

# Повышение эффективности разработки вскрышных пород и углей Эльгинского месторождения Якутии путем их разупрочнения с использованием поверхностно-активных веществ

С.В. Панишев, Д.В. Хосоев✉, А.И. Матвеев

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения российской академии наук, г. Якутск,  
Российская Федерация  
✉ hosoev70@mail.ru

**Резюме:** Приведен анализ влияния физико-механических свойств разных литологических составов горных пород Эльгинского месторождения на производительность комбайна КСМ-2000Р. Установлено, что при крепости пород на сжатие до 40 МПа, к которым относятся угли и углистые алевролиты, производительность КСМ-2000Р составит 1400 м<sup>3</sup>/ч, при увеличении доли крепких компонентов в горных породах от 40 до 60 МПа до 40% (в основном алевролиты) можно ожидать уменьшения производительности до 1000 м<sup>3</sup>/ч и от 60 до 80 МПа до 33% – до 650 м<sup>3</sup>/ч. С увеличением прочностных свойств горных пород производительность комбайна может резко уменьшиться, особенно при эксплуатации его в зимний период. Значительный рост сопротивления копанию при промерзании пород и углей диктует необходимость их разупрочнения для обеспечения возможности безвзрывной отработки. Одним из решений этого вопроса может быть обработка горных пород поверхностно-активными веществами. Предложено использование поверхностно-активного вещества – раствора NaCl – для разупрочнения горных пород. После обработки данных пород поверхностно-активными веществами в условиях отрицательных температур до –20 °С,  $\sigma_{сж}$  снизилась на 30–50%, а  $\sigma_{р}$  уменьшилась примерно на 50% по всем породам. Как показали результаты исследований, применение поверхностно-активных веществ позволяет снизить прочность мерзлых пород и тем самым обеспечить их безвзрывную разработку с применением комбайнов типа КСМ.

**Ключевые слова:** многолетнемерзлые породы, комбайн, прочность пород, производительность, образцы, растворы, песчаники, разупрочнение, безвзрывная технология

**Для цитирования:** Панишев С.В., Хосоев Д.В., Матвеев А.И. Повышение эффективности разработки вскрышных пород и углей Эльгинского месторождения Якутии путем их разупрочнения с использованием поверхностно-активных веществ. *Горная промышленность*. 2021;(1):98–104. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-98-104.

## Enhancing Efficiency of Overburden Removal and Coal Mining at Elginsky Coal Deposit in Yakutia by their Softening with Surfactants

S.V. Panishev, D.V. Hosoev✉, A.I. Matveev

Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation  
✉hosoev70@mail.ru

**Abstract:** The paper analyzes the impact of physical and mechanical properties of different lithological rock types at the Elginsky deposit on the performance of the KSM-2000R Continuous Surface Miner. It has been established that the productivity of KSM-2000R stands at 1400 m<sup>3</sup>/h if the compressive strength of the rocks is not exceeding 40 MPa, which covers coals and carbonaceous siltstones. However, if the share of hard particles with the compressive strength between 40 and 60 MPa rises to 40% (aleurolites mainly), the productivity is expected to be reduced down to 1000 m<sup>3</sup>/h, while with the 33% of the components with the compressive strength between 60 and 80 MPa it will further drop down to 650 m<sup>3</sup>/h. As the rock strength goes up, the productivity of the Continuous Surface Miner can drop dramatically, especially during the winter period. A considerable increase in the digging resistance of frozen rocks and coals requires their softening to enable blast-free mining. Treatment of rocks with surfactants can be one of the solutions to this problem. It is suggested to use a surfactant, i.e. NaCl solution, to soften the rocks. After these rocks were treated with surfactants at negative temperatures down to –20 °C, the compressive strength decreased by 30-50% while the tensile strength was reduced by about 50% for all the rocks. As the research results show, the use of surfactants can reduce the strength of frozen rocks and thereby ensure their blast-free mining using the Continuous Surface Miners.

**Keywords:** perennially frozen rocks, continuous surface miner, rock strength, productivity, samples, solutions, sandstones, softening, blast-free technology

**For citation:** Panishev S.V., Hosoev D.V., Matveev A.I. Enhancing Efficiency of Overburden Removal and Coal Mining at Elginsky Coal Deposit in Yakutia by their Softening with Surfactants. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2021; (1):98–104. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-98-104.

## Введение

В настоящее время на северо-востоке России ведется интенсивное освоение крупнейшего Эльгинского каменноугольного месторождения. Месторождение находится на юге Якутии в Токинском угольном районе Южно-Якутского бассейна. Общая площадь месторождения составляет 236 км<sup>2</sup>. Абсолютные отметки водоразделов составляют 1050–1400 м.

