

УДК 691.32

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ПРОЧНОСТИ КРУПНОПОРИСТОГО БЕТОНА

Маршинская Ольга Анатольевна, магистрант, направление подготовки 08.04.01, Строительство, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: 89878623996@yandex.ru

Научный руководитель: **Кравцов Алексей Иванович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильных дорог и строительных материалов, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: alivkr@mail.ru

Аннотация. В ходе проведенной работы была осуществлена детальная исследовательская работа по теме крупнопористого (дренажного) бетона. Были изучены основные аспекты этого типа бетона, включая его состав, структуру и свойства, проанализированы свойства и характеристики крупнопористого (дренажного) бетона. Изучена его эффективность и потенциал применения в различных областях строительства. На основе местных материалов разработаны составы крупнопористого тяжелого бетона. Путем реализации полного двухфакторного эксперимента исследовано влияние расхода цемента и добавки – полипропиленового фиброволокна на свойства материала. Установлено, что введение в смесь полипропиленовой фибры привело к повышению прочности в три раза по сравнению с бездобавочными составами, что доказывает эффективность применения фибры в составе бетона.

Ключевые слова: проницаемый (крупнопористый) бетон, прочность, пористость, проницаемость, фиброволокно.

Для цитирования: Маршинская О. А. К вопросу о повышении прочности крупнопористого бетона // Шаг в науку. – 2023. – № 4. – С. 64–69.

ON THE ISSUE OF INCREASING THE STRENGTH OF LARGE-POROUS CONCRETE

Marshinskaya Olga Anatolyevna, postgraduate student, training program 08.04.01, Construction, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: 89878623996@yandex.ru

Research advisor: **Kravtsov Alexey Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Highways and Construction Materials, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: alivkr@mail.ru

Abstract. In the course of the work carried out, detailed research work was carried out on the topic of large-porous (drainage) concrete. The main aspects of this type of concrete, including its composition, structure and properties, were studied, and the properties and characteristics of large-porous (drainage) concrete were analyzed. Its effectiveness and potential for use in various fields of construction have been studied. Compositions of large-porous heavy concrete have been developed based on local materials. By implementing a complete two-factor experiment, the influence of the consumption of cement and additive – polypropylene fiber fiber on the properties of the material was studied. It was found that the introduction of polypropylene fiber into the mixture led to an increase in strength three times compared to non-additive compositions, which proves the effectiveness of using fiber in concrete.

Key words: pervious (large-porous) concrete, strength, porosity, permeability, fiber.

Cite as: Marshinskaya, O. A. (2023) [On the issue of increasing the strength of large-porous concrete]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 4, pp. 64–69.

Проницаемый (дренажный) бетон, также известный как крупнопористый бетон, – это материал, в ко-

тором за счет низкого содержания (до 10%) или полного отсутствия мелкого заполнителя в бетонной смеси



создаётся пористость, позволяющая воде (и воздуху) свободно проникать через его толщу.

Водопроницаемость дренажного бетона колеблется от 0,14 см/с до 1,22 см/с, а прочность на сжатие обычно находится в диапазоне от 2,8 МПа до 28 МПа¹.

Несмотря на его более низкую прочность на сжатие и изгиб, и умеренную долговечность по сравнению с обычным бетоном, проницаемый бетон достаточно эффективен во многих сферах строительства².

Наибольшее распространение в мире получили такие области использования проницаемого бетона, как пешеходные дорожки, водопроницаемые покрытия для парковок, жесткие дренажные слои под внешними площадями торговых центров, полы теплиц, подъездные пути, насыпи мостов, дорожки у бассейнов и пляжей, дамбы и отстойники очистных сооружений [1]. Также есть примеры использования проницаемых бетонов и в качестве основного элемента дорожного покрытия [2].

Как и любой другой материал, крупнопористый бетон имеет и достоинства, и недостатки [4; 5; 7]. Причем достоинства его лежат чаще в сфере применения, а недостатки – в области свойств материала.

К достоинствам проницаемого бетона можно отнести:

- высокую пористость материала при достаточной прочности, что делает возможным использование его в качестве нагруженных дренажных слоёв;
- более низкую громкость при использовании в качестве дорожного покрытия;
- экологичность по сравнению с непроницаемыми покрытиями [8].

