

УДК 691.3

ЗАВИСИМОСТЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННОГО МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА ОТ ВИДА ИЗВЕСТНЯКОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ.

Когай Э.А., Макарова Е.С., Федоркин С.И.

Институт «Академия строительства и архитектуры» КФУ им. В.И. Вернадского",
г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: kogay_emil@mail.ru

Анотация: в статье рассматривается влияние вида известняковых заполнителей из известняков месторождений Крыма на физико-механические свойства мелкозернистых бетонов, дисперсно-армированных стекловолокном и базальтовым волокном.

Предмет исследования: физико-механические характеристики дисперсно-армированного мелкозернистого бетона на основе известняков различного генезиса.

Материалы и методы: в качестве объектов исследования использованы известняки различного генезиса и дисперсно-армированные стекловолокном и базальтовым волокном мелкозернистые бетоны на их основе. Физико-механические свойства бетонов определяли по стандартным методикам.

Результаты: получены экспериментальные результаты, свидетельствующие о получении качественных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов в зависимости от вида известняковых пород.

Выводы: применение известняковых заполнителей различного генезиса в производстве мелкозернистых бетонов, дисперсно-армированных стекловолокном и базальтовым волокном, позволяют получить материал с пределом прочности при сжатии 20,0 – 26,75 МПа и пределом прочности на растяжение при изгибе 4,10 – 5,21 МПа.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, известняковые заполнители, дисперсное армирование, прочность при сжатии, прочность на растяжение при изгибе.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в Республике Крым существенно возрос объём строительства жилых и общественных зданий. Рост объёмов всех видов строительства связан в первую очередь, с реализацией федеральных целевых программ в Крыму, развитием рекреационного строительства и т.п.

Отсутствие в республике кварцевых песков, пригодных для изготовления качественного бетона, вызывает необходимость использования привозных заполнителей из других регионов России, что существенно осложняет логистику процесса строительства и приводит к его удорожанию.

В тоже время, в Крыму широко используются строительные материалы из различного вида пыльных известняков. Широкое использование в строительстве известняковых камня и блоков, добываемых в карьерах многочисленных месторождений региона, требует утилизации значительного объёма известняковых отходов камнепиления.

Известно, что бетоны на известняковых заполнителях обладают пониженной прочностью и повышенной деформативностью. Для улучшения их физико-механических характеристик необходимо увеличивать расход дорогостоящего цемента, что приводит к удорожанию изделий и строительства, в целом.

Одним из путей повышения физико-механических свойств бетона и экономии цемента является его дисперсное армирование различными волокнами. Влияние дисперсного армирования на

свойства бетона с известняковыми заполнителями, на наш взгляд, исследовано недостаточно. Необходимость проведения таких исследований определяется, также, разнообразием известняков Крыма как по генезису, так и по свойствам.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

На протяжении многих десятилетий многими исследователями решались проблемы повышения прочности бетона. Одним из путей решения этой проблемы является дисперсное армирование бетонов различными видами волокон. Использование же волокон в качестве арматуры с целью преодоления недостаточной прочности при растяжении и сжатии бетонных изделий на основе известняковых заполнителей дает возможность получать бетоны с более широкими возможностями их применения в строительстве [1 – 4]. Впервые результаты многолетних исследований в области конструктивных бетонов на основе заполнителей из известняков и известняков-ракушечников и применение этих бетонов в железобетонных конструкциях зданий и сооружений были обобщены в монографии Р.Л. Маиляна [5]. Исследованиями бетонов на карбонатных заполнителях занимались многие ученые в нашей стране и за рубежом – П.Е. Еременок, В.Е. Ящука, М.А. Якубович, Б.Г. Скрамтаев, А.И. Конопленко и др [6]. Многочисленными экспериментами эти исследователи доказали, что бетоны на основе высокопрочных карбонатных пород не уступают по прочности бетонам с заполнителем из изверженных пород (гранит, габбро и др.). Особенности карбонатных заполнителей позволяют использовать

как плотные, так и пористые их разновидности для приготовления конструктивных бетонов и железобетонных конструкций, в том числе предварительно напряженных. К тому же, широкое применение местных материалов в частности карбонатных пород, запасы которых практически неисчерпаемы на территории России, приведут к удешевлению готовых изделий. Сравнивая различные виды армирования, можно отметить, что общими являются требования долговечности и технико-экономической целесообразности. Одним из аспектов, влияющих на долговечность бетона, является способность конструкций сохранять или увеличивать прочность при неблагоприятных физико-механических и химических воздействиях.

