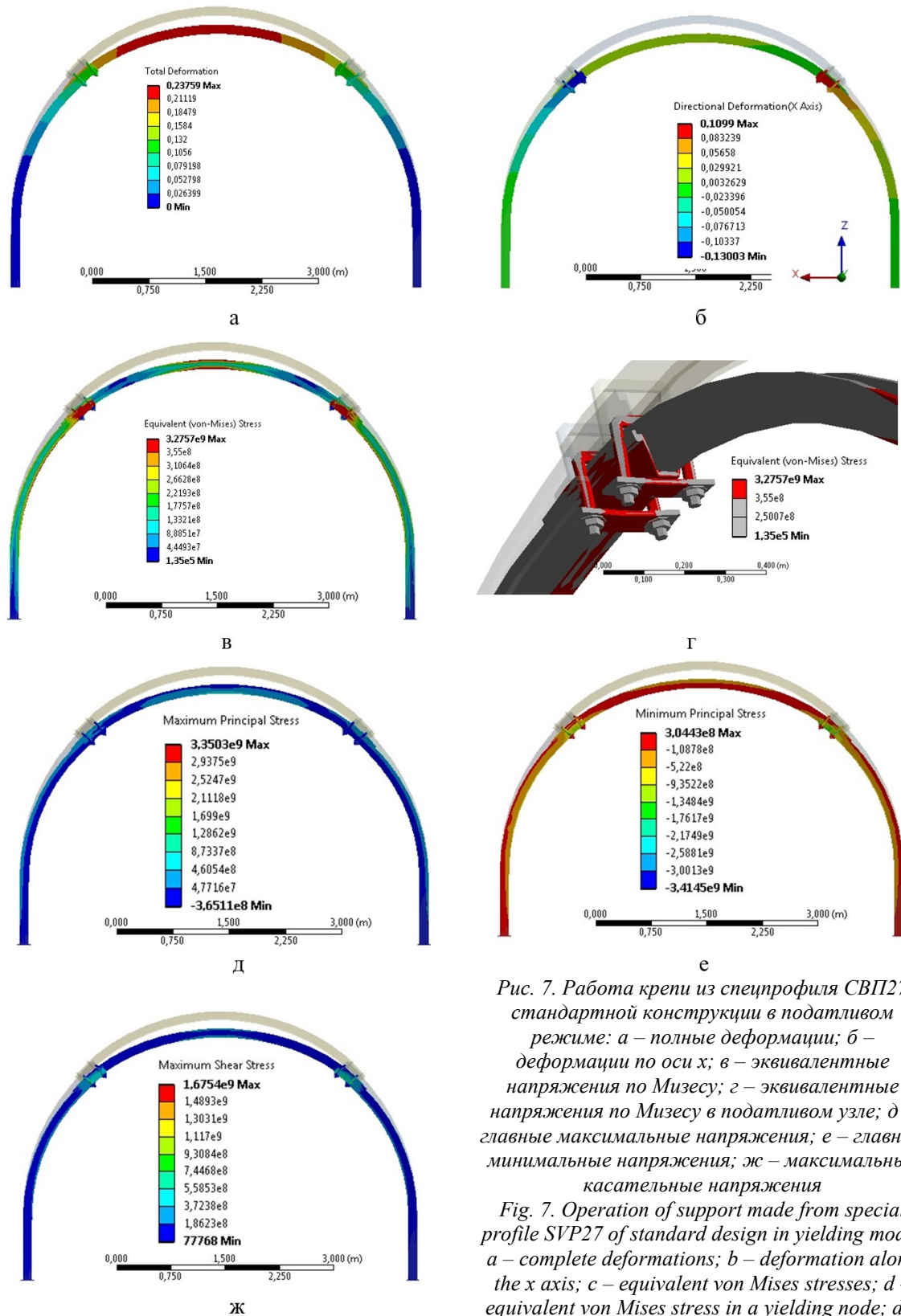


Рис. 7. Работа крепи из спецпрофиля СВП27 стандартной конструкции в податливом режиме: а – полные деформации; б – деформации по оси x; в – эквивалентные напряжения по Мизесу; г – эквивалентные напряжения по Мизесу в податливом узле; д – главные максимальные напряжения; е – главные минимальные напряжения; ж – максимальные касательные напряжения

Fig. 7. Operation of support made from special profile SVP27 of standard design in yielding mode: a – complete deformations; b – deformation along the x axis; c – equivalent von Mises stresses; d – equivalent von Mises stress in a yielding node; e – main maximum stresses; e – main minimum stresses; g – maximum shear stress

