

УДК 691.33

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ФИБРОБЕТОНА НА КОМПОЗИЦИОННОМ ВЯЖУЩЕМ

**Федюк Р.С.**

*ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток,  
e-mail: roman44@yandex.ru*

Исследовано водопоглощение фибробетонов на композиционном вяжущем и природных заполнителях Дальнего Востока. Водопоглощение образцов определялось по ГОСТ 12730. Определено водопоглощение бетона по массе и по объему для 6 различных составов, в результате определены оптимальные составы. Рассмотрено влияние водоцементного отношения на проницаемость мелкозернистого фибробетона (в частности, явление седиментации). Установлены оптимальные седиментации бетонной смеси. Выявлено положительное влияние дисперсного армирования на снижение проницаемости бетона. Показано положительное влияние дисперсного армирования на снижение проницаемости бетона за счёт равномерно распределенной фибры, затрудняющей процессы изменения объема в твердеющем бетоне и возможности появления и раскрытия трещин. Установлено, что зола и известняковый порошок, входящие в состав композиционного вяжущего, способствуют синтезу новообразований и созданию более плотной микроструктуры цементного камня, предотвращая проникание влаги, снижают водонасыщение покрытия, что положительно сказывается на сроках эксплуатации.

**Ключевые слова:** композиционное вяжущее, бетон, цементный камень, водопоглощение, проницаемость, седиментация

## RESEARCH ON WATER ABSORPTION FINE-GRAINED FIBER-REINFORCED CONCRETE ON COMPOSITE BINDERS

**Fediuk R.S.**

*Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education «Far Eastern Federal University»,  
Vladivostok, e-mail: roman44@yandex.ru*

Studied the water absorption on the fiber-reinforced concrete composite binder and natural aggregates Far East. Water absorption of the samples was determined according to GOST 12730. Defined water absorption of concrete by weight and by volume to 6 different formulations, as a result of the optimal formulations. The influence of water-cement ratio on the permeability of the fine fiber-reinforced concrete (in particular, a phenomenon of sedimentation). Optimum sedimentation concrete. A positive impact on the reduction of particulate reinforcement permeability of concrete. A positive impact on the reduction of particulate reinforcement permeability of the concrete due to uniformly distributed fibers, complicates the process of change in volume in the hardening concrete and the possibility of occurrence and cracking. It was found that the ash and limestone powder, make up the composite binder, promote the synthesis of tumors and a more dense microstructure of cement paste, preventing the penetration of moisture, reduce water saturation coverage that has a positive effect on service life.

**Keywords:** composite binders, concrete, cement stone, water absorption, permeability, sedimentation

Водопоглощение по массе является одним из важнейших свойств бетона, от численного значения водопоглощения бетона зависят и другие основные физико-технические показатели, такие как морозостойкость, коррозионная стойкость, деформационные характеристики.

Проблеме повышения плотности и прочности бетонов посвящено большое количество работ как российских, так и зарубежных ученых. Известно, что одним из способов повышения эксплуатационных характеристик бетонов, снижения параметров проницаемости является использование высокоактивных добавок различного состава и генезиса, как микро-, так и нанодисперсного уровня, которые способствуют оптимизации процессов структурообразования за счет инициирования формирования гидратных соединений. Так в работах, выполненных ранее [1, 5], была доказана

эффективность использования в качестве активной минеральной добавки наноструктурированного модификатора кремнеземсодержащего состава. Кроме того, изучены возможности снижения параметров проницаемости бетона за счет механического измельчения компонентов композиционного вяжущего (КВ).

Согласно работе [5], уменьшения пористости и повышения прочности (плотности) матрицы можно достичь использованием высокодисперсных добавок и пластификаторов (гиперпластификаторов), при этом водоцементное отношение В/Ц должно быть не более 0,4.

Высокодисперсные добавки положительно влияют на структурообразование бетона («эффект микронаполнителя») [1]. Этот эффект проявляется в том, что тонкомолотые частицы имеют более тонкий гранулометрический состав, чем портланд-

цемент. При увеличении объемной концентрации добавок снижается пористость цементного камня в бетоне. Но при достижении максимума наполнения тонкомолотой добавкой происходит снижение прочностных характеристик бетона вследствие ухудшения сцепления цементного камня с заполнителем. В смешанной системе цемента с тонкомолотыми добавками необходимо, чтобы дисперсные частицы не обволакивали поверхность образующихся фаз и не препятствовали срастанию между кристаллогидратами. Это условие может быть соблюдено при оптимизации объемной концентрации добавки в композите с учетом гидравлической активности.

