

**К.Н. Алексеев, А.С. Курилко**  
**ВЛИЯНИЕ ЦИКЛОВ  
ЗАМОРАЖИВАНИЯ—  
ОТТАИВАНИЯ  
НА ЭНЕРГОЕМКОСТЬ  
РАЗРУШЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО  
КАМНЯ АРМИРОВАННОГО  
БАЗАЛЬТОВОЙ ФИБРОЙ**

Приведены результаты лабораторных исследований по определению удельной энергоемкости разрушения цементного камня в зависимости от содержания базальтового волокна (диаметром 13 мкм, длиной 12 мм) и количества циклов замораживания—оттаивания. В ходе проведенных исследований установлено, что образцы дисперсно-армированных серий ожидаемо обладают более высокой энергоемкостью разрушения, наибольший прирост наблюдается у составов цементного камня содержащих базальтовое волокно в количестве 2–3% от массы вяжущего, на 35–37% соответственно. Воздействие 12 циклов замораживания—оттаивания на составы содержащие 0% и 3% базальтовой фибры привело к снижению их энергоемкости разрушения на ≈70% и 10% по сравнению с составом контрольной серии. Т.е. результаты исследований показывают, что армирование цементного камня базальтовой фиброй увеличило его морозостойкость. Полученные закономерности могут иметь важное значение при строительстве и эксплуатации различных бетонных конструкций испытывающих воздействие ударных и знакопеременных температурных воздействий, например фиброармированных торкрет-бетонных крепей и покрытий работающих в условиях рудников криолитозоны.

Ключевые слова: цементный камень, базальтовая фибра, удельная энергоемкость разрушения, циклы замораживания—оттаивания.

**П**рактика возведения бетонных крепей и покрытий в шахтах и рудниках свидетельствует о том, что их прочностные характеристики во многом определяют безопасность ведения горных работ, долговременную устойчивость и сохранность выработок.

Как известно, одним из способов повышения прочностных показателей строительных материалов на цементном вяжущем является введение в их состав различных армирующих напол-

нителей, в том числе базальтового волокна (фибры диаметром 10–20 мкм) [1–3] и получения на этой основе фиброармированного композиционного материала обладающего повышенными физико-механическими характеристиками.

Проведенными ИГДС СО РАН лабораторными исследованиями установлено, что армирование образцов мелкозернистого бетона базальтовым волокном ( $\varnothing 13$  мкм) является эффективным средством повышения их прочности при изгибающих нагрузках [4]. Была подтверждена перспективность использования базальтовой фибры для получения композиционных материалов с высокими эксплуатационными свойствами [4, 5].

Однако, сохраняется актуальность дальнейшего изучения свойств цементов и бетонов армированных базальтовым волокном. Например, в условиях Севера с его суровыми зимами значительный научный и практический интерес представляют исследования изменения прочностных и энергетических показателей разрушения базальтофиброармированных композиционных строительных материалов под воздействием знакопеременных температур.

В этих целях были проведены лабораторных исследования позволяющие оценить изменение удельной энергоемкости разрушения цементного камня в зависимости от содержания базальтовой фибры ( $\varnothing 13$  мкм) и количества циклов замораживания оттаивания.

Удельная энергоемкость разрушения цементного камня определялась по методике разработанной ИГДС СО РАН [6–8]. Данный способ определения удельной энергоемкости разрушения горных пород основан на использовании видоизмененного копра К.И. Сыскова и определении выхода мелких фракций при измельчении испытываемого материала многократными ударами падающего груза, и по классификации Л.И. Барона относятся к объемному разрушению материала.

Для изготовления образцов были использованы следующие материалы:

- цемент М400 производства ОАО ПО «ЯКУТЦЕМЕНТ»;
- рубленное базальтовое волокно (БВ) производства ОАО «Ивотстекло», СБ 12-р-13-к (длина 12 мм,  $\varnothing 13$  мкм, крахмаль-ный замасливатель), ТУ 5952-036-05328981-2005.

Содержание базальтового волокна в смеси варьировало от 1% до 3% от массы цемента, водоцементное отношение составляло 0,3. Смешение компонентов смеси производилось при помощи миксера.

