

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛОВ ЗАМОРАЖИВАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ НА СПОСОБНОСТЬ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА СОПРОТИВЛЯТЬСЯ ДИНАМИЧЕСКИМ (УДАРНЫМ) НАГРУЗКАМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ БАЗАЛЬТОВОЙ ФИБРЫ

Аннотация. Установлены закономерности изменения удельной энергоемкости разрушения мелкозернистого бетона в зависимости от содержания базальтового волокна (фибры) и воздействия циклов замораживания-оттаивания. Энергоемкость определялась при помощи вертикального копра К.И. Сыскова, в качестве дисперсной армирующей фазы применялось базальтовое волокно $\varnothing 23$ мкм, длиной 6 мм. Циклическому замораживанию-оттаиванию подвергались образцы, насыщенные раствором хлористого натрия по третьему ускоренному методу (температура замораживания -50 ± 5 °С) в соответствии с ГОСТ 10060.0-95 и 10060.2-95. Установлено, что дисперсное армирование мелкозернистого бетона базальтовой фиброй способно увеличить его энергоемкость разрушения до $1,8 \div 1,9$ раз. При воздействии 5 циклов замораживания-оттаивания снижение энергоемкости разрушения неармированных образцов достигает 58% от исходной. Энергоемкость разрушения образцов, содержащих 2 и 4% базальтовой фибры, после 5 циклов по-прежнему превосходит энергозатраты на разрушение образцов контрольной неармированной серии в $1,2 \div 1,6$ раз соответственно. Полученные закономерности могут быть использованы при разработке составов бетонов и конструкций из них, более стойких к воздействию ударных нагрузок и знакопеременных температурных воздействий. Область применения: строительство и эксплуатация различных бетонных конструкций в условиях Севера и рудников криолитозоны.

Ключевые слова: базальтовая фибра, мелкозернистый бетон, композит, удельная энергоемкость разрушения, вертикальный копер, циклы замораживания-оттаивания, криолитозона.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-84-91

Введение

Практика эксплуатации различных бетонных конструкций в условиях Севера свидетельствует, что они испытывают многократное воздействие негативных процессов циклического замораживания-оттаивания, что приводит к снижению их прочности вплоть до саморазрушения. Кроме того, возведение и эксплуатация крепей, фундаментов, копров и др. бетонных конструкций в шахтах и рудниках криолитозоны свидетельствует

о том, что их прочностные характеристики и морозостойкость во многом определяют безопасность ведения горных работ, долговременную устойчивость и сохранность горных выработок.

Как известно, из строительной практики, одним из способов повышения прочностных показателей строительных материалов и конструкций на цементном вяжущем является введение в их состав различных армирующих наполнителей, например, базальтового волокна

(фибры, диаметром 10–25 мкм). Полученный на этой основе композиционный материал обладает повышенными физико-механическими характеристиками, такими как прочность при изгибе и растяжении, морозостойкость и т.д. [1–8].

По нашему мнению, одной из основных целей создания композитов на основе бетонных матриц также состоит в увеличении сопротивляемости получаемого фибро-армированного строительного материала ударным нагрузкам. Так, паспортными характеристиками бетонов являются прочность при изгибе и сжатии — при статических нагрузках, но в процессе эксплуатации бетонные конструкции подвергаются не только статическим, но и динамическим (ударным) воздействиям, которые характеризуются более высокой (мгновенной) скоростью выделения энергии, в результате которых происходит накопление дефектов структуры — снижающих их прочностные характеристики. Например, наиболее общими формами проявления горного давления в подземных рудниках является не только деформирование горных пород, но и динамические явления приводящие к чрезвычайным ситуациям. Работоспособность бетонных кон-

струкций при таких воздействиях можно оценить по удельной энергоемкости разрушения [8–10]. Кроме того, в условиях Севера и рудников криолитозоны научный и практический интерес представляет прогноз изменения данных характеристик в результате циклического воздействия знакопеременных температур, которые в настоящее время недостаточно изучены.