В качестве недостатков можно отметить:

- сложности в обеспечении необходимых в некоторых случаях показателей прочности и долговечности;
- возможность засорения пор, и как следствие – снижение проницаемости;
- удорожание мероприятий по устройству покрытий из проницаемого бетона по сравнению с альтернативными вариантами.

В России и ранее в Советском Союзе крупнопористый бетон известен в основном, как стеновой мате-

риал на основе пористых заполнителей. Несмотря на то, что существуют рекомендации по изготовлению крупнопористого бетона с тяжелым заполнителем, широкое его использование пока остаётся под вопросом [3].

Целью нашего исследования было оценить возможность изготовления проницаемого бетона на местных материалах³ и исследование некоторых факторов, влияющих на его прочность.

Для увеличения прочности крупнопористых бетонов возможно применение нескольких технологических приёмов [8]. Наиболее актуальными являются:

- использование водоредуцирующих добавок и микрокремнезёма;
- введение в состав крупнопористого бетона фиброволокна;
- добавление в смесь мелкого заполнителя.

Ранее было показано⁴, что при изготовлении проницаемого бетона на основе плотного заполнителя щебня или гравия прочность его зависит в основном от расхода цемента, поэтому была рассмотрена возможность применения, с целью увеличения прочности, полипропиленовой фибры.

В качестве исходных материалов для изготовления экспериментальных образцов использовались:

- цемент АККЕРМАНН 400 производства ООО «АККЕРМАНН ЦЕМЕНТ» (г. Новотроицк);
- щебень Крутороженский фракции от 5 мм до 20 мм;
- фибра полипропиленовая ТУ 2499-007-90557835-2014 производства ООО «Цеммикс».

Cemmix CemFibra – это материал, который используется для армирования бетона и состоит из коротких волокон, обычно длиной от 6 до 60 мм, улучшает прочность крупнопористого бетона, предотвращает возникновение трещин при нагрузках, повышает устойчивость крупнопористого бетона к ударам и снижает трещиноватость бетона.

В целом, применение фиброволокна Cemmix CemFibra в крупнопористом бетоне может значительно улучшить его механические свойства и устойчивость, что делает его более надежным и долговечным.

¹ Arent S. E. et al. (2010) ACI 522 R10 Reported by ACI Committee 522 Report on Pervious Concrete (Reapproved 2011). Academia. Available at: https://www.academia.edu/80834295/ACI_522_R10_Reported_by_ACI_Committee_522_Report_on_Pervious_Concrete_Reapproved_2011_ (accessed: 10.12.2022) (In Eng.).

² Tennis P., Leming M., Akers D. (2004). Pervious Concrete Pavements. ResearchGate. Available at: https://www.researchgate.net/publication/242722509_Pervious_Concrete_Pavements (accessed: 10.12.2022) (In Eng.).

³ Кравцов А. И., Маршинская О. А. Высокопроницаемые цементные бетоны на местных материалах // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: тез. докл. Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), 26–27 янв. 2023 г. – Оренбург, 2023. – С. 2689–2691.

⁴ Там же.

При проведении опытных исследований мы применили метод планирования эксперимента. Исследовалось влияние фиброволокна на прочность крупно-

пористого бетона. Полный двухфакторный эксперимент был реализован в соответствии с планом, представленным в таблице 1.

Таблица 1. Факторы и интервалы их варьирования

Наименование фактора	Код	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования
Фибра, % по объему	x_1 :	0,82	1,60	2,38	0,78
Цемент, кг/м ³	x_2 :	188,8	225,4	262,0	36,6

Источник: разработано автором

В соответствии с планом эксперимента были изготовлены экспериментальные образцы из крупнопористого бетона соответствующих составов (таблица 2).

Таблица 2. План эксперимента

Номер опыта	Матрица планирования		Натуральные значения переменных				
	x_1	x_2	Фибра, кг	Цемент, кг	Вода, л	Щебень, кг	В/Ц
1	-1	-1	0,82	188,8	75,5	1397,2	0,4
2	1	-1	2,38	188,8	75,5	1418,2	0,4
3	-1	1	0,82	262,0	104,8	1412,6	0,4
4	1	1	2,38	262,0	104,8	1348,9	0,4

Источник: разработано автором

После 28 суток естественного твердения в нормальных условиях для образцов определялись следующие показатели:

- пористость;
- проницаемость;
- прочность на сжатие.