Климат района резко континентальный, характеризуется длительной, до 7 месяцев, холодной зимой и коротким, часто жарким летом. Среднегодовая температура воздуха –11 °С с колебаниями от –61 °С (декабрь–январь) до +36 °С (июль). Температура многолетнемерзлых пород колеблется в пределах от 0 до –3 °С, причем доминирует температура –1 °С. Коренные породы характеризуются низкой влажностью 1–2% [1].

Вскрышные породы представлены двумя типами: рыхлыми четвертичными отложениями и коренными, отнесенными по крепости к породам средней крепости (полускальные).

К перспективным с точки зрения экономии расходов и повышения технологичности разработки месторождения и добычи углей относится применение поточных технологий на базе роторно-конвейерных комплексов и погрузочных машин типа КСМ-2000Р. При одной и той же производительности масса машин типа КСМ меньше экскаватора ЭКГ в 4–6 раз, а усилие резания в 5–6 раз выше, чем у роторного экскаватора [2–6]. Эти машины имеют высокое усилие резания, что позволяет разрабатывать породы с пределом прочности на сжатие до 100 МПа и в принципе может исключить применение предварительной буровзрывной подготовки.

## Материалы

В Институте горного дела Севера ЯНЦ СО РАН на основании физико-механических свойств вскрышных пород и угля с учетом усилий резания рабочего органа обоснована возможность применения комбайнов КСМ-2000Р на Эльгинском месторождении [7].

Расчеты показали зависимость производительности комбайна КСМ-2000Р от физико-механических свойств

разных литологических составов горных пород Эльгинского месторождения (табл. 1). Установлено, что при крепости пород на сжатие до 40 МПа, к которым относятся угли и углистые алевролиты, производительность КСМ-2000Р составит 1400 м<sup>3</sup>/ч, при увеличении доли крепких компонентов в горных породах от 40 до 60 МПа до 40% (в основном алевролиты) можно ожидать уменьшения производительности до 1000 м<sup>3</sup>/ч и от 60 до 80 МПа до 33% – 650 м<sup>3</sup>/ч.

При всем этом средняя производительность машины по вскрышным породам, содержащим высокую долю крепких компонентов, составила примерно 50% от паспортной.

Вместе с тем показано, что с увеличением прочностных свойств горных пород производительность комбайна может резко уменьшиться. Это особенно актуально при эксплуатации горнодобычного оборудования в зимний период.

Значительный рост сопротивления копанью при промерзании пород и углей диктует необходимость их разупрочнения для обеспечения возможности безвзрывной отработки. Решением этого вопроса может быть обработка горных пород поверхностно-активными веществами (ПАВ).

В последние годы выполнен ряд исследовательских и опытно-промышленных работ по разработке и освоению в практике открытой угледобычи нетрадиционных физико-химических способов разупрочнения горного массива. В зависимости от физико-механических свойств и строения горных пород использование ПАВ обеспечивает снижение их прочности (до 50%), уменьшение модуля упругости, появление заметной пластической деформации. Применение ПАВ позволяет для пород средней крепости вообще отказаться от взрывной подготовки массива [8].

Анализ выполненных исследований показывает, что в основном разупрочнение горных пород проводилось на эффузивных породах, известняках, гранитах, мраморе [9–11]. В некоторых работах рассмотрены вопросы использования ПАВ для разупрочнения мерзлых горных пород. Так, В.И. Штеле предложен способ, сущность которого состоит в том, что ослабление мерзлых пород осуществляется за счет механического действия гидроразрыва и химического воздействия соляной кислоты [12]. Также проведены исследования по снижению прочности мерзлых горных

Таблица 1

Распределение коренных пород Эльгинского месторождения по уровню значений предела прочности при сжатии и производительность комбайна КСМ-2000Р

Table 1

Breakdown of the bedrocks at the Elginsky deposit by their compressive strength and performance of the KCM-2000P Continuous Surface Miner

Литологический тип пород	Распределение горных пород по прочности на сжатие, МПа, в % и производительность комбайна КСМ-2000Р									
	до 20	20–40	40–60	60–80	80–100	100–120	120–140	140–160	160–180	180–200
Песчаники к/з	–	20,2	26,6	13,3	20,0	6,6	13,3	–	–	–
Песчаники с/з	–	12,5	45,2	20,0	11,2	6,2	2,5	–	1,2	1,2
Песчаники м/з	–	15,1	38,5	21,3	15,6	4,6	1,0	1,4	1,0	1,5
Переслаивание песчаников и алевролитов	–	6,8	23,9	32,6	15,2	8,6	4,3	6,5	2,1	–
Алевролиты к/а	4,8	27,9	36,7	8,8	7,3	8,8	2,9	1,4	–	1,4
Алевролиты м/а	5,0	9,5	38,0	23,8	19,0	–	4,7	–	–	–
Алевролиты угл.	16,8	66,6	–	–	–	–	–	–	–	–
Уголь	90,0	10,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Производительность КСМ-2000Р, м <sup>3</sup> /ч	1400	1400	1000	650	380	320	250	200	170	140

Примечание: к/з – крупнозернистый, с/з – среднезернистый, м/з – мелкозернистый, к/а – крупноалевролитовый, м/а – мелкоалевролитовый.

