



DOI: 10.15593/2224-9826/2022.1.08

УДК 666.9.017: 691.32

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ БЕТОНА МЕТОДАМИ «МОКРОГО ПЯТНА» И «ПО ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ»

Н.Р. Ванькова¹, А.Е. Фомина²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева, Санкт-Петербург, Россия

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 28 ноября 2021
Одобрена: 28 января 2022
Принята к публикации:
03 марта 2022

Ключевые слова:

бетон, водонепроницаемость, метод «мокрого пятна», метод «воздухопроницаемости», сравнительные испытания, метрологическое обеспечение.

АННОТАЦИЯ

Проведены сравнительные испытания контрольных образцов бетона на водонепроницаемость прямым методом «мокрого пятна» и методом «по воздухопроницаемости». Испытания шести серий контрольных образцов показали, что 60 % результатов, полученных двумя методами, отличаются на 0,2 МПа (одна марка водонепроницаемости W), что является неприемлемым. Размах результатов для прямого метода по «мокрому пятну» составил 0,6 МПа (четыре марки водонепроницаемости W), больше чем для метода «по воздухопроницаемости» – 0,4 МПа (три марки W). Вероятно, это связано с несовершенством методик испытаний, с недостаточным уровнем или отсутствием метрологического подтверждения оборудования для определения водонепроницаемости и др. В производственной практике такая ситуация означает, что полученные результаты испытаний не обеспечены доверием, и, как следствие, при этих условиях возможен выход продукции (бетона), не соответствующей нормативным требованиям.

© ПНИПУ

© Ванькова Наталья Рэммовна – аспирант, e-mail: vankovaperm@mail.ru
Фомина Алиса Евгеньевна – магистрант, e-mail: alisa.f94@mail.ru

Natalya R. Vankova – Postgraduate Student, e-mail: vankovaperm@mail.ru
Alisa E. Fomina – Master's student, e-mail: alisa.f94@mail.ru

COMPARATIVE EXPERIMENT TO DETERMINE THE WATERPROOFNESS OF CONCRETE BY "WET SPOT" AND "BREATHABILITY" METHODS

N.R. Vankova¹, A.E. Fomina²

¹D.I. Mendeleev All-Russian Research Institute of Metrology, Saint Petersburg, Russia

²Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

ARTICLE INFO

Received: 28 November 2021
Approved: 28 January 2022
Accepted for publication:
03 March 2022

Keywords:

concrete, water resistance, "wet spot" method, "air tightness" method, comparative tests, metrological support.

ABSTRACT

Comparative tests of control samples of concrete for water resistance by the direct method of "wet spot" and the method of "air permeability" were carried out. Tests of 6 series of control samples showed that 60 % of the results obtained by the two methods differ by 0.2 MPa (one brand of water resistance W), which is unacceptable. The range of results for the direct "wet spot" method was 0.6 MPa (four waterproof grade W), more than for the "air permeability" method 0.4 MPa (three grade W). Probably, this is due to the imperfection of test methods, with an insufficient level or lack of metrological confirmation of equipment for determining water resistance, and more. In production practice, this situation means that the test results obtained are not provided with confidence, and as a result, under these conditions, it is possible to produce products (concrete) that do not meet regulatory requirements.

© PNRPU

Введение

Водонепроницаемость является одним из основных показателей, отражающих свойство сохранять способность к проникновению воды, определяет качество и долговечность изделий, изготовленных из бетонов [1]. Марка бетона по водонепроницаемости (W) назначается в зависимости от предназначения бетонной конструкции и может принимать значения от W2 до W20. Цифра за буквой W означает величину избыточного давления в МПа (или кгс/см²), при котором испытываемый образец не пропускает воду [2].

Методы испытаний бетона на водонепроницаемость

В настоящее время существует достаточно много методов измерений водонепроницаемости бетона. Среди основных можно привести следующие четыре: метод «мокрого пятна», коэффициент фильтрации, «по глубине проникновения воды», «по воздухопроницаемости». Кроме этого, в России применяются и другие методы испытаний бетона на водонепроницаемость [3–5], а также методы, приведенные в патентах на изобретения [6].

Современная практика испытаний бетона на водонепроницаемость включает, помимо перечисленных выше, и методы зарубежных стандартов [7]:

– EN 12390-8 «Глубина проникновения воды под давлением». Применяется в европейских странах;

– ASTM C1585-20 «Стандартный метод испытаний для измерения скорости абсорбции воды цементно-бетонными бетонами». Применяется в американской практике. В пакете стандартов ASTM отсутствует прямой метод определения водонепроницаемости бетона, взамен определяется водопоглощение бетона.