Целью работы является изучение физической возможности снижения водопоглощения мелкозернистого фибробетона на композиционном вяжущем.

### Материалы и методы исследования

Микродобавкой с оптимальной дозировкой должен быть объем, сопоставимый с объемом капиллярных пор и необходимый для заполнения соответствующих пустот, а также уплотнения структуры [4]. Эффект заполнения пустот является физическим фактором и наблюдается независимо от гидравлической активности тонкомолотой добавки.

Повышение прочности вяжущих при введении в их состав высокодисперсных добавок, помимо гидравлической активности, также может быть объяснено образованием наиболее мелких зернами добавок центров кристаллизации в контактной зоне цемента. «Эффект микрозаполнителя» невозможно объяснить только образованием дополнительных центров кристаллизации, поскольку непосредственное их действие заключается в ускорении начальной стадии химического твердения. В основе «эффекта микрозаполнителя» лежат как химические процессы взаимодействия цемента с продуктами гидратации, так и физико-химические явления, например влияние поверхностной энергии частиц высокодисперсных добавок.

Для снижения водопоглощения бетона было разработано композиционное вяжущее на основе цемента, золы уноса теплостанций, отсева дробления известняка и гиперпластификатора, полученное путем совместного помола в варио-планетарной мельнице исходных компонентов до удельной поверхности 550 м<sup>2</sup>/кг. В качестве заполнителя применялся отсев дробления гранитного щебня, обогащенный песком.

Оптимизация процессов структурообразования при гидратации компонентов композиционного вяжущего создает плотную структуру матрицы, что необходимо для решения задачи – создания композита для защиты от выделений пенополистирола. Это может быть реализовано при совместном помоле портландцемента, полифункциональных минеральных добавок и снижения водоцементного отношения бетонной смеси за счет применения гиперпластификаторов.

Для снижения водопотребности бетонной смеси производили выбор порошковых гиперпластификаторов из шести наиболее распространенных на дальневосточном рынке строительных материалов. Расплав цементного теста измеряли с использованием конуса Хагерманна. Для цементного раствора применялся цемент ЦЕМ I 42,5Н. Водоцементное отношение – 0,3. Дозировка пластификатора – 0,3 %. Время начала измерения расплава конуса фиксировалось после окончания перемешивания цементного теста. Достижение высоких значений расплава конуса отмечается на сырьевой смеси вяжущего с применением гиперпластификатора PANTARHIT PC160 Plv (FM) (табл. 1).

Для дальнейших исследований было разработано 6 составов композиционного вяжущего. В каждый из них был добавлен гиперпластификатор PANTARHIT PC160 Plv (FM) в количестве 0,3 %, соотношение «вяжущее: песок» – 1:3.

Водопоглощение образцов определялось по ГОСТ 12730 [2]. Образцы помещали в емкость, наполненную водой, с таким расчетом, чтобы уровень воды в емкости был выше верхнего уровня уложенных образцов примерно на 50 мм. Образцы укладывали на прокладки так, чтобы высота образца была минимальной (призмы и цилиндры укладывают на бок). Температура воды в емкости должна быть (20 ± 2) °С. Образцы взвешивали через каждые 24 ч водопоглощения на весах с погрешностью не более 0,1 %. Массу воды, вытекшую из пор образца на чашку весов, включали в массу насыщенного образца. Испытание проводили до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний не отличались более чем на 0,1 %. Образцы, испытываемые в состоянии естественной влажности, после окончания процесса водонасыщения высушивали до постоянной массы по ГОСТ 12730.2.

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты экспериментальных исследований по водопоглощению бетонов на основе разработанного композиционного вяжущего представлены в табл. 2, рис. 1 и 2.