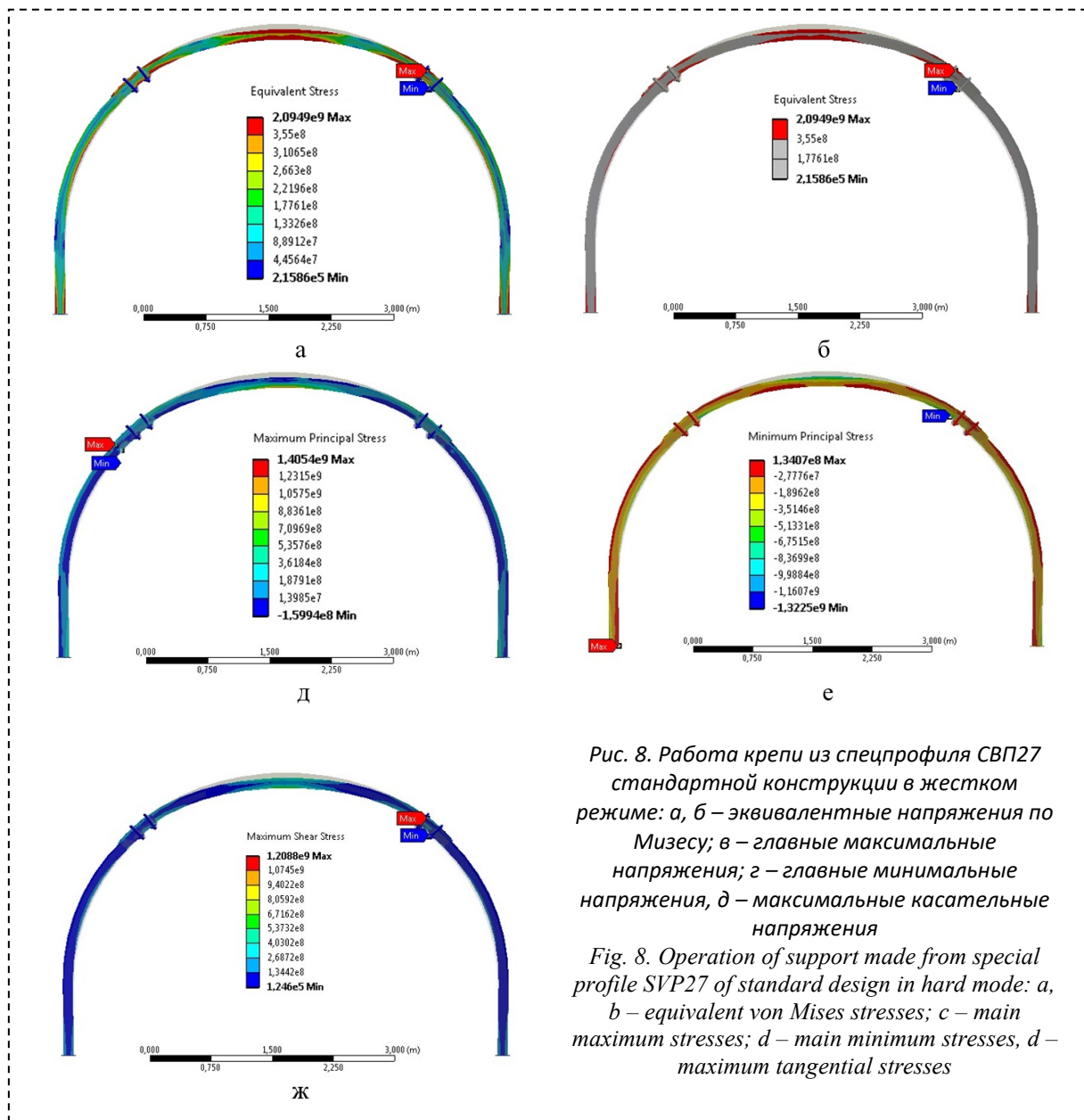


Рис. 8. Работа крепи из спецпрофиля СВП27 стандартной конструкции в жестком режиме: а, б – эквивалентные напряжения по Мизесу; в – главные максимальные напряжения; г – главные минимальные напряжения, д – максимальные касательные напряжения

Fig. 8. Operation of support made from special profile SVP27 of standard design in hard mode: a, b – equivalent von Mises stresses; c – main maximum stresses; d – main minimum stresses, d – maximum tangential stresses

видов арочных крепей нежелательно появление в них весьма обширных зон пластических деформаций. То есть оценку несущей способности крепи необходимо осуществлять на наличие так называемых «пластических шарниров» – сечение конструктивного элемента, полностью находящегося в пластическом состоянии (предельное состояние сечения конструкции, при котором напряжения по всему сечению равны или более предела текучести материала). Анализ наиболее напряженных сечений конструкции крепи позволяет определить наличие или отсутствие зон текучести (пластичности) и характер их образования (обширные пересекающиеся зоны текучести, охватывающие все поперечное сечение элемента или участки пластичности, размеры которых распространяются не на все поперечное сечение

элемента, сохраняя несущую способность и работоспособность).