пород с применением соляной кислоты на алмазном месторождении [13]. Показано, что подавляющая часть пород карьера может быть существенно разупрочнена химическим путем, длительность сезона работы горного оборудования может быть увеличена на сроки, соответствующие объемам пропитки породы.

Методы физико-химического разупрочнения породно-угольных массивов прошли успешную апробацию на разрезе «Талдинский» в 1994–1996 гг. (табл. 2).

Для этого горный массив обуривался заливочными скважинами глубиной до 1,0 м, диаметром 160 мм. Сетка скважин была близка к 1,3\*1,3 м. Заливочные скважины безнапорно заполнялись водным раствором ПАВ с помощью автоцистерны из расчета 3 г ПАВ (в сухом веществе) на 1 м<sup>3</sup> горной массы экспериментального блока. Расход воды при этом составлял в среднем 5 л на 1 м<sup>3</sup> горной массы.

В течение двух суток после первичной заливки скважин происходил процесс пропитки горного массива. Затем зона экспериментального блока обрабатывалась КСМ-2000Р. результате существенно сократился выход крупнокускового материала, значительно (в среднем на 23%) уменьшилась энергоемкость процесса экскавации<sup>1</sup>.

**Таблица 2**  
Влияние физико-химической обработки горного массива на выход крупнокускового материала

**Table 2**  
Impact of the physical and chemical treatment of the rock mass on the lump-coal yield

Наименование пород	Предел прочности пород, МПа			
	Контрольный блок		После обработки раствором ПАВ	
	$\sigma_{сж}$	$\sigma_p$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_p$
Аргиллит известковый сидеритизированный	47	4,8	32	2,6
	55	4,9	43	2,9
	73	6,2	56	4,1
	90	8,0	70	5,0
Песчаник мелкозернистый	67	6,9	45	4,3
	93	8,9	60	5,5

Опыт применения водных растворов ПАВ показал, что простота, безопасность, относительная дешевизна и полная экологическая чистота позволяют прогнозировать широкую перспективу их освоения в практике открытой угледобычи.

Даже относительно небольшое присутствие водных растворов в массиве крепких горных пород существенно сокращает износ режущего инструмента. Учитывая стоимость последнего, затраты на опережающую физико-химическую обработку горного массива представляются оправданными.

В ИГДС СО РАН авторами выполнены лабораторные исследования физико-механических свойств коренных горных пород Эльгинского месторождения. Отбор проб произведен на первоочередном участке обработки Эльгинского месторождения из междупластия Н<sub>16</sub>–Н<sub>15</sub>, горизонта 1065–1072.

Для определения плотности каждой петрографической разновидности горной породы отбирались куски камня общей массой не менее 1 кг. После подготовки образцов в соответствии с методикой с использованием мультипикнометра (Quantachrome USA) получены показатели

истинной плотности исследуемых образцов: песчаники мелкозернистые – 3131 кг/м<sup>3</sup>, песчаники среднезернистые – 2994 кг/м<sup>3</sup>, а средняя их плотность соответственно равна 2633 кг/м<sup>3</sup> и 2491 кг/м<sup>3</sup>.

Пористость горной породы определялась на основании предварительно установленных значений истинной и средней плотности. Пористость песчаников составила: для среднезернистых – 17%, для мелкозернистых – 16%.

Водопоглощение и влажность горной породы определялись на 5 образцах кубической формы с ребром 40–50 мм.

Проведенные эксперименты показали, что водопоглощение песчаников мелкозернистых – 2,7%, среднезернистых – 3,3% при влажности 2,0%.

**Методика**

Для установления зависимости влияния дистиллированной воды и растворов NaCl различной концентрации на прочностные свойства мелкозернистых песчаников Эльгинского месторождения и определения предела прочности на одноосное сжатие в соответствии с разработанной методикой проведены эксперименты:

Для исследований было произведено выпиливание образцов из 9 кусков камня (мелкозернистых песчаников) размерами примерно 200×200×110 мм (рис. 1).