Таблица 1

Расплав цементного теста с различными гиперпластификаторами

Время начала измерений, мин	Melflux 1641 F Германия	Melflux 5581 F Германия	PANTARHIT PC160 Plv (FM) Магнитогорск, РФ	FOX <sup>TM</sup> -8H (Pwd), Москва, РФ	PC-1030 Китай	JK-04 PPM Китай
	расплав, мм					
0	290	350	370	250	240	130
5	380	390	400	260	280	120
30	390	350	390	240	190	98

Таблица 2

Водопоглощение мелкозернистого бетона в зависимости от состава вяжущего

№ состава	Расход материалов на 1 м³						ОК	Водопоглощение			
	Вяжущее, кг				Отсев дробле- ния гранитного щебня, кг	Песок, кг		Вода, л	% по массе	кг/м³	% по объему
	Ц	Зола	Известняк	ГП							
1	550	–	–	1,2	1000	623	220	10-12	6,1	148,23	14,8
2	278	235	37				330		2,5	60,75	6,1
3	265	246	39				334		2,6	63,18	6,3
4	247	257	46				337		3,2	77,76	7,8
5	234	268	48				343		4,5	94,06	9,6
6	220	278	52				348		5,1	100,36	10,0

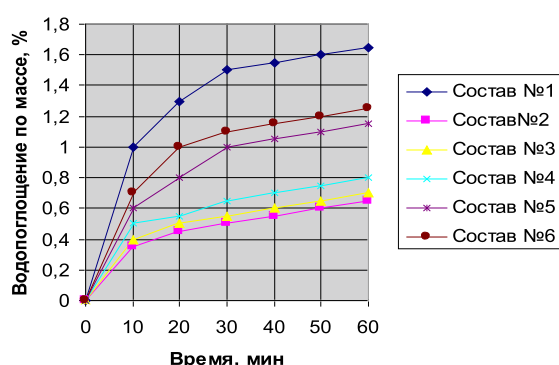


Рис. 1. Водопоглощение мелкозернистого бетона в зависимости от состава вяжущего (за 1 час)

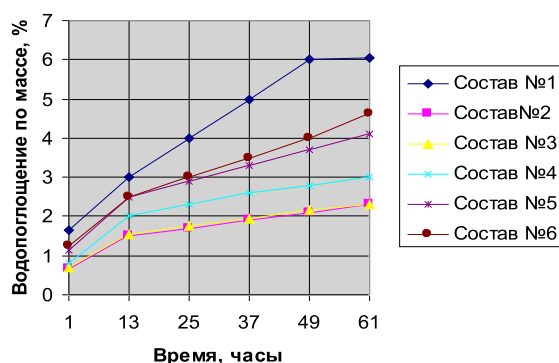
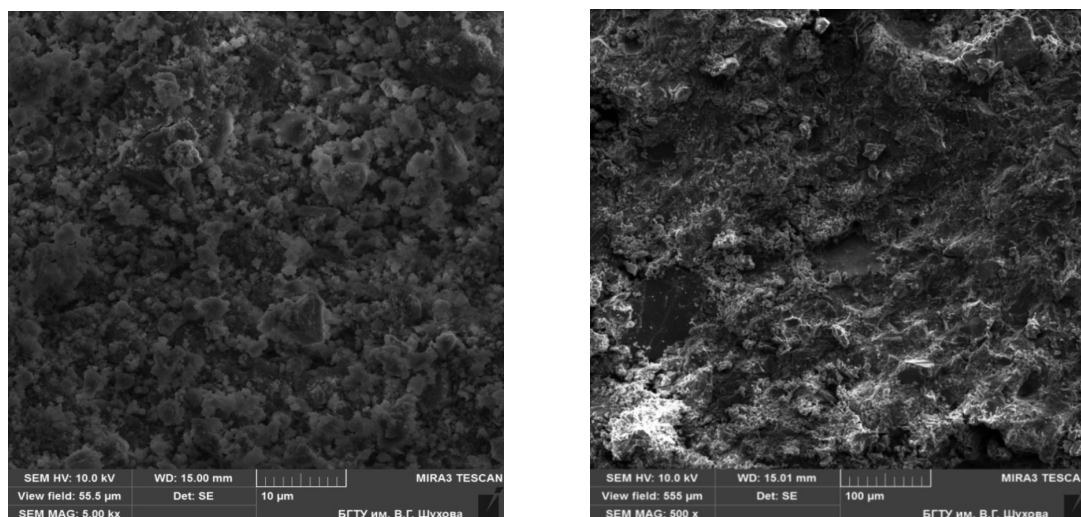


Рис. 2. Водопоглощение мелкозернистого бетона в зависимости от состава вяжущего (за 3 суток)

Результаты испытаний образцов мелкозернистого бетона в зависимости от состава вяжущего на водопоглощение показали, что наилучшие показатели имеют образцы составов № 2 и № 3, приготовленные из оптимальных соотношений цемента, золы и отсева

дробления известняка. Сравнивая показатели водопоглощения по массе этих составов с составом № 1, приготовленным на традиционном цементе (6,1%), следует отметить, что показатели паропроницаемости разработанных составов № 2 и № 3 снижаются по сравнению с составом № 1 более, чем в 2 раза. Эти результаты свидетельствуют о формировании плотной структуры мелкозернистого бетона. Достаточно низкое водопоглощение материала объясняется особенностями строения его порового пространства. Увеличение тонкости помола композиционного вяжущего способствует созданию микрокапиллярной структуры и значительному снижению объема макрокапилляров и, таким образом, уменьшению водопоглощения (как впрочем, и других видов проницаемости бетона).