Дисперсное армирование позволяет в большой степени компенсировать главные недостатки бетона, низкую прочность при растяжении и хрупкость разрушения. Одним из главных элементов дисперсно-армированного бетона являются армирующие волокна (минеральные, полимерные и др.). Благодаря этому становится возможным усиление участков, находящихся в непосредственной близости к поверхности и достигается меньшая чувствительность к механическим воздействиям.

Введение дисперсных волокон в бетон обеспечивает перераспределение напряжений в бетонной матрице. На этом принципе основывается использование дисперсного армирования. Рассматривая дисперсно-армированный бетон можно отметить, что этот материал представляет собой две матрицы, которые воспринимают на себя нагрузку. Это бетонная матрица – основная, и вспомогательная – матрица из армирующих волокон. Эти матрицы взаимодействуют друг с другом. На стадии упругих деформаций активно воспринимает нагрузку бетон. Волокна на этой стадии в меньшей степени участвуют в работе бетона. При значительном увеличении нагрузки в работу активно включается матрица, образуемая волокнами.

Бетон, дисперсно-армированный волокнами, является типичным композиционным материалом с характерными для него особенностями и свойствами. Упрочнение волокнами основывается на предположении, как и в традиционном армированных структурах, что материал бетонной матрицы передает волокнам приложенную нагрузку посредством касательных сил, действующих на поверхности и, если модуль волокна больше модуля матрицы, то основную долю приложенных напряжений воспринимают волокна, а общая прочность композиции пропорциональна их объёмному содержанию.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью настоящей работы являлось исследование влияния дисперсного армирования на физико-механические свойства карбонатного

бетона в зависимости от вида известняковых заполнителей.

Для решения поставленной цели были решены следующие задачи:

- изучены физико-механические свойства известняков различного генезиса;
- изготовлены лабораторные образцы бетона с несколькими видами дисперсного армирования с карбонатными заполнителями из известняков различного генезиса;
- определены прочностные свойства бетона в зависимости от вида армирующих волокон и известняковых заполнителей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Известняки Крымского полуострова представлены различными видами разного генезиса. По своему происхождению их можно разделить на органогенные – осадочные (нуммулитовые, мшанковые, известняки-ракушечники), хемогенные – химического осаждения (оолитовые) и метаморфические перекристаллизованные (мраморовидные) [7].

В настоящем исследовании использованы известняки следующих месторождений Крыма:

- мшанковый известняк Альминского месторождения;
- нуммулитовый известняк Скалистого месторождения;
- известняк-ракушечник Бешараньского месторождения;
- оолитовый известняк Евпаторийского месторождения;
- мраморовидный известняк месторождения Мраморное.

По своему генезису мшанковый известняк представлен породой датского яруса верхнего мела. Известняк частично перекристаллизованный, с тонкими выщелоченными прослойками. Нуммулитовый известняк месторождения представлен мощной толщей породы симферопольского яруса среднего эоцена. По своей структуре плотный, частично перекристаллизованный.

Известняк-ракушечник Бешараньского месторождения представляет собой желто-бурую породу понтического яруса (нижний ярус плиоценового отдела). Известняк перекристаллизован, с кавернами и пустотами. Верхние слои состоят, в основном, из остатков моллюсков в виде ядер и отпечатков. Моллюски представлены кардидами дрейссенциями.

Оолитовый известняк представлен оолитовой и оолито-детритовой породой понтического яруса, раковинно-детритовыми и брекчиевидными известняками мзотического яруса, раковинными (мактровыми) и пелитоморфными известняками верхнего сармата.

Мраморовидный известняк представляет собой породу, состоящую из рифовых мраморовидных

известняков кимеридж-титонского яруса верхней юры. Он представлен двумя разновидностями мраморизованных известняков, серыми – массивной текстуры, содержащими перекристаллизованные остатки кораллов, прожилки и гнезда кальцита, и красно-бурых, сложенных разновидностями

пятнистых (коралловых) и брекчиевидных известняков.