В связи с этим, как было отмечено выше, в качестве опасного напряжения принимается предел текучести металла $\sigma_{0,2}$.

Результаты расчетов коэффициентов запаса прочности крепей по теории Мизеса приводятся в виде отрисованных зон возможных пластических деформаций (участков разрушений). На рисунках эти зоны выделены красным цветом.

Результаты моделирования НДС и прочности крепи из спецпрофиля СВП27

На Рис. 7 показана работа крепи из спецпрофиля СВП27 стандартной конструкции в податливом режиме, на Рис. 8 – в жестком. Установлено, что при нагрузке 310 кН происходит переход крепи в жесткий режим работы (согласно принятым допущениям). Таким

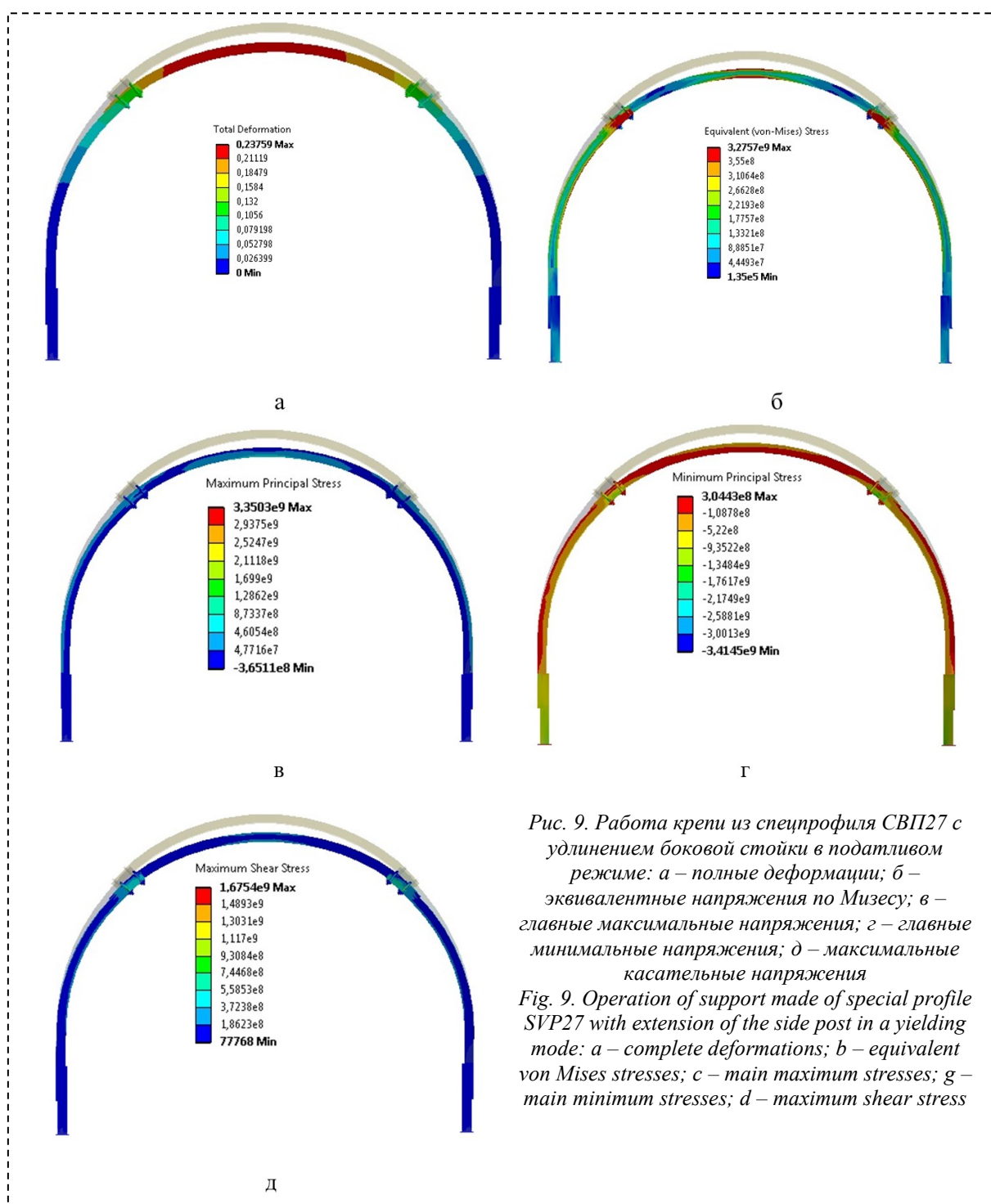


Рис. 9. Работа крепи из спецпрофиля СВП27 с удлинением боковой стойки в податливом режиме: а – полные деформации; б – эквивалентные напряжения по Мизесу; в – главные максимальные напряжения; г – главные минимальные напряжения; д – максимальные касательные напряжения

Fig. 9. Operation of support made of special profile SVP27 with extension of the side post in a yielding mode: a – complete deformations; b – equivalent von Mises stresses; c – main maximum stresses; g – main minimum stresses; d – maximum shear stress

образом, сопротивление крепи составляет 310 кН. Вертикальная податливость на этот момент находится на уровне 240 мм (Рис. 7, а), горизонтальная податливость (Рис. 7, б) – 160 мм (80 мм податливость одной стойки). Далее выполнен расчет крепи в жестком режиме (выполнено закрепление узла податливости).