Рассматривая влияние водоцементного отношения на проницаемость мелкозернистого фибробетона, следует отметить явление седиментации, вызываемой высокой подвижностью цементного теста, а также различными показателями объемной массы и конфигурации заполнителя и дисперсной арматуры [3]. Расслоение фибробетонной смеси заключается в оседании вначале более крупных фракций, составляющих смесь. В ходе расслоения выжимается свободная вода, которая, поднимаясь вверх, обтекает зерна заполнителей, образуя сеть сообщающихся капилляров. Подобное выжимание воды обуславливает наружное водоотделение, скопление воды на горизонтальных поверхностях бетонных образцов, при этом верхний слой бетона становится более пористым. При внутреннем водоотделении часть воды скапливается под нижними поверхностями частиц заполнителей и образует полости, параллельные слоям укладки бетона.



а)

б)

Рис. 3. Микрофотографии новообразований: а – цементный камень без добавок; б – цементный камень на основе композиционного вяжущего

Седиментация бетонной смеси была выявлена в большей или меньшей степени в образцах № 4, № 5 и № 6. У образцов № 2 и № 3, а также у контрольного образца № 1 процесс седиментации не был отмечен.

Более плотное строение вяжущей композиции с меньшей пористостью подтверждается микроструктурными исследованиями. При фазообразовании модифицированного вяжущего увеличивается количество гелеобразных гидратных новообразований на поверхности частиц наполнителя (рис. 3, б), отсутствуют видимые кристаллы портландита, что свидетельствует о снижении его доли в общей массе гидросиликатной связки.

В структуре модифицированного вяжущего наблюдается рост кристаллов игольчатой и «стеблевидной» морфологии предположительно низкоосновных гидросиликатов, присутствуют также пластинчатые кристаллы предположительно гидрокарбоалюминатов кальция (рис. 3, б). Синтез этих соединений является результатом взаимодействия выделяющегося при гидратации клинкерных минералов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с активными минеральными составляющими золы и известняка. Рост игольчатых кристаллов способствует армированию структуры композита на нано- и микроуровне, снижению пористости и в комплексе повышению прочности композита.

Наиболее высокий эффект достигается за счет синергетического действия техногенных пуццолановых добавок (зола уноса) и природных материалов осадочного про-

исхождения (известняк) при содержании: цемент – 55 мас.%, отход дробления известняка – 5 мас.% и зола – 40 мас.%. При таком составе композиционное вяжущее достигает предела прочности при сжатии до 77,3 МПа при замене 45% цемента на промышленные отходы.

Для определения влияния дисперсного армирования на седиментацию были заформованы образцы, как с фиброй, так и без нее. Выявлено, что равномерное распределение большого количества по-разному ориентированных фибр в бетоне противодействует водоотделению, седиментации, упрочняет контактную зону «заполнитель – цементный камень», препятствует трещинообразованию, повышает плотность образцов.

### Заключение

Установлено, что рост игольчатых кристаллов в структуре модифицированного вяжущего при гидратации клинкерных минералов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с активными минеральными составляющими золы и известняка способствует армированию структуры композита на нано- и микроуровне, снижению пористости и в комплексе повышению прочности композита.

Выявлено положительное влияние дисперсного армирования на снижение проницаемости бетона. Это связано с тем, что присутствие соответствующим образом подготовленной и равномерно распределенной фибры в значительной степени затрудняет процессы изменения объема в тверде-

ющем бетоне, предупреждая возможности появления и раскрытия трещин различного происхождения. Фибра эффективно повышает способность бетона поглощать энергию внутренних (усадка) и внешних (динамическая нагрузка, вибрация, внешняя нагрузка) граничных напряжений.

Зола и известняковый порошок, входящие в состав композиционного вяжущего, способствуют синтезу новообразований и созданию более плотной микроструктуры цементного камня, предотвращая проникание влаги, снижают водонасыщение покрытия, что положительно сказывается на сроках эксплуатации. Этим же можно объяснить и низкие значения паропроницаемости материала, выявленные автором ранее [6–8].