В таблице 1 приведены физико-механические свойства крымских известняков указанных выше месторождений, а в таблице 2 их химический состав.

Таблица 1. Физико-механические свойства Крымских известняков различного генезиса.

Table 1. Physical and mechanical properties of Crimean limestones of various genesis.

Вид известняка	Истинная плотность, г/см ³	Средняя плотность, г/см ³	Пористость, %	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициенты	
						размягчения	морозостойкости
Мшанковый известняк	2,7 – 2,72	1,5 – 2,1	23,3 – 44,3	8,2 – 20,8	5,3 – 37,6	0,54 – 0,94	0,54 – 0,96
Нуммулитовый известняк	2,7 – 2,73	1,5 – 2,1	23,0 – 44,3	6,9 – 19,3	4,1 – 34,6	0,46 – 0,97	0,55 – 0,99
Известняк-ракушечник	2,7 – 2,72	0,85 – 1,9	30,2 – 66,9	7,4 – 33,3	0,4 – 2,6	0,56 – 0,96	0,51 – 0,98
Оолитовый известняк	2,71 – 2,78	1,5 – 1,8	36,9 – 45,0	9,1 – 11,2	8,0 – 18,0	0,63 – 0,96	0,87 – 0,93
Мраморовидный известняк	2,7 – 2,75	2,6 – 2,7	1,4 – 4,0	0,05 – 1,3	35,7 – 182,3	0,75 – 1,0	0,74 – 0,99

Таблица 2. Химический состав Крымских известняков различного генезиса

Table 2. Chemical composition of Crimean limestones of various genesis

Вид известняков	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	PO ₅	R ₂ O ₃
Мшанковый известняк	37,10 – 42,92	0,12 – 8,08	0,11 – 2,86	0,01 – 0,61	44,28 – 55,07	0,18 – 1,77	0,00 – 0,30	0,23 – 0,80	0,01 – 0,04
Нуммулитовый известняк	38,51 – 43,50	1,00 – 10,1	0,11 – 1,02	0,11 – 0,72	46,65 – 54,90	0,30 – 2,04	следы – 0,50	0,30 – 1,80	0,01 – 0,07
Известняк-ракушечник	33,60 – 44,00	0,01 – 3,56	1,10 – 3,21	0,10 – 1,14	42,2 – 56,0	0,19 – 1,74	0,10 – 4,10	0,05 – 1,16	0,11 – 0,65
Оолитовый известняк	38,63 – 42,41	1,7	0,21	0,32	53,1	0,49	0,54	–	–
Мраморовидный известняк	42,24 – 43,90	0,92 – 1,96	0,02 – 1,67	0,12 – 0,80	48,08 – 56,00	0,01 – 2,96	0,28 – 0,81	–	–

В качестве сырьевых материалов для проведения экспериментальных исследований нами использовало стекловолокно и базальтовое волокно. Основные характеристики волокон приведены в таблице 3. В качестве вяжущего применяли портландцемент марки М 400 Бахчисарайского цементного завода. Мелким заполнителем служили известняки месторождений Крыма различного генезиса.

Испытания экспериментальных образцов для определения предела прочности при сжатии и предела прочности на растяжение при изгибе производили на прессе П-125 по ГОСТ 10180-2012 на образцах-кубах с размером ребра 10 см и

образцах-балочках размером 4×4×16 см в 28-суточном возрасте. Уплотнение бетонной сырьевой смеси осуществляли на виброплощадке СМЖ-739. Исследование влияния дисперсного армирования на физико-механические свойства мелкозернистых бетонов были проведены на исходной смеси состава "цемент-песок" – 1:3. Состав смеси соответствовал подвижности по глубине проникновения стандартного конуса 4 см, что обеспечивало необходимую удобоукладываемость бетонной смеси.

Таблица 3. Основные характеристики волокон

Table 3. Main characteristics of fibers

№ п/п	Вид волокна	Диаметр, мм	Длина, мм	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа	Модуль упругости, ГПа	Относительное удлинение, %
1	Стекловолокно	0,3	15	2540	2700 – 3500	76 – 78	4,5 – 4,9
2	Базальтовое волокно	05	15	2670	3000 – 3500	70 – 90	3,0 – 3,2

На первом этапе было исследовано влияние количественного содержания волокон на предел прочности бетона на растяжение при изгибе. Количественное содержание волокон изменялось в пределах 1 – 7 % от массы цемента. Результаты

определения предела прочности на растяжение бетона при изгибе на известняковых заполнителях различного вида в зависимости от количественного содержания волокон приведены на рисунке 1.