Ранее в ИГДС СО РАН была разработана и опробована методика по определению энергоемкости разрушения строительного материала на цементном вяжущем. Используемая методика позволяет оценить степень влияния содержания фибры в исследуемом материале и влияние знакопеременных температурных воздействий [11, 12].

Методы исследования, материалы

Удельная энергоемкость разрушения [8–11] мелкозернистого бетона определялась на вертикальном копре К.И. Сыскова, по классификации Л.И. Барона данный метод относится к объемному разрушению материала.

Дроблению подвергались образцы бетона правильной формы размерами 24×24×14 мм. Для определения энерго-

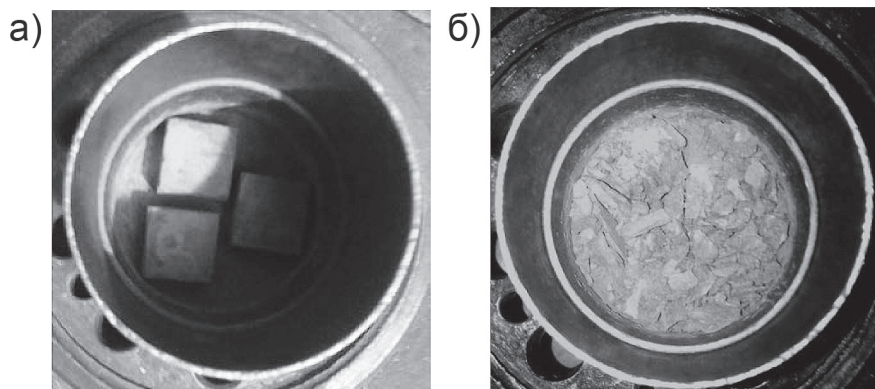


Рис. 1. Исследуемые образцы мелкозернистого бетона: образцы правильной формы размерами 24×24×14 мм (а); измельченный геоматериал (б)

Fig. 1. Samples of fine-grained concrete: samples of the correct shape with dimensions 24×24×14 mm (a); crushed geomaterial (b)

емкости разрушения бетона заданного состава изготавливалось по 5 навесок образцов массой около 50 г каждая. Каждая навеска испытуемого материала помещалась в загрузочный стакан копра и измельчалась путем сбрасывания груза массой 2,4 кг с постоянной высоты 0,6 м (рис. 1). Количество сбрасываний груза определялось при помощи объемомера [11] с условием, что выход фракции размером менее 0,5 мм не превышал 50 мм и был не менее 10 мм.

Полученный таким образом дробленый материал просеивался на ситах с размерами ячеек 25; 20; 15; 10; 8; 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; ρ_0 — плотность породы, кг/м³; M_n — масса исходного образца породы, кг.

Удельная энергоемкость разрушения (W) мелкозернистого бетона определялась отношением затраченной на механическое дробление энергии (E) к площади вновь образованной поверхности (ΔS):

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

Таблица 1

Расход компонентов смеси «Цемент/Песок» = 1/1 (по объему), Вода/Цемент = 0,5
Consumption of the components of the mixture «Cement / Sand» = 1/1 (by volume),
Water / Cement = 0,5

Содержание базальтового волокна (БВ), %	Расход, кг/м ³			
	цемент	песок	вода	БВ
0	792,1	940,3	396	0
1				17,3
2				34,6
4				69,3

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

где $\eta = 0,95$ — потери энергии на трение; m — масса груза, кг; g — ускорение свободного падения м/с²; H — высота сбрасывания груза, м; k — количество сбрасываний.

Для изготовления образцов были использованы следующие материалы:

- цемент М400 производства ОАО ПО «Якутцемент», насыпная плотность 1194 кг/м³, истинная плотность 3121 кг/м³;
- песок речной, карьер «Пригородный» (г. Якутск), сод. ГИП = 0,39%, насыпная плотность 1417,9 кг/м³, $M_k = 1,2$;
- фибра базальтовая марки ВС23-6-61 (длина 6 мм, $\varnothing 23$ мкм, замасливающий водная эмульсия №61) производства ООО «ТД «Русский базальт».