Наработка до отказа (максимальный прогиб верхняка) – 69 мм (предел текучести 295 кН) (Рис. 8, а). Несущая способность (предельная вертикальная нагрузка в жестком режиме) – 420 кН (Рис. 8, б, в, г).

На Рис. 9 показана работа крепи из спецпрофиля СВП-27 с удлинением боковой стойки в податливом режиме, на Рис. 10 – в жестком режиме. Установлено, что независимо от длины стойки при нагрузке 310 кН происходит переход крепи в жесткий режим работы (согласно принятым допущениям). Таким образом, сопротивление крепи составляет 310 кН. Вертикальная податливость на этот момент находится на уровне 240 мм (Рис. 9, а), горизонтальная податливость – 160 мм (80 мм податливость одной стойки). Далее выполнен расчет крепи в жестком режиме (выполнено

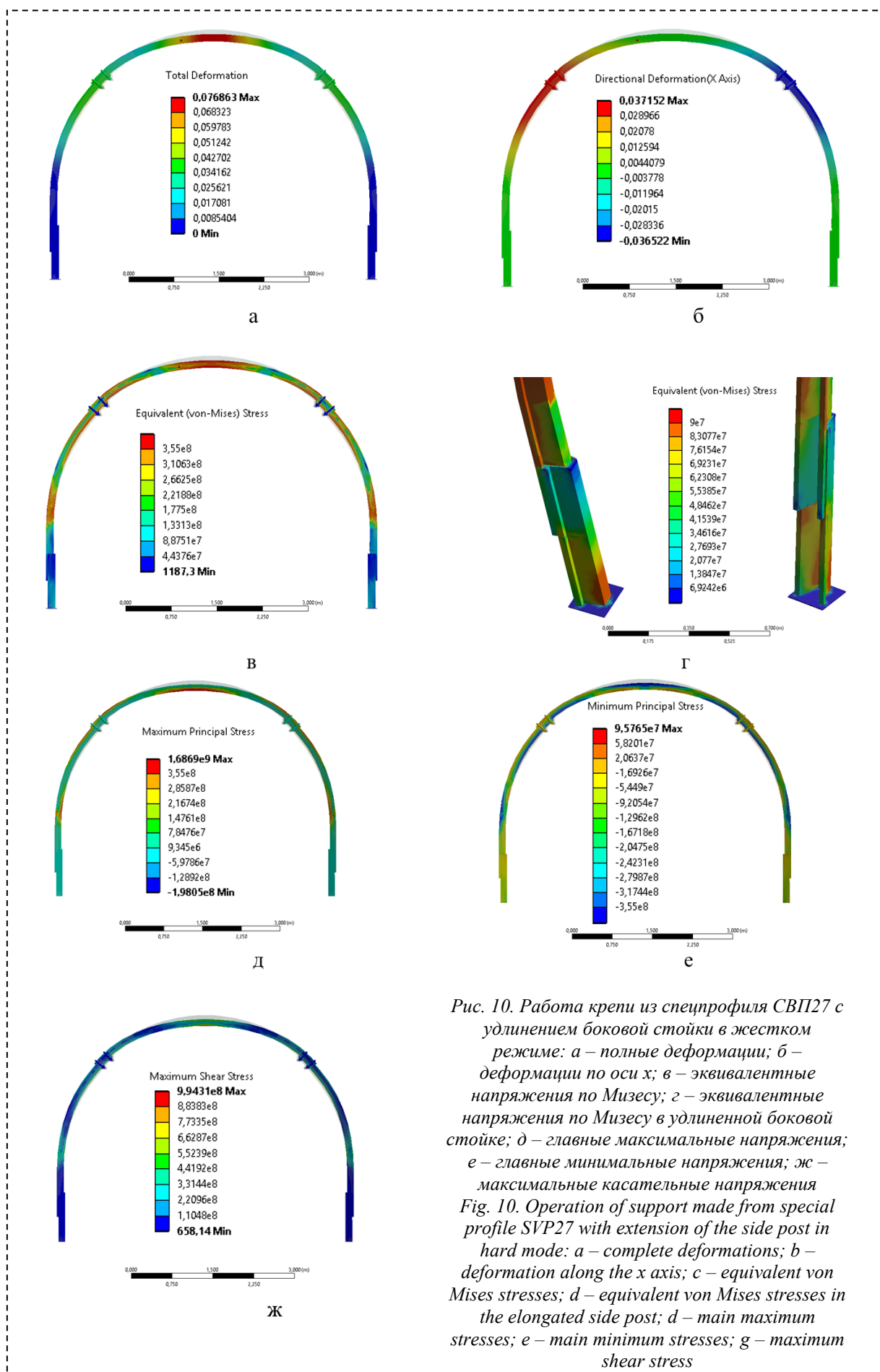


Рис. 10. Работа крепи из спецпрофиля СВП27 с удлинением боковой стойки в жестком режиме: а – полные деформации; б – деформации по оси x; в – эквивалентные напряжения по Мизесу; г – эквивалентные напряжения по Мизесу в удлиненной боковой стойке; д – главные максимальные напряжения; е – главные минимальные напряжения; ж – максимальные касательные напряжения
 Fig. 10. Operation of support made from special profile SVP27 with extension of the side post in hard mode: a – complete deformations; b – deformation along the x axis; c – equivalent von Mises stresses; d – equivalent von Mises stresses in the elongated side post; d – main maximum stresses; e – main minimum stresses; g – maximum shear stress

Таблица. Основные характеристики работоспособности крепей
Table. Main performance characteristics of supports

Конструкция крепи	Стандартная	С удлинением боковой стойки
Несущая способность, кН/раму	420	420
Сопротивление крепи, кН/раму	310	310
Наработка до отказа, мм	69	76
Вертикальная податливость, мм	240	240
Горизонтальная податливость, мм	160	160

закрепление узла податливости). Нароботка до отказа (максимальный прогиб верхняка) – 76 мм (Рис. 10, а). Несущая способность (предельная вертикальная нагрузка в жестком режиме) – 420 кН (Рис. 10, б, в). Максимальные напряжения в узле удлиненной боковой стойки ниже, чем в стойке без удлинения, за счет увеличенной толщины узла (Рис. 10, г).

Выводы

По результатам проведенного прочностного анализа методом МКЭ были определены следующие характеристики арочных крепей из профиля СВП27 стандартной конструкции и с удлинением боковой стойки:

- несущая способность – предельная вертикальная нагрузка в жестком режиме работы с заблокированными узлами податливости, кН/раму;
- сопротивление крепи – значение верхнего пика нагрузки в податливом режиме работы, кН/раму;
- наработка до отказа – максимальный прогиб верхняка после исчерпания податливости, мм;