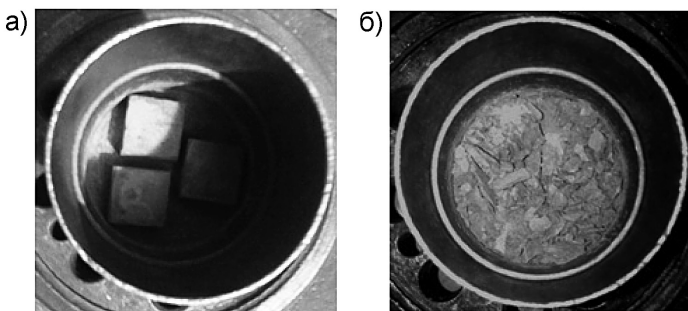


Рис. 1. Исследуемые образцы цементного камня: а) образцы правильной формы размерами 24×24×14 мм; б) измельченный геоматериал

Уплотнение фиброцементной смеси проводилось на виброплощадке СМЖ-539.

Образцы выдерживались в эксикаторах при 100% влажности среды и температуре  $20 \pm 1$  °С.

Удельная энергоёмкость разрушения цементного камня определялась в возрасте 28 суток, при комнатной температуре.

Для определения удельной энергоёмкости разрушения цементного камня изготавливалось по 5 навесок образцов, каждая массой около 50 г, и состоящая из образцов правильной формы размерами 24×24×14 мм, которые в дальнейшем подвергались дроблению на вертикальном копре. Каждая навеска испытуемого материала помещалась в загрузочный стакан копра (рис. 1) и измельчалась путем пятикратного сбрасывания гири массой 2,4 кг с постоянной высоты 0,6 м.

Полученный таким образом дробленный материал затем просеивался на ситах размерами 25; 20; 15; 10; 7,5; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 мм и по данным гранулометрического анализа рассчитывалась площадь вновь образованной поверхности. Для упрощения расчетов форма частиц принималась шарообразной. Расчет производился по формуле:

$$\Delta S = \frac{6}{\rho_0} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{d_i} - 6 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{M_n}{\rho_0}\right)^2}, \text{ м}^2 \quad (1)$$

где  $d_i = 0,5 \cdot (d_i + d_{i+1})$  – средний размер класса массой  $M_i$ , мм;  $\rho_0$  – плотность породы, кг/м<sup>3</sup>;  $M_n$  – масса исходного образца породы, кг.

Удельная энергоёмкость разрушения ( $W$ ) цементного камня определялась отношением затраченной на механическое дроб-

ление энергии ( $E$ ) к площади вновь образованной поверхности ( $\Delta S$ ):

$$E = \eta \cdot m \cdot g \cdot H \cdot k, \text{ Дж} \quad (2)$$

$$W = E \div \Delta S, \text{ Дж/м}^2 \quad (3)$$

где  $\eta = 0,95$  – потери энергии на трение;  $m$  – масса груза, кг;  $g$  – ускорение свободного падения м/с<sup>2</sup>;  $H$  – высота сбрасывания груза, м;  $k$  – количество сбрасываний.

Изучение влияния циклов замораживания-оттаивания на удельную энергоемкость разрушения цементного камня осуществлялось в соответствии с ГОСТ 10060 и 10060.2, по третьему, ускоренному методу, где 5 и 12 циклов замораживания-оттаивания соответствуют маркам морозостойкости F200 и F400. При достижении проектного возраста контрольные и основные образцы помещались в 5% водный раствор хлористого натрия на 2 суток, затем основные образцы в заполненных таким же раствором емкостях подвергались воздействию циклов замораживания-оттаивания. Снижение (до  $-50 \pm 5$  °С), выдержка и набор температуры (до  $-10$  °) происходили в климатической камере «ТСС 7160» (рис. 7) со скоростью изменения температуры охлаждения до 2,5 °С/мин. Температура внутри емкостей с раствором и основными образцами измерялась при помощи регистратора температуры «Center-314» оборудованного термодатчиком «К-типа».

Результаты проведенных испытаний приведены в табл. 1 и на рис. 2, 3.