Из каждого куска камня выпиливалось максимально возможное количество кубиков с ребром 40 мм. Всего было выпилено 86 кубиков, каждый образец был промаркирован в соответствии с номером камня (рис. 2). № 1 – 7 шт., №2 – 18 шт., №3 – 20 шт., №4 – 8 шт., №5 – 18 шт., №6 – 8 шт., №7 – 10 шт., №8 – 1 шт., №9 – 8 шт.



**Рис. 1**  
Пронумерованные куски (песчаника)

**Fig. 1**  
Numbered lumps (sandstone)



**Рис. 2**  
Маркированные образцы песчаника в соответствии с номером камня

**Fig. 2**  
Marked sandstone samples according to the rock lump number

<sup>1</sup> Опыт и перспективы применения КСМ-2000Р на разрезе «Талдинский». М.; 1997. 30 с.



Образцы правильной формы (40×40×40), изготовленные в лабораторных условиях путем обточки и шлифовки кубиков, вырезанных на камнерезной машине из кусков мелкозернистых песчаников, после суточной выстойки взвешиваются. Затем данные образцы высушиваются в сушильном шкафу в течение 8 ч при температуре 105 °С, после чего снова взвешиваются. Таким образом устанавливается естественное влагосодержание в воздушно-сухом состоянии.

Для обработки образцов ПАВ они предварительно помещаются в стеклянный сосуд и заливаются раствором определенной концентрации (5, 10 и 20%). При этом должно соблюдаться необходимое условие – наличие слоя раствора толщиной не менее 3 см над поверхностью образцов в сосуде. Для насыщения образцы выдерживаются в сосуде при таких условиях в течение 48 ч.

После насыщения образцы вновь взвешиваются для определения их влагоемкости и расчета открытой пористости  $\beta$ . Далее подготовленные образцы помещаются в морозильную камеру, где производится замораживание образцов до заданной отрицательной температуры. Выдерживание образцов в холодильной установке длится до тех пор, пока температура контрольного образца не уравнивается с заданной (–5 °С, –10 °С, –20 °С).

Величины задаваемых отрицательных температур образцов  $T_{об}$  принимаются от –5 °С до –20 °С. После подготовки образцов, о которой говорилось выше, проводятся исследования на испытательной машине UTS-250. Для этого образец породы устанавливается между нагрузочными пластинами машины и со скоростью 2 мм/мин по ГОСТ 21153.0–75. производится нагружение образца (рис. 3).

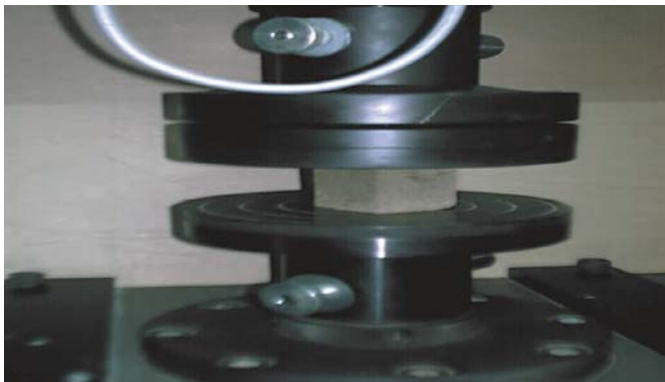


Рис. 3  
Испытательная машина UTS-250 с образцом породы

Fig. 3  
The UTS-250 Test Unit with a rock sample inside

Выбранную скорость нагружения сохраняют до разрушения образца. Испытательная машина UTS-250 предназначена исключительно для механических испытаний различных материалов и деталей, оснащена морозильной камерой с диапазоном отрицательных температур от 0 до –60 °С.

Определение прочности на одноосное сжатие проводилось на 5–6 образцах кубической формы размером 4х4 см, при комнатной температуре и при отрицательных температурах –5, –10 и –20 °С в воздушно-сухом состоянии, а также с использованием дистиллированной воды и хлорида натрия различной концентрации (NaCl – 5, 10 и 20%).

Проведенные эксперименты по определению прочности мелкозернистых песчаников Эльгинского месторождения

позволили разделить испытываемые образцы на две группы: первая – менее прочные образцы, полученные из пород №1, №4, №5, №6, №7, №8 и №9 и №2, и вторая – более прочные образцы, изготовленные из пород №2 и №3, крепость которых выше по сравнению с остальными в 1,5–2 раза.

Полученные прочностные данные образцов из второй группы имеют большой разброс и достоверность результатов не подтверждается статистической обработкой. Возможно, для этого необходим больший объем экспериментальных работ и данных. Дальнейший анализ проводился по менее прочным образцам из первой группы.