- вертикальная податливость (общая) – величина, на которую уменьшается первоначальная высота рамы при работе податливой крепи до исчерпания податливости, мм.

Результаты моделирования представлены в Таблице.

Максимальные напряжения в узле удлиненной боковой стойки ниже, чем в стойке без удлинения, за счет увеличенной толщины узла.

Заключение

Таким образом, удлинение боковой стойки с применением сварной конструкции отрезком профиля СВП27 высотой 0,4÷1,0 м с применением сварки не снижает характеристики работоспособности крепей при условии соблюдения требований к качеству сварного соединения. Отклонение от проектной высоты и соответствующее удлинение боковой стойки с применением сварной конструкции более 1,5 м не допускается. Также рекомендуется бетонирование боковых стоек металлической рамной крепи на высоту около 1,0 м без уменьшения сечения выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каплунов Д. Р., Айнбиндер И. И., Федотенко В. С., Юков В. А. Актуальные геотехнологии подземной добычи руд, проблемы устойчивого развития и перехода к новому технологическому укладу // Горный журнал. 2021. № 9. С. 4–11.
2. Малахов Ю. В., Никитенко С. М., Фрянов В. Н. Предотвращение горно-геологических рисков обрушений пород кровли при проходке подземных горных выработок // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 6 (170). С. 60–69.
3. Шабаров А. Н., Куранов А. Д. Основные направления развития горнодобывающей отрасли в условиях горно-геологических условий ведения горных работ // Горный журнал. 2023. № 5. С. 5–10.
4. Трофимов А. В., Румянцев А. Е., Андреев А. А. Применение методов прочностного анализа для обоснования технических средств обеспечения устойчивости горных выработок при отработке рудных месторождений подземным способом // В сб.: Безопасность труда и эффективность производства горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки. 2016. С. 85–93.
5. Королев М. К., Малахов Ю. В., Никитенко С. М., Вайс И. Крепи сопряжений: состояние и тенденции развития // Горная промышленность. 2023. № S2. С. 95–100.
6. Zhang P., Ji X., Li Y., Xu M., Yao B., Zhang C. Study on permeability evolution law of rock mass under mining stress // Water. 16. 1409. 202410.3390/w16101409.
7. Трушко В. Л., Баева Е. К. Обоснование рациональных параметров крепи комплекса горных выработок, проводимых в сложных горно-геологических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 12. С. 55–69.
8. Утегенов А. М., Жардемов К. Ж. Применение отходов СВП-22 для изготовления элементов крепления горных выработок // Вестник науки. 2020. Т. 1. № 1 (22). С. 370–373.
9. Тайлаков А. О. Разработка инновационных вариантов крепления выработок, пройденных по почве мощного пологого пласта в условиях шахты

«Сибиргинская» // В сб.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Новокузнецк, 2022. С. 169–173.