Как видно из данных таблицы и диаграмм представленных на рис. 2, образцы дисперсно-армированных серий ожидаемо обладают более высокой энергоемкостью разрушения, наибольший прирост наблюдается у содержащих базальтовое во-

Таблица 1

**Удельная энергоемкость разрушения цементного камня (Дж/м<sup>2</sup>), 4 зависимости от содержания базальтового волокна и количества циклов замораживания-оттаивания**

Количество циклов замораживания-оттаивания	Содержание базальтового волокна, %			
	0	1	2	3
0	2833	3094	3813	3886
5	2201	2455	3251	3836
12	901	1488	1967	2553

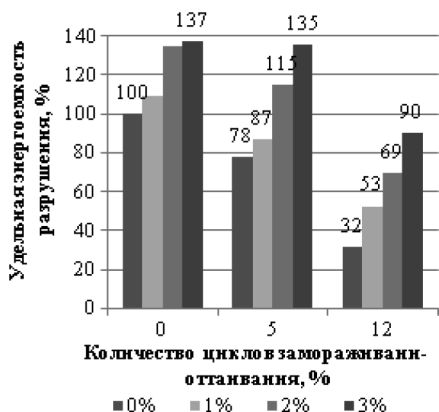


Рис. 2. Изменение удельной энергоемкости разрушения цементного камня относительно образцов контрольной серии (100%) в зависимости от содержания базальтового волокна и количества циклов замораживания-оттаивания

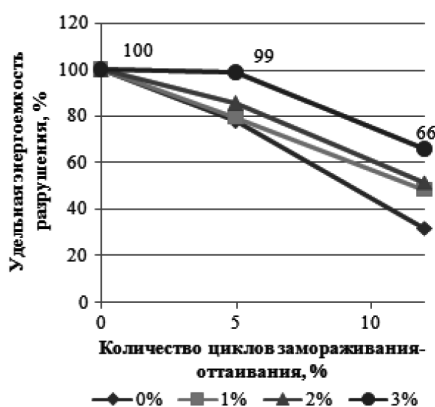


Рис. 3. Изменения удельной энергоемкости разрушения цементного камня армированного базальтовым волокном в зависимости от количества циклов замораживания-оттаивания

локно в количестве 2–3% от массы вяжущего, на 35–37% соответственно. Необходимо отметить, отсутствие снижения роста энергоемкости разрушения с увеличением содержания базальтового волокна.

Воздействие 12 циклов замораживания-оттаивания по третьему ускоренному методу ГОСТ 10060.2 на составы содержащие 0% и 3% базальтовой фибры привело к снижению их энергоемкости разрушения на  $\approx 70\%$  и  $10\%$  по сравнению с составом контрольной серии (рис. 2). Кроме того воздействие 5 циклов не приводит к снижению показателя энергоемкости разрушения у состава содержащего базальтовую фибру в количестве 3% (рис. 3). Т.е. результаты проведенных исследований показывают, что армирование цементного камня базальтовой фиброй увеличило его морозостойкость.

Полученные в ходе проведенных исследований закономерности могут иметь важное значение при строительстве и эксплуатации различных бетонных конструкций испытывающих воздействие ударных и знакопеременных температурных воздействий, например фиброармированных торкрет-бетонных крепей и покрытий работающих в условиях рудников криолитозоны.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рабинович Ф. М. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технологии и конструкции. — М.: Изд-во АСВ, 2004. — 560 с.
2. Боровских И. В. Высокопрочный тонкозернистый базальтофибробетон. Автореферат дисс... канд. техн. наук. — Казань, 2009. — 21 с.
3. Зимин Д. Е., Татаринцева О. С. Армирование цементных бетонов дисперсными материалами из базальта // Ползуновский вестник. — 2013. — № 3. — С. 286–289.
4. Алексеев К. Н. Некоторые особенности влияния технологии введения базальтового волокна ( $\varnothing 13$  мкм) на предел прочности мелкозернистого бетона при изгибе / Проблемы горных наук: взгляд молодых ученых. Материалы Республиканской научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной памяти академика РАН Н.В. Черского. — Якутск: Изд-во АКСаАН, 2014. — С. 6–10.
5. Алексеев К. Н. Перспективы применения базальто-фиброармированных теплозащитных набрызгбетонных покрытий в условиях рудников криолитозоны / Геокриология — прошлое, настоящее, будущее. Материалы Всероссийского научного молодежного форума посвященного 50-летию ИМЗ СО РАН. — Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2010. — С. 147–149.
6. Захаров Е. В. Влияние знакопеременных температурных воздействий на энергоемкость процесса дробления горных пород. Автореферат дисс... канд. техн. наук. — Якутск, 2011. — 18 с.
7. Захаров Е. В., Курилко А. С. Энергоемкость разрушения горных пород в зависимости от температурного фактора / Proceedings of the V-th international geomechanics conference. — Varna, Bulgaria: International House of Scientists «Fr.J. Curie». — 2012. — pp. 137–142.
8. Захаров Е. В., Курилко А. С. Локальный минимум энергоемкости разрушения скальных пород в диапазоне отрицательных температур // ФТПРПИ. — 2014. — № 2. — С. 94–99. **IVAS**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Курилко Александр Сардокович*<sup>1</sup> — доктор технических наук, зав. лабораторией, заместитель директора,  
e-mail: a.s.kurilko@igds.ysn.ru,

*Алексеев Константин Николаевич*<sup>1</sup> — младший научный сотрудник,  
e-mail: const1711@mail.ru,

<sup>1</sup> Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 10, pp. 150–156.