### Обсуждение

Результаты экспериментов показывают, что применение дистиллированной воды и растворов NaCl различной концентрации приводит к значительному снижению прочности мелкозернистых песчаников (рис. 4). При использовании дистиллированной воды и растворов NaCl наибольшее снижение прочности образцов в 1,4–1,5 раза отмечено при температуре –10 °С.

При понижении температуры с –10 °С до –20 °С наблюдается незначительное повышение прочности образцов: на 15% без применения ПАВ, на 18% с H<sub>2</sub>O, на 4% с NaCl-5%, на 14% с NaCl-10% и на 12% с NaCl-10%. Это объясняется тем, что при более интенсивном замерзании пород происходит увеличение их прочностных свойств и воздействие на них ПАВ заметно снижается.

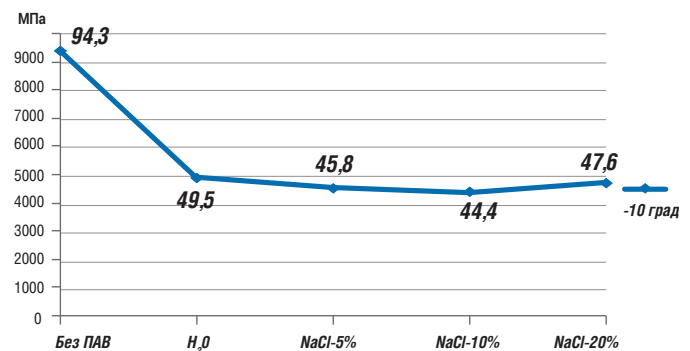


Рис. 4  
Изменение прочности образцов при –10 °С

Fig. 4  
Changes in the sample strength at –10 °С

Как показали результаты экспериментов, наиболее интенсивное разупрочнение образцов происходит в диапазоне температур от –5 °С до –10 °С с использованием 10%-ного NaCl.

Изменение прочности мелкозернистых песчаников в зависимости от температуры и применения NaCl объясняется тем, что при понижении температуры возрастают внутренние напряжения из-за интенсивного замерзания влаги и образования льда в порах и микротрещинах, и с появлением расклинивающего эффекта происходит снижение прочностных свойств.

В образцах, насыщенных дистиллированной водой, интенсивное замерзание воды происходит при температуре –10 °С. В образцах, насыщенных растворами солей, диапазон температуры интенсивных фазовых переходов смещается в зону более низких температур в зависимости от концентрации растворов. При дальнейшем понижении температуры поровый лед цементирует и упрочняет породу.

При использовании дистиллированной воды и растворов NaCl различной концентрации прочность образцов по сравнению с прочностью образцов, испытанных при ком-

**Таблица 3**  
Статистическая достоверность результатов по сериям первой группы образцов

**Table 3**  
Statistical reliability of the results for the series of the first group of samples

Статистические оценки	При комнатной температуре				
	Среднее значение	79,6			
Стандартное отклонение	16,4				
Коэффициент вариации	20,6				
Уровень доверия	0,9				
Достоверность среднего статистического значения	1,0				
<b>-5 °C</b>					
	Без ПАВ	H <sub>2</sub> O	NaCl -5%	NaCl -10%	NaCl -20%
Среднее значение	104,7	52,4	55,8	45,4	47,3
Стандартное отклонение	11,5	13,0	16,2	5,9	2,0
Коэффициент вариации	10,7	24,8	29,0	13,0	4,2
Уровень доверия	1,0	0,8	0,68	1,0	1,0
Достоверность среднего статистического значения	да	да	нет	да	Да
<b>-10 °C</b>					
Среднее значение	94,3	49,5	45,8	44,4	47,6
Стандартное отклонение	9,6	14,6	5,3	4,2	7,2
Коэффициент вариации	10,1	29,4	11,5	9,4	15,1
Уровень доверия	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0
Достоверность среднего статистического значения	Да	Нет	Да	Да	Да
<b>-20 °C</b>					
Среднее значение	108,6	60,6	47,6	52,6	53,9
Стандартное отклонение	24,2	16,7	5,1	9,2	2,2
Коэффициент вариации	22,2	27,5	10,7	17,5	4,1
Уровень доверия	0,9	0,7	1,0	1,0	1,0
Достоверность среднего статистического значения	Да	Нет	Да	Да	Да

натной температуре, минимально снижается на 26% и максимально на 45%.

В табл. 3 показаны результаты статистической обработки проведенных экспериментов для первой группы образцов.

Как показали результаты исследований, в большинстве случаев достоверность среднестатистических значений проведенных исследований является положительной.