10. Макаров А. Б. Практическая геомеханика: пособие для горных инженеров. М. : Горная книга, 2006. 391 с.

11. Неверов С. А., Шапошник Ю. Н., Неверов А. А., Конуринов А. И. Об интеграции отечественных и зарубежных классификаций устойчивости массива пород для обоснования крепления горных выработок // Горный журнал. 2022. № 1. С. 56–61.

12. Жирнов А. А., Абдрахманов С. У., Шапошник Ю. Н., Конуринов А. И. Оценка устойчивости массива горных пород и выбор типа и параметров крепления выработок на Орловском полиметаллическом месторождении // Горный журнал. 2018. № 3. С. 51–57.

13. Hui Lu, Eunhye Kim, Marte Gutierrez. Monte Carlo simulation (MCS)-based uncertainty analysis of rock mass quality Q in underground construction // Tunnelling and Underground Space Technology. 2019. 94. 103089.

14. Li C., Zhou J., Armaghani D. J., Cao W., Yagiz S. Stochastic assessment of hard rock pillar stability based on the geological strength index system // Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources. 2021. № 7(2). P. 47.

15. Deere D. U., Deere DW. The rock quality designation (RQD) Index in practice // Rock Classification Systems for Engineering Purposes, ASTM STP 984, American Society for Testing and Materials, Philadelphia. 1988. Pp. 91–101.

16. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи. М. : Стройиздат, 1983. 272 с.

17. Семенова И.Э., Константинов К.Н.,

Кулькова М.С. Оценка напряженно-деформированного состояния массива пород в окрестности подземных выработок глубокого заложения комплексом инструментальных и численных методов // Горный журнал. 2024. № 1. С. 22–28.

18. Шаламанов В. А., Першин В. В., Будников П. М., Сабанцев А. Б. Выбор и расчет крепей и обделок подземных сооружений: учеб. пособие. Кемерово : Кузбас. гос. техн. ун-т, 2010. 142 с.

19. Фрейдин А. М., Неверов С. А., Неверов А. А., Конуринов А. И. К обоснованию выбора и определению параметров геотехнологий добычи руд с учетом вида напряженно-деформированного состояния горных пород // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2017. Т. 4. № 3. С. 180–185.

20. Johnson Ha, Bryan S.A. Tatone, Giuseppe M. Gaspari, Giovanni Grasselli. Simulating tunnel support integrity using FEM and FDEM based on laboratory test data // Tunnelling and Underground Space Technology. 2021. 111. 103848.

21. Акпанбаева А. Г., Рысмагамбетов М. К. Исследование технологических решений, связанных с укреплением устойчивости кровли // В сборнике: Современные тенденции и инновации в науке и производстве. Материалы XII Международной научно-практической конференции. Редколлегия: Т. Н. Гвоздкова (отв. редактор), С. О. Марков [и др.]. Междуреченск, 2023. С. 106.1–106.8.

22. Байкенжин М. А., Асанова Ж. М. Повышение несущей способности шахтной рамной крепи путем применения усилителей профилей металлического проката // Горный журнал. 2021. № 5. С. 58–62.

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Кулаков Андрей Васильевич, аспирант, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, e-mail: kulakov@misd.ru

Конуринов Антон Игоревич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, ORCID: 0000-0003-3373-2382, e-mail: konurinov@misd.ru

Елгазинов Данияр Серыкканович, начальник горного отдела, ТОО «Георесурс Инжиниринг», 070014, Республика Казахстан, область Восточно-Казахстанская, город Усть-Каменогорск, ул. Мызы, д. 1Г, e-mail: nsa7979@yandex.ru

Шапошник Юрий Николаевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, ORCID: 0000-0002-5425-0158, e-mail: shaposhnikyury@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Кулаков Андрей Васильевич – сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы.

Конурин Антон Игоревич – написание текста, выводы.

Елгазинов Данияр Серыкканович – постановка исследовательской задачи, сбор и анализ данных.

Шапошник Юрий Николаевич – концептуализация исследования, научный менеджмент, выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

REINFORCING THE METAL FRAME MOUNTING ON THE BASE SVP PROFILE WITH ADDITIONAL LENGTHS OF SIDE POSTS

Andrey V. Kulakov¹, Anton I. Konurin^{1*},
Daniyar S. Elgazinov², Yuri N. Shaposhnik¹

¹ N.A. Chinakal Institute of Mining SB RAS

² Limited Liability Partnership "Georesurs Engineering"

*E-mail: konurin@misd.ru



Article info

Received:

27 May 2024

Accepted for publication:

29 September 2024

Accepted:

10 October 2024

Published:

24 October 2024

Keywords: Fastening of excavations, arched metal supports, mathematical modeling, stress-strain state of support elements.