UDC  
691.322.7

**K.N. Alekseev, A.S. Kurilko**  
**FREEZE-THAWING CYCLES INFLUENCE**  
**TO DESTRUCTION POWER INTENSITY**  
**OF CEMENT ROCK ARMED WITH BASALT FIBER**

As is known, one of methods of constructional material based on cement astringent strength characteristics increasing is different reinforcing loadings insertion to composition,

including basalt fiber (fiber diameter 10–20  $\mu\text{m}$ ). The laboratory search results on determination of cement rock destruction specific power intensity against basalt fiber content (diameter 13  $\mu\text{m}$ , length 12 mm) and freeze-thawing cycles quantity are shown in this article.

During research it is established that fiber-reinforced series specimens have expected higher destruction power intensity, the largest observed increase have cement rock compositions, containing basalt fiber of 2–3% from astringent, to 35–37 % accordingly.

12 freeze-thawing cycles influence to compositions, containing 0 and 3% basalt fiber lead to destruction power intensity reduction to approx. 70 and 10% as against control set. I.e. research results show, that cement rock reinforcing by basalt fiber increased its frost-resistance.

Regularities obtained during research can have important significance at construction and exploitation of different concrete structures under percussion and alternating temperature influence, for instance fiber reinforced gunned concrete supports and coverings, acting in cryolitezone mines conditions.

Key words: cement rock, basalt fiber, destruction power intensity, freeze-thawing cycles.

## AUTHORS

*Kurilko A.S.*<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory, Deputy Director, e-mail: a.s.kurilko@igds.ysn.ru,

*Alekseev K.N.*<sup>1</sup>, Junior Researcher,

e-mail: const1711@mail.ru,

<sup>1</sup> N.V. Chersky Institute of Mining of the North, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 677980, Yakutsk, Russia.

## REFERENCES

1. Rabinovich F.M. *Kompozity na osnove dispersno-armirovannykh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologii i konstruktсии* (Composites based on fiber concrete. Theory and design, technology and construction), Moscow, Izd-vo ASV, 2004, 560 p.

2. Borovskikh I.V. *Vysokoprochnyy tonkozernisty bazal'tofibrobeton* (High-strength fine-grained basalt-fiber-concrete), Candidate's thesis, Kazan, 2009, 21 p.

3. Zimin D. E., Tatarintseva O. S. *Polzunovskiy vestnik*. 2013, no 3, pp. 286–289.

4. Alekseev K. N. *Problemy gornykh nauk: vzglyad molodykh uchenykh. Materialy Respublikanskoj nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov, posvyashchennoy pamyati akademika RAN N.V. Cherskogo* (Problems of Mining Sciences: look young scientists. Materials of the Republican scientific conference of young scientists and specialists, dedicated to the memory of Academician N.V. Cherskiy), Yakutsk, Izd-vo AKSAAN, 2014, pp. 6–10.

5. Alekseev K. N. *Geokriologiya proshloe, nastoyashchee, budushchee. Materialy Vserossiyskogo nauchnogo molodezhnogo foruma posvyashchennogo 50-letiyu IMZ SO RAN* (Geocryology – past, present and future. Materials of the All-Russian Scientific Youth Forum devoted to the 50th anniversary of the SB RAS IMZ), Yakutsk, Izd-vo IMZ SO RAN, 2010, pp. 147–149.

6. Zakharov E. V. *Vliyanie znakovremennykh temperaturnykh vozdeystviy na energoemkost' protsessy drobleniya gornykh porod* (Effect of alternating temperature effects on energy intensity of rock crushing), Candidate's thesis, Yakutsk, 2011, 18 p.

7. Zakharov E. V., Kurilko A. S. *Proceedings of the V-th international geomechanics conference*. Varna, Bulgaria: International House of Scientists «Fr.J. Curie». 2012. pp. 137–142.

8. Zakharov E. V., Kurilko A. S. *Fiziko-tekhicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2014, no 2, pp. 94–99.