По результатам испытаний после регрессионного анализа были получены уравнения регрессии и по-

строены изолинии влияния факторов x_1 (расход фибры %) и x_2 (расход цемента) на основные параметры.

Пористость проницаемого бетона определяли объёмным методом, как выраженную в процентах разницу между геометрическим объёмом образца и объёмом вытесненной им воды.

Уравнение регрессии для пористости имеет следующий вид:

$$P = 27,165 - 1,31x_1 - 1,8025x_2 - 1,1525x_1x_2.$$

По уравнению регрессии построены изолинии зависимости пористости % от варьируемых факторов (рисунок 1).

При анализе изолиний можно отметить, что:

- с увеличением расхода цемента пористость уменьшается в большей степени;
- при увеличении расхода фибры пористость снижается незначительно.

Проницаемость крупнопористого бетона оценивалась по коэффициенту фильтрации K_ϕ , который определяли в зависимости от времени фильтрации столба воды через изолированный по бокам образец, погруженный в емкость с водой по аналогии с методикой, описанной для трубки Каменского.

Коэффициент фильтрации K_ϕ рассчитывали по формуле:

$$K_\phi = \frac{l}{t} \cdot \ln \left(1 - \frac{S_w}{h} \right),$$

где

S_w – снижение уровня воды в цилиндре за время t , см;

t – время изменения разности напоров от начального значения h до $h - S_{пр}$, с;
 h – первоначальный напор, см;
 l – высота образца, см.
 Уравнение регрессии для проницаемости имеет следующий вид:

$$K_{\phi} = 11,51 + 0,66x_1 - 1,84x_2 - 0,34x_1x_2.$$

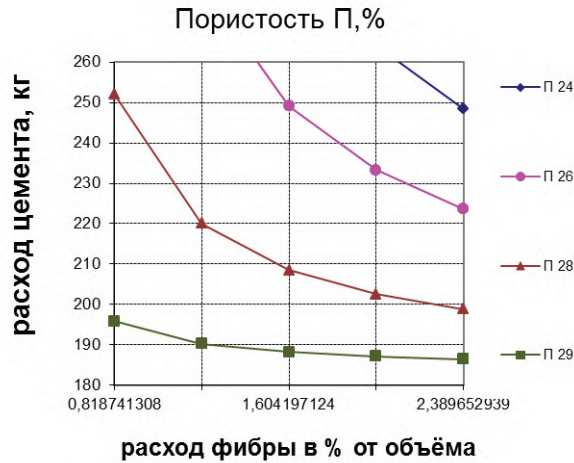


Рисунок 1. Изолинии пористости
 Источник: разработано автором

По уравнению регрессии построены изолинии зависимости коэффициента фильтрации K_{ϕ} (см/с) от варьируемых факторов (рисунок 2).

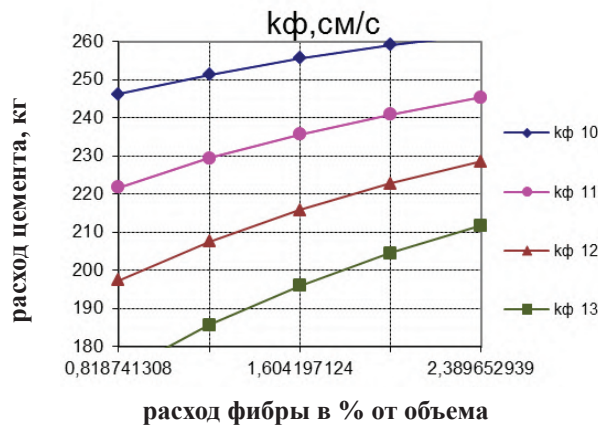


Рисунок 2. Изолинии для коэффициента фильтрации K_{ϕ}
 Источник: разработано авторами

По изолиниям проницаемости можно сделать вывод о том, что коэффициент фильтрации при увеличении расхода цемента и при увеличении количества добавляемой фибры снижается

Прочность на сжатие образцов крупнопористого бетона определяли на гидравлическом прессе.