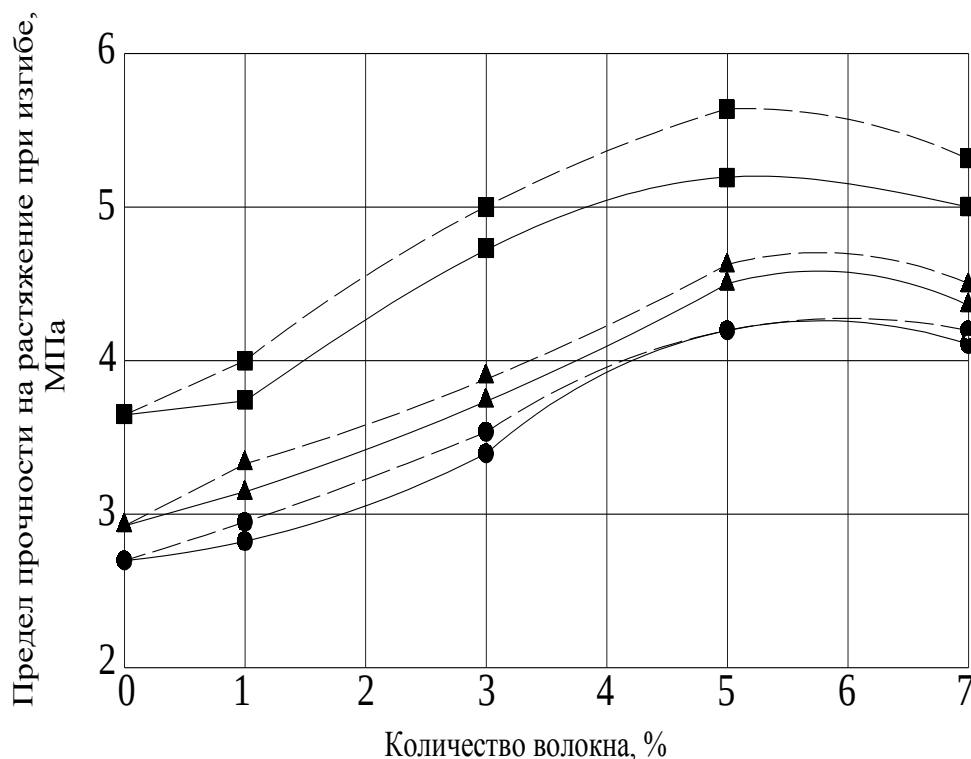


Рис.1. Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе бетонных образцов на различных известняковых заполнителях от количества стекловолокна () и базальтового волокна (- - -). ● – мшанковый известняк, ▲ – известняк-ракушечник, ■ – мраморовидный известняк

Fig.1. The dependence of the tensile strength during bending of concrete samples on various limestone aggregates on the amount of fiberglass () and basalt fiber (- - -). ● - mossy limestone, ▲ - limestone-shell rock, ■ - marble limestone

При увеличении содержания волокон с 1 до 5 % прочность бетона на всех видах известнякового заполнителя возрастает. Для стекловолокна она увеличивается в 1,45 – 1,57 раза, для бетона на базальтовом волокне – в 1,51 – 1,62 раза. Наблюдается некоторое снижение предела прочности бетона на растяжение при изгибе при увеличении количества волокон более 5 %. Это связано с ухудшением процесса перемешивания бетонной смеси. В дальнейших экспериментальных исследованиях количество вводимых в бетонную смесь волокон было принято равным 5 %.

Результаты исследования влияния дисперсного армирования волокнами на прочностные свойства мелкозернистого бетона в зависимости от вида известняковых заполнителей, отличающихся различными генезисом, приведены в таблице 4.