### Список литературы

1. Власов В.К. Механизм повышения прочности бетона при введении микронаполнителя // Бетон и железобетон. – 1988. – № 10. – С. 9–11.
2. ГОСТ 12730.3-78: Бетоны. Методы определения водопоглощения. – М., 1978.
3. Гринев А.П. Мелкозернистые бетоны для монолитного строительства на основе сырья Ханты-Мансийского автономного округа: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Белгород, 2011. – 18 с.
4. Красный И.М. О механизме повышения прочности бетона при введении микронаполнителей // Бетон и железобетон. – 1987. – № 5. – С. 10–11.
5. Ляхевич Г.Д., Звонник С.А., Ляхевич Г.А., Альаззави А.Б.А. Теоретические аспекты, экспериментальные исследования и эффективность использования высокопрочных бетонов для мостовых конструкций // Наука и техника. – 2014. – № 5. – С. 48–54.
6. Федюк Р.С., Мочалов А.В., Тимохин А.М., Муталибов З.А., Ильинский Ю.Ю. Проектирование композиционного вяжущего для уплотнения структуры цементного камня // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы Международных академических чтений; Курск. гос. ун-т. Курск, 2015. – С. 115–21.
7. Fediuk R.S., Yushin A.M. The use of fly ash the thermal power plants in the construction IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 93 (2015) 012070 doi:10.1088/1757-899X/93/1/012070.
8. Fediuk R.S., Yushin A.M., Ilinsky Yu.Yu. Designing of composite binder for compacting cement stone structure // Co-

временные техника и технологии: сборник трудов XXI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 475–477.

### References

1. Vlasov V.K. Mekhanizm povysheniya prochnosti betona pri vvedenii mikronapolnitelya [The mechanism of increasing the strength of the concrete with the introduction microfiller]. Beton i zhelezobeton. 1988. no. 10. pp. 9–11.
2. GOST 12730.3-78: Betony. Metody opredeleniya vodopogloshcheniya [GOST 12730.3-78: Concrete. Methods for determination of water absorption]. Moscow, 1978.
3. Grinev A.P. Melkozernistye betony dlya monolitnogo stroitelstva na osnove syrya Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Fine concrete for monolithic construction based on materials of the Khanty-Mansi Autonomous District: Author. Dis. cand. techn. sciences]. – Belgorod, 2011. 18 p.
4. Krasnyy I.M. O mekhanizme povysheniya prochnosti betona pri vvedenii mikronapolniteley [On the mechanism of increasing the strength of the concrete with the introduction of the micro fillers] Beton i zhelezobeton. 1987. no. 5. – pp. 10–11.
5. Lyakhevich G.D., Zvonnik S.A., Lyakhevich G.A., Alazzavi A.B.A. Teoreticheskie aspekty, eksperimentalnye issledovaniya i effektivnost ispolzovaniya vysokoprochnykh betonov dlya mostovykh konstruksiy [Theoretical aspects of experimental research and efficacy of the use of high-strength concrete for bridge construction]. Nauka i tekhnika. 2014. no. 5. pp. 48–54.
6. Fedyuk R.S., Mochalov A.V., Timokhin A.M., Mutalibov Z.A., Ilinskiy Yu.Yu. Proektirovanie kompozitsionnogo vyazhushchego dlya uplotneniya struktury tsementnogo kamnya. Bezopasnost stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i resheniya: materialy Mezhdunarodnykh akademicheskikh chteniy [Designing composite binder to seal the cement stone structure. Security Building Fund of Russia. Problems and Solutions: Proceedings of the International Academic readings]; Kursk. State. un-t. Kursk, 2015. pp. 115–121.
7. Fediuk R.S., Yushin A.M. The use of fly ash the thermal power plants in the construction IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 93 (2015) 012070 doi:10.1088/1757-899X/93/1/012070.
8. Fediuk R.S., Yushin A.M., Ilinsky Yu.Yu. Designing of composite binder for compacting cement stone structure. Sovremennye tekhnika i tekhnologii: sbornik trudov XXI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. V.2 t. T.1 / Tomskiy politekhnicheskii universitet. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [Modern equipment and technologies: a collection of the works of the XI International scientific conference of students, graduate students and young scientists. Vol. 1. Tomsk Polytechnic University], 2015. pp. 475–477.