Содержание базальтового волокна варьировало от 1 до 4% от общей массы цемента и песка в сухом состоянии (табл. 1). Смешение компонентов смеси производилось при помощи миксера. Уплотнение готовой смеси в формах производилось на виброплощадке СМЖ-539. Образцы выдерживались в эксикаторах при 100% влажности среды и температуре 20 ± 1 °С в течение 28 суток.

По достижении проектного возраста основные и контрольные образцы насыщались 5% раствором хлористого натрия в течении 2 суток, а затем подвергались 0, 5 и 12 циклам замораживания-оттаивания в соответствии с ГОСТ 10060.0-95

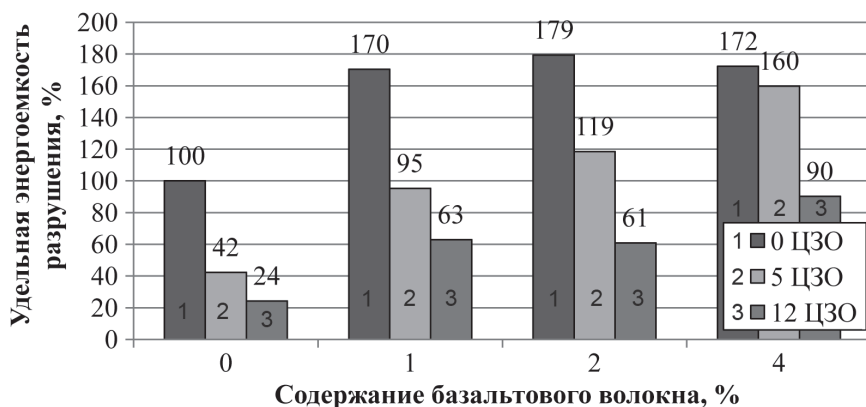


Рис. 2. Изменения удельной энергоемкости разрушения мелкозернистого бетона армированного базальтовым волокном относительно образцов контрольной серии (ОЦЗО) в зависимости от количества циклов замораживания-оттаивания

Fig. 2. Changes in the specific energy intensity of the destruction of fine-grained concrete reinforced with basalt fiber relative to the samples of the control series, depending on the number of freeze-thaw cycles

и 10060.2-95, по третьему ускоренному методу (температура замораживания минус 50 ± 5 °С). Перед проведением испытаний образцы извлекались из раствора и выдерживались при комнатной температуре в течение 2 суток. Резуль-

таты проведенных исследований представлены на рис. 2 и в табл. 2.

Как видно из данных табл. 2 и диаграмм представленных на рис. 2 циклическое замораживание-оттаивание приводит к снижению энергозатрат на раз-

Таблица 2

Влияние циклического замораживания-оттаивания на удельную энергоемкость разрушения мелкозернистого бетона армированного базальтовым волокном
Effect of cyclic freezing-thawing on the energy intensity of the destruction of fine-grained concrete reinforced with basalt fiber

Количество циклов замораживания-оттаивания	Содержание базальтового волокна, %	Удельная энергоемкость разрушения		Количество сбрасываемый груза	h^{**} , мм
		Дж/м ²	%		
0	0	1636	100	5	50
	1	2789	170		29
	2	2936	179		27
	4	2819	172		28
5/F200*	0	692	42	4	130
	1	1558	95		53
	2	1939	119		38
	4	2615	160		30
12/F400	0	397	24	3	185
	1	1030	63		66
	2	997	61		71
	4	1477	90		42

*F – марка морозостойкости ГОСТ 10060.0–95

**h – высота столба фракции менее 0,5 мм в объемном измерении

рушения образцов контрольной (неармированной) серии. Кроме того, образцы мелкозернистого бетона дисперсно-армированные базальтовой фиброй ожидаемо обладают более высокой энергоемкостью разрушения на 70–79%.