Анализируя результаты экспериментальных исследований (таблица 4) можно заключить, что

прочностные характеристики дисперсно-армированного бетона существенно зависят от вида используемых известняковых заполнителей. Максимальной прочностью обладают бетоны с использованием в качестве заполнителя мраморовидного известняка, что объясняется более высокой прочностью зёрен этого известняка по сравнению с другими разновидностями заполнителя, независимо от вида применяемых армирующих волокон. Предел прочности при сжатии бетона на мраморовидном заполнителе на 9,4 – 15,5 % больше, чем, например, у бетона на мшанковом известняке, а предел прочности на растяжение при изгибе на 18,4 – 21,9 %.

Прочность бетонных образцов на базальтовом волокне для всех типов используемых известняков в 1,02 – 1,22 раза больше, чем на стекловолокне, что объясняется более высокой прочностью при растяжении базальтовых волокон (таблица 3).

Таблица 4. Физико-механические свойства мелкозернистого дисперсно-армированного бетона в зависимости от вида известняковых заполнителей
Table 4. Physical and mechanical properties of fine-grained dispersed reinforced concrete depending on the type of limestone aggregates

№ п/п	Вид известняковых заполнителей	Вид волокна	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа
1.	Мшанковый известняк	Контрольный образец	18,1	2,69
		Базальтовое волокно	24,4	4,81
		Стекловолокно	20,0	4,40
2.	Нуммулитовый известняк	Контрольный образец	18,4	2,71
		Базальтовое волокно	24,7	4,92
		Стекловолокно	21,5	4,63
3.	Известняк-ракушечник	Контрольный образец	20,3	2,90
		Базальтовое волокно	25,0	4,25
		Стекловолокно	23,3	4,44
4.	Оолитовый известняк	Контрольный образец	20,0	3,00
		Базальтовое волокно	24,3	4,10
		Стекловолокно	22,8	3,91
5.	Мраморовидный известняк	Контрольный образец	21,4	3,54
		Базальтовое волокно	26,7	5,02
		Стекловолокно	23,1	5,21

Ввод в бетонную смесь стекловолокна увеличивает предел прочности бетона на растяжение при изгибе в 1,3 – 1,7 раз по сравнению с контрольными образцами без армирования, а предел прочности при сжатии в 1,07 – 1,17 раз. Ввод базальтового волокна приводит к увеличению этих прочностных показателей в 1,36 – 1,81 и 1,22 – 1,34 раз, соответственно. Базальтовое волокно существенно увеличивает прочность бетона на сжатие и растяжение по сравнению со стекловолокном для всех видов используемых известняковых заполнителей. Причем, максимальный прирост прочностных показателей наблюдается у мелкозернистых бетонов на мшанковом и нуммулитовом известняках, обладающих минимальным пределом прочности при сжатии (таблица 1). Это объясняется тем, что при приложении нагрузки, волокна при свободной ориентации в материале воспринимают усилия практически любого направления на более ранней стадии у бетона на менее прочных известняковых заполнителях. Низкий предел прочности при сжатии оолитового известняка и известняка-ракушечника (таблица 1) связан с их высокой пористостью. Пески же из этих известняков, ввиду высокой прочности слагающих их раковин, обладают также высокой прочностью зёрен. Поэтому, прочностные показатели бетона из этих известняков выше, чем на мшанковых и нуммулитовых, но ниже, чем на мраморовидных.

Полученные экспериментальные результаты физико-механических характеристик мелкозернистого дисперсно-армированного бетона на известняковых заполнителях свидетельствуют о возможности получения качественных строительных материалов независимо от генезиса известняковых пород.

ВЫВОДЫ

1. Применение известняковых заполнителей различного генезиса в производстве мелкозернистых бетонов дисперсно-армированных стекловолокном и базальтовым волокном позволяют получить материал с пределом прочности при сжатии 20,0 – 26,75 МПа и пределом прочности на растяжение при изгибе 4,10 – 5,21 МПа.

2. Использование дисперсного армирования мелкозернистых бетонов на известняковых заполнителях крымских месторождений даст возможность существенно расширить сырьевую базу строительства и уменьшить стоимость возводимых зданий и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнеева И.Г. К вопросу оптимального армирования мелкозернистого бетона базальтовыми волокнами / И.Г. Корнеева, Н.А. Емельянова // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2016. №4(19). – С. 122-128.
2. Бучкин А.В. Мелкозернистый бетон высокой коррозионной стойкости, армированный тонким базальтовым волокном: дис. ... кандидаты техн. Наук: 05.23.05 / Бучкин Андрей Викторович – Москва, 2011, 130 с.
3. Ставров Т.Н. Влияние фибрового армирования на прочность бетона при динамических нагружениях / Т.Н. Ставров, В.П. Романов, И.Д. Захаров // Технология изготовления и свойства новых композиционных строительных материалов. Межвуз. темат. сб. трудов. – Л., 1986. – С.49-57.
4. Деревянко В.Н. Теоретические основы повышения стойкости и технология дисперсно-армированных покрытий: дис. ...доктора техн. наук:

05.23.05 / Деревянко Виктор Николаевич – Днепропетровск. – 2002. – 335 с.