Опыт применения водных растворов ПАВ показал, что простота, безопасность, относительная дешевизна и полная экологическая чистота позволяют прогнозировать широкую перспективу их применения в практике открытой угледобычи.

Даже относительно небольшое присутствие водных растворов в разрабатываемом массиве крепких горных пород существенно сокращает износ режущего инструмента. Учитывая высокую стоимость последнего, затраты на опережающую физико-химическую обработку горного массива представляются оправданными.

Из анализа полученных результатов следует, что после обработки данных пород ПАВ,  $\sigma_{сж}$  снизилась на 30–50%, а  $\sigma_p$  уменьшилась примерно на 50% по всем породам.

По известным формулам [14] ИГД им. А.А. Скочинского выполним расчет коэффициента хрупкости, удельной энергоёмкости и соответственно производительности машины по этим породам, например, по песчаникам мелкозернистым:

$$1) K_{xp} = \frac{55,5}{5,7} = 10,5 ;$$

$$2) H_w = \frac{21}{10,5^2} + \frac{0,03 * 32}{10,5} = 1,52 \frac{кВтч}{м^3} ;$$

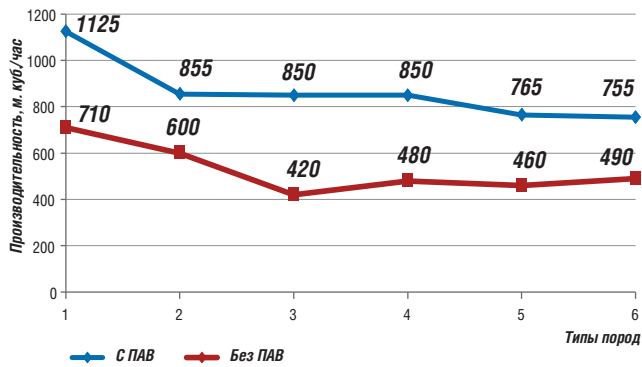
$$3) Q_3 = \frac{1146}{1,52} = 755 \frac{м^3}{ч} ;$$

Полученные результаты расчетов приведены в табл. 4. На рис. 5 показана ожидаемая зависимость производи-

**Таблица 4**  
Влияние поверхностно-активных веществ на прочностные показатели пород Эльгинского месторождения

**Table 4**  
Impact of surfactants on the strength properties of rocks from the Elginsky deposit

Породы	Прочность на сжатие $\sigma_{сж}$ , МПа после обр.ПАВ	Прочность на растяж. $\sigma_p$ , МПа после обр.ПАВ	Коэффиц. хрупкости $K_{xp}$	Удельная энергоёмкость $H_w$ , кВт ч/м <sup>3</sup>	Производительность $Q_3$ , м <sup>3</sup>
Конгломераты	32	5	6,4	1,35	850
Гравелиты	46,3	5,25	8,8	1,34	855
Песчаники кз	51	5,3	9,6	1,35	850
Песчаники сз	58,2	5,7	10,2	1,5	765
Песчаники мз	60	5,7	10,5	1,52	755
Алевролиты	46,3	4,2	11	1,02	1125



**Рис. 5**  
Производительность комбайна КСМ-2000Р по вскрышным породам Эльгинского месторождения после обработки ПАВ и без ПАВ  
Типы пород:  
1 – алевролиты ( $\sigma_{сж}$  – 46,3 МПа), 2 – гравелиты ( $\sigma_{сж}$  – 46,3 МПа), 3 – конгломераты ( $\sigma_{сж}$  – 32 МПа), 4 – песчаники крупнозернистые ( $\sigma_{сж}$  – 52 МПа), 5 – песчаники среднезернистые ( $\sigma_{сж}$  – 58,2 МПа), 6 – песчаники мелкозернистые ( $\sigma_{сж}$  – 60 МПа)

**Fig. 5**  
Performance of the KSM-2000P Continuous Surface Miner on the overburden at the Elginsky deposit after surfactant treatment and without the surfactant treatment  
Types of rocks: 1 – aleurolites (compressive strength: 46.3 MPa), 2 – gravelstone (compressive strength: 46.3 MPa), 3 – conglomerates (compressive strength: 32 MPa), 4 – coarse sandstone (compressive strength: 52 MPa), 5 – medium-grained sandstone (compressive strength: 58.2 MPa), 6 – fine-grained sandstone (compressive strength: 60 MPa)

тельности комбайна КСМ-2000Р по различным слагающим вскрышным породам Эльгинского месторождения с применением ПАВ и без его использования.

### Заключение

Произведенные расчеты показали, что за счет применения безвзрывной опережающей обработки массива водными растворами поверхностно-активных веществ можно существенно повысить эффективность применения

роторных комбайнов типа КСМ на Эльгинском месторождении.