Для определения прочности бетона необходимо измерить минимальные усилия, которые приводят

к разрушению специально изготовленных контрольных образцов бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью роста нагрузки. Затем, при этих усилиях, в предположении упругой работы ма-

териала, вычисляются напряжения с учётом площади приложения нагрузки.

Уравнение регрессии для прочности на сжатие имеет следующий вид

$$R_{сж} = 40,05 + 0,7x_1 + 11,95x_2 + 3,3x_1x_2.$$

Изолинии зависимости прочности кг/см² от варьируемых факторов представлены на рисунке 3.

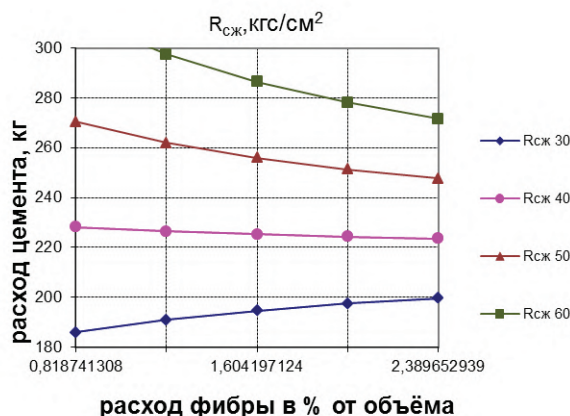


Рисунок 3. Изолинии прочности на сжатие

Источник: разработано автором

По изолиниям видно:

- при увеличении расхода фибры прочность образцов увеличивается незначительно;
- при увеличении расхода цемента прочность образцов увеличивается.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

- введение в смесь полипропиленовой фибры привело к повышению прочности в три раза по сравнению с бездобавочными составами с 20 кгс/см² до 60 кгс/см²;
- на открытую пористость бетона в большей степени влияет расход вяжущего. С увеличением рас-

хода цемента пористость бетона снижается. Аналогично, но в меньшей мере влияет на пористость бетона и расход фибры;

- на проницаемость бетона оба фактора влияют одинаково, т.е. с увеличением расхода вяжущего и дисперсной арматуры (фибры) проницаемость крупнопористого бетона снижается;
- прочность на сжатие крупнопористого бетона в исследуемой области в основном зависит от расхода цемента. При увеличении расхода прочность на сжатие увеличивается. Увеличение расхода фибры также приводит к увеличению прочности, но незначительно и при больших расходах цемента.

Литература

1. Арын Б. А. Обоснование применения пористого бетона в качестве основания и дренажа сооружений // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева. – 2016. – Т. 281. – С. 101–108.
2. Бикбау М. Я. Новые бетоны, конструкции и технологии для строительства аэродромных покрытий, дорог и инженерных сооружений // Технологии бетонов. – 2012. – № 7–8(72-73). – С. 32–35.
3. Высокопроницаемые бетоны с дренирующим эффектом: анализ состояния вопроса и перспективы развития / Строкова В. В. [и др.] // Строительные материалы. – 2020. – № 4–5. – С. 32–61.
4. Фаликман В. Р., Сиротин П. Н. Проницаемый бетон: новые вызовы в эпоху устойчивого развития // Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – № 5. – С. 28–35.
5. Dai Z. et al. (2020) Multi-modified effects of varying admixtures on the mechanical properties of pervious

concrete based on optimum design of gradation and cementaggregate ratio. *Construction and Building Materials*. Vol. 233.

6. Li J., Zhang Y., Liu G., Peng X. (2017) Preparation and performance evaluation of an innovative pervious concrete pavement. *Construction and Building Materials*. Vol. 138, pp. 479–485. – <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.137> (In Eng.).

7. Toplicic-Curcic G., Grdic D., Ristic N., Grdić Z. (2016). Environmental importance, composition and properties of pervious concrete. *Gradjevinski materijali i konstrukcije*. Vol. 59. No 2. pp. 15–27. – <https://doi.org/10.5937/grmk1602015T> (In Polish).

Статья поступила в редакцию: 15.05.2023; принята в печать: 20.11.2023.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.