5. Маилян Р.Л., Бетон на карбонатных заполнителях / Р.Л. Маилян // Изд-во Ростовского университета. – Ростов-на-Дону. – 1967. – 271 с.

6. Рабинович Ф.Н. Бетоны, дисперсно-армированные волокнами: обзор / Ф.Н. Рабинович // М. – 1976. – 73 с.

7. Любомирский Н.В. Минерально-сырьевая база строительной индустрии Крыма: Справочник / авт. – соис. Н.В. Любомирский, С.И. Федоркин. – Симферополь: ИТ "Ариал", 2021. – 540 с.

REFERENCES

1. Korneeva I.G. On the issue of optimal reinforcement of fine-grained concrete with basalt fibers / I.G. Korneeva, N.A. Emelyanova // News of universities. Investment. Construction. Realty. – 2016. №4(19). – Pp.122-128.

2. Buchkin A.V. Fine-grained concrete of high corrosion resistance reinforced with thin basalt fibers: dis. ...tenx candidates. Sciences: 05.23.05 / Buchkin Andrey Viktorovich - Moscow, 2011, 130с.

3. Stavrov T.N. The influence of fiber reinforcement on the strength of concrete under dynamic loads / T.N. Stavrov, V.P. Romanov, I.D. Zakharov // Manufacturing technology and properties of new composite building materials. Inter-university. temat. sb. trudov. – L., 1986. – Pp.49-57.

4. Derevyanko V.N. Theoretical foundations of increasing durability and technology of dispersed-reinforced coatings: dis. ... Doctor of Technical Sciences: 05.23.05 / Derevyanko Viktor Nikolaevich - Dnepropetrovsk. – 2002. – 335 p.

5. Mailyan R.L., Concrete on carbonate aggregates / R.L. Mailyan // Publishing House of the Rostov University. – Rostov-on-Don. – 1967. – 271 p.

6. Rabinovich F. N. Concrete, dispersion-reinforced fibers: a review / F. N. Rabinovich // М. – 1976. – 73 p.

7. Lubomirski N. In. Mineral resources of the construction industry of the Crimea: a Handbook / ed. – соis. N.In. Lyubomirsky, S. I. Fedorkin. – Simferopol: IT "Ariall", 2021. – 540 p.

DEPENDENCE OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF DISPERSED-REINFORCED FINE-GRAINED CONCRETE ON THE TYPE OF LIMESTONE AGGREGATES.

Kogay E.A., Makarova E.S., Fedorkin S.I.

Institute «Academy of Construction and Architecture» of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Simferopol, Kievskaya str., 181
email: kogay_emil@mail.ru

Abstract. The article examines the influence of the type of limestone aggregates from limestone deposits of the Crimea on the physical and mechanical properties of fine-grained concrete, dispersed-reinforced with fiberglass and basalt fiber.

Subject of research: physical and mechanical characteristics of dispersed-reinforced fine-grained concrete based on limestones of various genesis.

Materials and methods: limestones of various genesis and fine-grained concretes based on them, reinforced with glass fiber and basalt fiber, were used as objects of research. The physical and mechanical properties of concrete were determined by standard methods.

Results: experimental results have been obtained, indicating the production of high-quality dispersed-reinforced fine-grained concrete, depending on the type of limestone rocks.

Conclusions: the use of limestone aggregates of various genesis in the production of fine-grained concrete dispersed reinforced with fiberglass and basalt fiber allows to obtain a material with a compressive strength of 20.0 - 26.75 MPa and a tensile strength of 4.10 – 5.21 MPa.

Key words: fine-grained concrete, limestone aggregates, dispersed reinforcement, compressive strength, flexural tensile strength.