Так, например, по песчаникам (мелкозернистым, среднезернистым и крупнозернистым), которые составляют основную долю (около 70%) в коренных породах Эльгинского месторождения, производительность КСМ-2000Р, по расчетам, составит от 460 до 630 м³/ч. При условии применения ПАВ производительность КСМ-2000Р по песчаникам может возрасти от 750 м³/ч до 1100 м³/ч (80% от паспортной).

Таким образом, производительность роторных комбайнов типа КСМ по углям Эльгинского месторождения с учетом их прочностных характеристик и усилия резания машины будет обеспечена в паспортных пределах.

Полученные результаты имеют важное значение для разработки технологических мероприятий по снижению прочности многолетнемерзлых горных пород и повышению эффективности их разработки.

### Выводы:

1. Экспериментальными исследованиями установлено, что прочность мелкозернистых песчаников Эльгинского месторождения значительно снижается при воздействии дистиллированной воды и растворов NaCl различной концентрации в диапазоне отрицательных температур.

2. Выявлено, что при температуре  $-10$  °C достигается максимальное снижение прочности образцов – до 55%.

3. Образцы в воздушно-сухом состоянии при различных температурах имеют большую прочность, чем прочность, полученную при комнатной температуре. Так, при  $-5$  °C она возросла с 79,6 до 104,7 МПа – на 25%, при  $-10$  °C до 94,3 МПа – на 16% и при  $-20$  °C до 108,6 МПа – на 27%.

4. Определено, что при снижении температуры с  $-10$  до  $-20$  °C наблюдается незначительное повышение прочности образцов: на 15% в воздушно-сухом состоянии, на 18% с H<sub>2</sub>O, на 4% с NaCl–5%, на 14% с NaCl–10% и на 12% с NaCl–10%. Это объясняется тем, что при более интенсивном замерзании пород происходит увеличение их прочностных свойств, и воздействие на них ПАВ заметно снижается.

5. Для безвзрывной разработки вскрышных пород и угля из Эльгинского месторождения могут использоваться роторные комбайны типа КСМ с применением ПАВ для разупрочнения более прочных пород.

### Список литературы

- Баулин А.В., Бабенко О.Б., Белинкин А.А. Освоение Эльгинского каменноугольного месторождения. *Уголь*. 2002;(1):22–23.
- Мальшев Ю.Н., Анистратов К.Ю., Анистратов Ю.А., Бызов В.Ф., Вилкул Ю.Г., Зайденварг В.Е. и др. (ред.) *Мировая горная промышленность. История. Достижения. Производство*. М.: Горное дело; 2005. 520 с.
- Опарин В.Н. *Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых*. Новосибирск: Изд-во СО РАН; 2007. 336 с.
- Лабутин В.Н. Безвзрывная технология добычи полезных ископаемых: состояние и перспективы. Оценка эффективности применения различных способов разрушения в технологиях открытых горных работ. *ФТРИИ*. 2004;(2)66–74.
- Алешин Б.Г., Коваленко С.К., Виницкий К.Е., Шендеров А.И., Штейнцвайг Р.М. Конструктивно-технологические особенности и перспективы применения машин типа КСМ на разрезах России. *Горный вестник*. 1996;(4):13–19.
- Краснянский Г.Л., Штейнцвайг Р.М., Рудольф В., Коваленко С.К. Опыт создания и перспективы освоение в горнодобывающей промышленности машин нового поколения КСМ-2000РМ. *Уголь*. 1998;(4):16–21.
- Хосоев Д.В., Ермаков С.А. Оценка технологий разработки Эльгинского угольного месторождения. *Уголь*. 2009;(11):9–12.
- Перспективы расширения безвзрывных технологий в открытой угледобыче. *Горная промышленность*. 1998;(2):14–19. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/karertekh/2084-perspektivy-rasshireniya-bezvzryvnykh-tehnologij-v-otkrytoj-ugledobyche>
- Норов Ю.Д., Мардонов У.М., Тошев О.Э. Изучение влияния водных растворов ПАВ на изменение прочности горного массива. *Горный журнал*. 2005;(3):15–16.
- Латышев О.Г., Жилин А.С., Осипов И.С., Сынбулатов В.В. Выбор поверхностно-активной среды для управления свойствами пород в горной технологии. *Горный журнал*. 2004;(6):117–121.