Abstract.

Increasing the depth of mining operations leads to an increase in rock pressure and necessitates improving the technologies for maintaining mine workings. At the same time, changing mining and technical conditions of development require prompt changes in the lining parameters, and at most mining enterprises, the cycles of purchasing and delivering new materials take a long time. The article considers the issues of lining large cross-section mine workings with metal frame supports made of SVP profile. The experience of mining in unstable rocks shows that when conducting large cross-section workings, it is quite difficult to select the required size of frame support, and one of the possible options for lining in such conditions is to strengthen the lining with additional side supports. Mathematical modeling of the proposed lining design was performed using the finite element method within the framework of elasticity theory. The main performance characteristics of linings of a standard design and with an increase in the height of the side supports using a welded structure were calculated. The stability analysis of supports made of SVP profile for checking and confirming their bearing capacity when changing the standard design is performed based on analytical calculations of support loads and numerical modeling of arched metal support with extension of the side post. It was found that extension of the side post using a welded structure by a section of SVP profile 0.4÷1.0 m high using welding does not reduce the performance characteristics of the supports, provided that the quality requirements for the welded joint are met. Deviation from the design height and corresponding extension of the side post using a welded structure by more than 1.5 m is not allowed.

For citation: Kulakov A.V., Konurin A.I., Elgazinov D.S., Shaposhnik Yu.N. Reinforcing the metal frame mounting on the base SVP profile with additional lengths of side posts. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 5(165):125-139. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-125-139, EDN: ESQKML

REFERENCES

1. Kaplunov D.R., Aynbinder I.I., Fedotenko V.S., Yukov V.A. Aktual'nyye geo-tekhnologii podzemnoy dobychi rud, problemy ustoychivogo razvitiya i perekhoda k novomu tekhnologicheskomu ukladu. *Gornyi Zhurnal*. 2021; 9:4–11.

2. Malakhov Yu.V., Nikitenko S.M., Fryanov V.N. Predotvrashcheniye gorno-geologicheskikh riskov obrusheniy porod krovli pri prokhodke podzemnykh gornykh vy-rabotok. *Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika*. 2023; 6(170):60–69.