Энергозатраты на разрушение образцов содержащих 2 и 4% базальтовой фибры после 5 циклов замораживания-оттаивания превосходят энергозатраты на разрушение образцов контрольной серии на 19 и 60% соответственно.

Воздействие 12 циклов привело к существенному снижению энергоемкости разрушения образцов неармированной серии на 76%, у образцов серии с содержанием волокна в количестве 4% снижение составило 10% от контрольной.

Как видно из данных табл. 2, высота столба фракции менее 0,5 мм в некоторых случаях была выше рекомендованной (более 50 мм). В этой связи, были проведены дополнительные испытания при сниженном и неизменном коли-

честве сбрасываний груза. Результаты проведенных испытаний представлены в табл. 3 и на рис. 3.

Как видно из данных табл. 3 выход фракции менее 0,5мм снизился, однако полностью устранить это не удалось. Наиболее подверженные воздействию циклов замораживания-оттаивания неармированные образцы бетона разрушались в большей степени и выход мелкой фракции у них был более 50 мм.

Как видно из данных табл. 3 и диаграмм представленных на рис. 3 результаты значений энергоемкости при уменьшении числа сбрасываний несколько увеличились. Что в свою очередь повлияло на относительные показатели. Но общий характер полученных результатов остался неизменным.

С увеличением содержания базальтового волокна ожидаемо возрастает сопротивление мелкозернистого динамическим нагрузкам, в том числе после воздействия циклов замораживания-от-

Таблица 3

Влияние циклического замораживания-оттаивания на удельную энергоемкость разрушения мелкозернистого бетона армированного базальтовым волокном при неизменном количестве сбрасываний груза

Effect of cyclic freezing-thawing on the energy intensity of the destruction of fine-grained concrete reinforced with basalt fiber with an unchanged amount of discharges of cargo

Количество циклов замораживания-оттаивания	Содержание базальтового волокна, %	Удельная энергоемкость разрушения		$V_m, \%$	Количество сбрасываний груза	$h, \text{мм}$
		Дж/м ²	%			
0	0	2326	100	8,8	3	22–27
	1	2686	116	5,1		19,5–20
	2	2943	127	10,6		16–19
	4	4366	188	0,8		12–12,5
5	0	1146	49	10,7		56,5–65
	1	1703	73	3,7		40–41
	2	2002	86	9,8		22–32
	4	2956	127	3,9		20,5–21,5
12	0	549	24	6,4		140–155
	1	1038	45	4,0		69–73
	2	1466	63	11,6		43–53
	4	1962	84	11,4		23,5–40

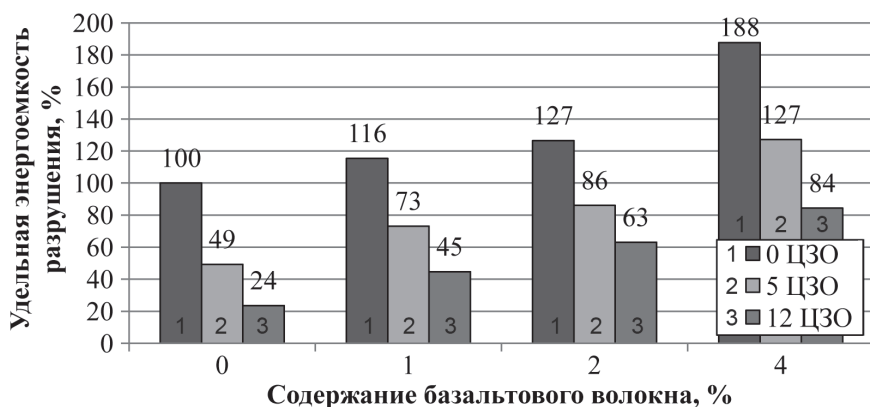


Рис. 3. Изменения удельной энергоёмкости разрушения мелкозернистого бетона армированного базальтовым волокном при неизменном количестве сбрасываний груза, в зависимости от количества циклов замораживания-оттаивания