11. Латышев О.Г. *Разупрочнение горных пород*. М.: Теплотехник; 2007. 660 с.
12. Штеле В.И. Патент №2012790 «Способы разупрочнения горных пород».
13. Шишкин Ю.П., Миккулевич А.П., Бураков А.М. Экспериментальные исследования безвзрывного разупрочнения многолетне-мерзлых пород на алмазном месторождении. *Физико-технические проблемы*. 1990;(5).
14. Коваленко С.К. *Интенсификация угледобычи на основе применения машин типа КСМ: применительно к условиям Талдинского каменноугольного месторождения: автореф. дис. ... канд. техн. наук*. М.; 1998. 19 с.

### References

1. Baulin A.V., Babenko O.B., Belinkin A.A. Development of the Elginsky Coal Deposit. *Ugol'*. 2002;(1):22–23. (In Russ.)
2. Malyshev Yu.N., Anistratov K.Yu., Anistratov Yu.A., Byzov V.F., Vilkul Yu.G., Zaidenvarg V.E. et al. (eds) *World Mining Industry. History. Achievements. Production*. Moscow: Gornoe delo; 2005. 520 p. (In Russ.)
3. Oparin V.N. *Blast-free technologies in surface mining of solid minerals*. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2007. 336 p. (In Russ.)
4. Labutin V.N. Blast-free technology in mineral mining: current state and prospects. Evaluating the efficiency of applying various fracturing methods in open pit mining technologies. *FTRPI*. 2004;(2):66–74. (In Russ.)
5. Aleshin B.G., Kovalenko S.K., Vinitskii K.E., Shenderov A.I., Shteintsai R.M. Structural and technological features and prospects in application of the KCM Continuous Surface Miners in Russian strip mines. *Gornyi vestnik*. 1996;(4):13–19. (In Russ.)
6. Krasnyansky G.L., Shteintsai R.M., Rudol'f V., Kovalenko S.K. Experience and prospects of utilizing the new generation of the KSM-2000RM units in the mining industry. *Ugol'*. 1998;(4):16–21. (In Russ.)
7. Khosoev D.V., Ermakov S.A. Evaluation of the development technologies at the Elginsky Coal Deposit. *Ugol'*. 2009;(11):9–12. (In Russ.)
8. Prospects for the expansion of blast-free technologies in surface coal mining. *Gornaya promyshlennost' = Russian Mining Industry*. 1998;(2):14–19. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/karertekh/2084-perspektivy-rasshireniya-bezvzryvnykh-tekhnologij-v-otkrytoj-ugledobyche>
9. Norov Yu.D., Mardonov U.M., Toshev O.E. Studying the impact of aqueous surfactant solutions on changes in the rock mass strength. *Gornyi zhurnal*. 2005;(3):15–16. (In Russ.)
10. Latyshev O.G., Zhilin A.S., Osipov I.S., Synbulatov V.V. Selection of surfactant media to control rock properties in mining technology. *Gornyi zhurnal*. 2004;(6):117–121. (In Russ.)
11. Latyshev O.G. *Rock softening*. Moscow: Teplotekhnika; 2007. 660 p. (In Russ.)
12. Shtele V.I. Patent No. 2012790 "Methods of rock softening". (In Russ.)
13. Shishkin Yu.P., Mikulevich A.P., Burakov A.M. Experimental studies of blast-free softening of perennially frozen rocks at a diamond deposit. *Fiziko-tekhnicheskie problemy*. 1990;(5). (In Russ.)
14. Kovalenko S.K. *Intensification of coal mining through the use of the KCM-type equipment: as applied to conditions of the Taldinskoye Coal Deposit: abstract dissertation for the Candidate's Degree (PhD) in Engineering*. Moscow; 1998. 19 p. (In Russ.)

### Информация об авторах

**Панишев Сергей Викторович** – ведущий научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6908-2495>

**Хосоев Доржо Владимирович** – ведущий инженер, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация; e-mail: [hosoev70@mail.ru](mailto:hosoev70@mail.ru)

**Матвеев Андрей Иннокентьевич** – главный научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4298-5990>; e-mail: [andrei.mati@yandex.ru](mailto:andrei.mati@yandex.ru)

### Информация о статье

Поступила в редакцию: 12.01.2021  
 Поступила после рецензирования: 20.01.2021  
 Принята к публикации: 26.01.2021

### Information about the authors

**Sergey V. Panishev** – Leading Researcher, Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6908-2495>

**Dorzho V. Hosoev** – Leading Engineer, Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation; e-mail: [hosoev70@mail.ru](mailto:hosoev70@mail.ru)

**Andrey I. Matveev** – Chief Researcher, Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4298-5990>; e-mail: [andrei.mati@yandex.ru](mailto:andrei.mati@yandex.ru)

### Article info

Received: 12.01.2021  
 Revised: 20.01.2021  
 Accepted: 26.01.2021