3. Shabarov A.N., Kuranov A.D. Osnovnyye napravleniya razvitiya gornodobyvayu-shchey otrasli v uslozhnyayushchikhsya gornotekhnicheskikh usloviyakh vedeniya gornykh rabot. *Gornyy Zhurnal*. 2023; 5:5–10.
4. Trofimov A.V., Rumyantsev A.Ye., Andreyev A.A. Primeneniye metodov prochnost-nogo analiza dlya obosnovaniya tekhnicheskikh sredstv obespecheniya ustoychivosti gornykh vyrabotok pri otrabotke rudnykh mestorozhdeniy podzemnym sposobom. *V sb.: Bezopasnost' truda i effektivnost' proizvodstva gornodobyvayushchikh predpriyatiy s podzemnym sposobom razrabotki*. 2016. S. 85–93.
5. Korolev M.K., Malakhov Yu.V., Nikitenko S.M., Vays I. Krepi sopryazheniy: sostoyaniye i tendentsii razvitiya. *Gornaya promyshlennost'*. 2023; S2:95–100.
6. Zhang P., Ji X., Li Y., Xu M., Yao B., Zhang C. Study on permeability evolution law of rock mass under mining stress. *Water*. 16. 1409. 202410.3390/w16101409.
7. Trushko V.L., Bayeva Ye.K. Obosnovaniye ratsional'nykh parametrov krepi kom-pleksa gornykh vyrabotok, provodimykh v slozhnykh gorno-geologicheskikh usloviyakh. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*. 2023; 12:55–69.
8. Utegenov A.M., Zhardemov K.ZH. Primeneniye otkhodov SVP-22 dlya izgotovleniya elementov krepleniya gornykh vyrabotok. *Vestnik nauki*. 2020; 1(1(22)):370–373.
9. Taylakov A.O. Razrabotka innovatsionnykh variantov krepleniya vyrabotok, proydenykh po pochve moshchnogo pologogo plasta v usloviyakh shakhty «Sibirginskaya». *V sb.: Nauka i molodezh': problemy, poiski, resheniya. trudy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*. Novokuznetsk. 2022. S. 169–173.
10. Makarov A.B. Prakticheskaya geomekhanika: posobiye dlya gornykh inzhenerov. M.: Gornaya kniga; 2006. 391 s.
11. Neverov S.A., Shaposhnik YU.N., Neverov A.A., Konurin A.I. Ob integratsii otechestvennykh i zarubezhnykh klassifikatsiy ustoychivosti massiva porod dlya obosnovaniya krepleniya gornykh vyrabotok. *Gornyy Zhurnal*. 2022; 1:56–61.
12. Zhirnov A.A., Abdrakhmanov S.U., Shaposhnik YU.N., Konurin A.I. Otsenka ustoychivosti massiva gornykh porod i vybor tipa i parametrov krepleniya vyrabotok na Orlovskom polimetallicheskom mestorozhdenii. *Gornyy Zhurnal*. 2018; 3:51–57.
13. Hui Lu, Eunhye Kim, Marte Gutierrez, 2019. Monte Carlo simulation (MCS)-based uncertainty analysis of rock mass quality Q in underground construction. *Tunnelling and Un-derground Space Technology*. 2019; 94:103089.
14. Li C., Zhou J., Armaghani D.J., Cao W., Yagiz S. Stochastic assessment of hard rock pillar stability based on the geological strength index system. *Geomechanics and Geo-physics for Geo-Energy and Geo-Resources*. 2021; 7(2):47.
15. Deere D.U., Deere D.W. The rock quality designation (RQD) Index in practice. *Rock Classification Systems for Engineering Purposes*. ASTM STP 984, American Society for Testing and Materials, Philadelphia. 1988 P. 91–101.
16. Rukovodstvo po proyektirovaniyu podzemnykh gornykh vyrabotok i raschetu krepi, M.: Stroyizdat; 1983. 272 s.
17. Semenova I.E., Konstantinov K.N., Kul'kova M.S. Otsenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massiva porod v okrestnosti podzemnykh vyrabotok glu-bokogo zalozheniya kompleksom instrumental'nykh i chislennykh metodov. *Gornyy Zhurnal*. 2024; 1:22–28.
18. Shalamanov V.A., Pershin V.V., Budnikov P.M., Sabantsev A.B. Vybor i raschet krepey i obdelok podzemnykh sooruzheniy: ucheb. posobiye. Kemerovo: Kuzbas. gos. tekhn. un-t; 2010. 142 s.
19. Freydin A.M., Neverov S.A., Neverov A.A., Konurin A.I. K obosnovaniyu vybora i opredeleniyu parametrov geotekhnologiy dobychi rud s uchedom vida napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gornykh porod. *Fundamental'nyye i prikladnyye voprosy gornykh nauk*. 2017; 4(3):180–185.
20. Johnson Ha, Bryan S.A. Tatone, Giuseppe M. Gaspari, Giovanni Grasselli. Simulating tunnel support integrity using FEM and FDEM based on laboratory test data. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2021; 111:103848.
21. Akpanbayeva A.G., Rysmagambetov M.K. Issledovaniye tekhnologicheskikh resheniy, svyazannykh s ukrepleniym ustoychi-vosti krovli. *V sbornike: Sovremennyye ten-dentsii i innovatsii v nauke i proizvodstve. Materialy KHII Mezhdunarodnoy nauchno-praticheskoy konferentsii*. Redkollegiya: T.N. Gvozdkova (otv. redaktor), S.O. Markov [i dr.]. Mezhdurechensk, 2023. S. 106.1–106.8.
22. Baykenzhin M.A., Asanova ZH.M. Povysheniye nesushchey sposobnosti shakhtnoy ramnoy krepi putem primeneniya usiliteley profiley metallicheskogo prokata. *Gornyy Zhurnal*. 2021; 5:58–62.

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Andrey V. Kulakov – postgraduate student, Federal State Budgetary Institution of Science N. A. Chinakal Institute of Mining of the Siberian Department of the Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Krasny Prospekt, 54, e-mail: kulakov@misd.ru

Anton I. Konurin – C. Sc. in Engineering, Senior Researcher, Federal State Budgetary Institution of Science N. A. Chinakal Institute of Mining of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Krasny Prospekt, 54, ORCID: 0000-0003-3373-2382, e-mail: konurin@misd.ru

Daniyar S. Elgazinov – Head of the Mining Department, Georesurs Engineering LLP, 070014, Republic of Kazakhstan, East Kazakhstan region, Ust-Kamenogorsk, 1G Myzy str., e-mail: nsa7979@yandex.ru

Yuri N. Shaposhnik – Dr. Sc. in Engineering, Leading Researcher, Federal State Budgetary Institution of Science N. A. Chinakal Institute of Mining of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Krasny Prospekt, 54, ORCID: 0000-0002-5425-0158, e-mail: shaposhnikyury@mail.ru

Contribution of the authors:

Andrey V. Kulakov – data collection and analysis, review of relevant literature.

Anton I. Konurin – writing the text, conclusions.

Daniyar S. Elgazinov – formulation of the research problem, collection and analysis of data.

Yuri N. Shaposhnik – conceptualization of the study, scientific management, conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