Fig. 3. Change in the energy intensity of the destruction of fine-grained concrete reinforced with basalt fiber with an unchanged number of discharges of the cargo, depending on the number of freeze-thaw cycles

таивания. Наибольший прирост энергоёмкости разрушения на 88% наблюдается при содержании волокна в количестве 4%. Воздействие 5 циклов замораживания-оттаивания приводит к снижению исследуемого параметра разрушения у образцов контрольной неармированной серии на 51%, в то время как энергоёмкость разрушения образцов содержащих фибру в количестве 4% по прежнему превосходит энергоёмкость разрушения образцов контрольной серии.

Заключение

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что дисперсное армирование мелкозернистого бетона базальтовой фиброй способно увеличить его энергоёмкость разрушения до 1,8÷1,9 раз.

Кроме того, фиброармированные образцы бетона обладают способностью сопротивляться ударным нагрузкам после воздействия на них циклов замораживания-оттаивания. Так например, воздействие 5 циклов привело к снижению удельной энергоёмкости разрушения неармированных образцов бетона на 58% от исходной. В то же время, энер-

гоёмкость разрушения образцов содержащих 2 и 4% базальтовой фибры, после 5 циклов по прежнему превосходит энергозатраты на разрушение образцов контрольной неармированной серии в 1,2÷1,6 раз соответственно.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют, что армирование строительного материала на цементном вяжущем базальтовой фиброй способно увеличить его прочностные характеристики (сопротивляемость динамическим нагрузкам) и морозостойкость.

По нашему мнению, при условии достижения равномерного распределения волокон по объему цементно-песчаной матрицы базальтовая фибра может быть рекомендована в качестве дисперсной армирующей добавки в смеси мелкозернистого бетона. Полученные закономерности могут быть использованы при разработке составов бетонов и конструкций из них, более стойких к воздействию ударных нагрузок и знакопеременных температурных воздействий. Например, при строительстве и эксплуатации различных бетонных конструкций в условиях Севера и рудников криолитозоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зимин Д. Е., Татаринцева О. С. Армирование цементных бетонов дисперсными материалами из базальта // Ползуновский вестник. — 2013. — № 3. — С. 286–289.
2. Соловьев В. Г., Бамматов А. А., Кухарь И. Д., Нуртдинов М. Р. Эффективность взаимодействия различных видов фибры с бетонной матрицей // Наука и бизнес: пути развития. — 2018. — № 5. — С. 57–61.
3. Козлов С. Д., Матюхина М. А., Абрамов Н. М., Захарченко О. В. Стеклофибробетон / Инновационные подходы в современной науке. Материалы I международной научно-практической конференции. — М.: Изд-во ООО «Интернаука», 2017. — С. 9–13.
4. Афросабет В., Озбаккаоглы Т. Механические и долговечные свойства высокопрочного бетона, содержащего стальные и полипропиленовые волокна // Строительство и строительные материалы. — 2015. — т. 94. — С. 73–82.
5. Булекбаш Б., Хамрат М., Хемрук М., Амзян С. Изгибное поведение стального волокнистого бетона при циклической нагрузке // Строительство и строительные материалы. — 2016. — т. 126. — С. 253–262.
6. Кори Х., Хатэм М. Селим, Адель Эль-Сафти, Сами Х. Рижалма Использование базальтовых волокон для бетонных конструкций // Строительство и строительные материалы. — 2015. — т. 96. — С. 37–46.
7. Сабль Ф., Махди Н. Механические свойства и долговечность высокопрочного бетона, содержащего макрополимерные и полипропиленовые волокна с нано-кремнеземом и кремнеземным дымом // Строительство и строительные материалы. — 2017. — т. 132. — С. 170–187.
8. Алексеев К. Н., Курилко А. С. Некоторые особенности влияния базальтовой фибры ($\varnothing 13$ мкм) на прочностные и энергетические параметры разрушения цементного камня // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — СВ 30. — С. 349–356.
9. Захаров Е. В. Экспериментальные исследования удельной энергоёмкости разрушения карбонатных пород под действием циклов замораживания-оттаивания // Наука и образование. — 2017. — № 3 (87). — С. 82–85.
10. Захаров Е. В. Удельные показатели разрушения скальных пород под влиянием криогенного выветривания // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — СВ 21. — С. 90–100.
11. Курилко А. С., Алексеев К. Н., Захаров Е. В., Свинобоев А. К. Исследование удельной энергоёмкости разрушения и ударной вязкости армированного базальтовой фиброй бетона при отрицательных температурах и после воздействия циклов замораживания-оттаивания: отчёт о НИР по проекту РФФИ № 15-45-05101 «р_восток_а» (закл. отчет). — Якутск: ИГДС им. Н.В. Черского СО РАН, 2018. — 31 с.
12. Алексеев К. Н., Курилко А. С. Влияние циклов замораживания-оттаивания на энергоёмкость разрушения цементного камня армированного базальтовой фиброй // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 10. — С. 150–157. **PLAS**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Алексеев Константин Николаевич — младший научный сотрудник,
e-mail: const1711@mail.ru,
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 12, pp. 84–91.

Effect of cyclic freeze and thaw on impact resistance of fine-grained concrete depending on basalt fiber content

Alekseev K.N., Junior Researcher, e-mail: const1711@mail.ru,

¹ Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 677018, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia.

Abstract. The article presents the results of the investigations aimed to relate variation in energy consumption of fine-grained concrete destruction, content of basalt fiber and cyclic freeze–thaw effect.

The energy consumption of fine-grained concrete destruction was determined using the vertical impact testing machine by Syskov, the reinforcement of concrete was basalt fibers with a diameter of 23 μm and 6 mm long. Concrete samples saturated with sodium chlorite solution were subjected to cyclic freeze and thaw by the third rapid method (freezing temperature $50\pm 5^\circ\text{C}$) as per state standards GOST 10060.0-95 and 10060.2-95. It is found that dispersed reinforcement of fine-grained concrete with basalt fibers increases energy consumption of concrete destruction up to 1.8–1.9 times. The fiber-reinforced concrete samples are capable to resist impact loading after effect of alternating temperature. After 5 freeze and thaw cycles, reduction in the energy consumption of nonreinforced concrete destruction reaches 58% of initial value. The energy consumption of destruction of reinforced concrete samples with the basalt fiber content of 2 and 4% after 5 freeze and thaw cycles exceeds the energy consumption of destruction of nonreinforced concrete samples by 1.2 and 1.6 times, respectively. The revealed relations can be used in development of concrete compositions and structures to be higher resistant with respect to impact loading and alternating temperature effect. The sphere of application of such concrete is various-purpose construction in mines in the North and permafrost region.

Key words: Basalt fiber, fine-grained concrete, composite, energy consumption of destruction, vertical impact testing machine, freeze and thaw cycles, permafrost region.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-84-91

REFERENCES

1. Zimin D. E., Tatarintseva O. S. Armirovanie tsementnykh betonov dispersnymi materialami iz bazal'ta [The reinforcement of cement concretes with dispersed materials from basalt], *Polzunovskiy vestnik*. 2013, no 3, pp. 286–289.
2. Solov'ev V. G., Bammatov A. A., Kukhar' I. D., Nurtidinov M. R. Effektivnost' vzaimodeystviya razlichnykh vidov fibry s betonnoy matritsey [Efficiency of interaction of different types of fiber with a concrete matrix], *Nauka i biznes: puti razvitiya*. 2018, no 5, pp. 57–61.
3. Kozlov S. D., Matyukhina M. A., Abramov N. M., Zakharchenko O. V. Steklofibrobeton [Glass fiber reinforced concrete], *Innovatsionnoye podkhody v sovremennoy nauke. Materialy I mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Moscow, Izd-vo OOO «Internauka», 2017, pp. 9–13.
4. Afrosabet V., Ozbakkaogly T. Mekhanicheskie i dolgovechnye svoystva vysokoprochnogo betona, sodержashchego stal'nye i polipropilenovye volokna [Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers], *Stroitel'stvo i stroitel'nye materialy*. 2015, vol. 94, pp. 73–82.
5. Bulekbash B., Khamrat M., Khamruk M., Amzyan S. Izgibnoye povedenie stal'nogo voloknistogo betona pri tsiklicheskoy nagruzke [Flexural behaviour of steel fibre-reinforced concrete under cyclic loading], *Stroitel'stvo i stroitel'nye materialy*. 2016, vol. 126, pp. 253–262.
6. Kori Kh., Khatem M. Selim, Adel' El'-Safti, Sami Kh. Rizhalla Ispol'zovanie bazal'tovoykh volokon dlya betonnykh konstruksiy [Use of basalt fibers for concrete structures], *Stroitel'stvo i stroitel'nye materialy*. 2015, vol. 96, pp. 37–46.
7. Sabl' F., Makhdi N. Mekhanicheskie svoystva i dolgovechnost' vysokoprochnogo betona, sodержashchego makropolimernye i polipropilenovye volokna s nano-kremnezemom i kremnezemnym dymom [Mechanical properties and durability of high-strength concrete containing macro-polymeric and polypropylene fibers with nano-silica and silica fume], *Stroitel'stvo i stroitel'nye materialy*. 2017, vol. 132, pp. 170–187.
8. Alekseev K. N., Kurilko A. S. Nekotorye osobennosti vliyaniya bazal'tovoy fibry ($\varnothing 13 \text{ mkm}$) na prochnostnye i energeticheskie parametry razrusheniya tsementnogo kamnya [Some features of the influence of basalt fiber ($\varnothing 13 \mu\text{m}$) on the strength and energy parameters of the destruction of cement stone], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015. Special edition 30, pp. 349–356.
9. Zakharov E. V. Eksperimental'nye issledovaniya udel'noy energoemkosti razrusheniya karbonatnykh porod pod deystviem tsiklov zamorazhivaniya-ottauivaniya [Experimental researches of specific energy intensity of destruction of carbonate rocks under the action of freeze-thaw cycles], *Nauka i obrazovanie*. 2017, no 3 (87), pp. 82–85.
10. Zakharov E. V. Udel'nye pokazateli razrusheniya skal'nykh porod pod vliyaniem kriogennoy vyvetrivaniya [Specific parameters of rock destruction under the influence of cryogenic weathering], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016. Special edition 21, pp. 90–100.
11. Kurilko A. S., Alekseev K. N., Zakharov E. V., Svinoboev A. K. Issledovanie udel'noy energoemkosti razrusheniya i udarnoy vyazkosti armirovannogo bazal'tovoy fibroy betona pri otritsatel'nykh temperaturakh i posle vozdeystviya tsiklov zamorazhivaniya-ottauivaniya: otchet o NIR [Investigation of specific energy intensity of fracture and toughness of basalt fiber reinforced concrete at negative temperatures and after exposure to freeze-thaw cycles: Research report], Yakutsk, 2018, 31 p.
12. Alekseev K. N., Kurilko A. S. Vliyaniye tsiklov zamorazhivaniya-ottauivaniya na energoemkost' razrusheniya tsementnogo kamnya armirovannogo bazal'tovoy fibroy [Effect of freeze-thaw cycles on the energy intensity of the destruction of cement stone reinforced with basalt fiber], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 10, pp. 150–157. [In Russ].