В строительных лабораториях России в большинстве своем используются метод «мокрого пятна» и метод «по воздухопроницаемости». Первый из них применяется, когда

лаборатория располагает временем для испытаний, так как, например, на марку W16 испытания длятся безостановочно около 5 сут. Метод «по воздухопроницаемости» является укоренным, испытание занимает несколько минут, оборудование компактно, может применяться и в лабораторных, и в полевых условиях на уже существующих строительных конструкциях. В связи с перечисленными особенностями метод «по воздухопроницаемости» является наиболее распространенным в строительных лабораториях, особенно небольших.

Анализ парка отечественных средств измерений и испытательного оборудования для испытаний бетона на водонепроницаемость

Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (далее ФИФОЕИ), раздел «Утвержденные типы средств измерений» содержит всего два средства измерений (далее СИ) для определения водонепроницаемости бетона:

– прибор для измерения водонепроницаемости АГАМА-2РМ, ООО «ТПФ ВНИР Инжиниринг», Москва;

– измеритель проницаемости вакуумный ВИП-1, ООО НПП «Интерприбор», Челябинск.

Оба прибора по методу испытаний относятся к испытаниям «по воздухопроницаемости». В табл. 1 приведены характеристики точности этих СИ.

Таблица 1

Характеристики точности СИ утвержденных типов и испытательного оборудования, применяемых для определения водонепроницаемости бетона

Table 1

Characteristics of the accuracy of measuring instruments of approved types and test equipment for determining the water resistance of concrete

Наименование СИ	Измеряемая*/расчетная** характеристика	Диапазон измерений	Погрешность
Прибор для измерения водонепроницаемости АГАМА-2РМ (ФИФОЕИ № 76459-19)	*Вакуумметрическое давление, кПа	80,0–90,0	±2 %
	**Сопротивление бетона проникновению воздуха, с/см ³	Не определено	Не определено
	**Водонепроницаемость бетона, МПа (марка бетона по водонепроницаемости W)	0,2–2,0 (0–20)	Не определено
Измеритель проницаемости вакуумный ВИП-1 (ФИФОЕИ № 53692-13)	*Вакуумметрическое давление, кПа	10,0–65,0	±2 кПа
	**Сопротивление материала проникновению воздуха, с/см ³	0,1–1000	Не определено
	**Водонепроницаемость бетона, МПа (марка бетона по водонепроницаемости W)	0,2–2,0 (0–20)	Не определено
Установка для испытаний образцов бетона на водонепроницаемость УВБ-МГ4	*Задаваемое избыточное давление воды, МПа	0–2,0	3 %

Для проведения испытаний по методу «мокрого пятна» в России широко применяется установка для испытаний образцов бетона на водонепроницаемость УВБ-МГ4 и другие подобного типа. Ее характеристики приведены в табл. 1. Установка по своей функции является испытательным оборудованием, в ФИФОЕИ не занесена. Подтверждение ее метрологических характеристик проводится при аттестации, проводимой пользователем.

В строительных лабораториях для определения водонепроницаемости бетона применяется и другое оборудование российского (устройство для определения водонепроницаемости бетона ВВ-2, фильтратометр ФМ-03 и др.) и зарубежного производства (прибор для измерения проницаемости Torrent (Proseq SA, Швейцария), прибор Карстена, устройство для определения водопоглощения строительной конструкции ВБК-1 [3] и др.), но они отсутствуют в ФИФОЕИ. Для метрологического подтверждения их пригодности требуется проведение испытаний с целью утверждения типа СИ или аттестация.

Состояние методик испытаний бетона на водонепроницаемость

В соответствии с современными положениями в метрологии методика испытаний должна содержать:

- применяемые СИ, их метрологические и технические характеристики;
- применяемое испытательное оборудование, его метрологические и технические характеристики, указания по аттестации;
- показатели точности и воспроизводимости результатов испытаний;
- процедура оценивания точности и воспроизводимости результатов испытаний;
- положение об учете в погрешности результата испытаний параметров продукции и условий испытаний.

Методы испытаний на водонепроницаемость бетона не в полной мере соответствуют этим требованиям, например, для метода испытаний по «мокрому пятну»:

- оборудование (СИ, испытательное оборудование) для проведения испытаний не содержит однозначных метрологических и технических характеристик, не приведено требование проведения процедуры их подтверждения. Не указан необходимый класс точности манометра для контроля давления. Не приведен однозначный критерий протекания образцов;
- отсутствуют показатели точности и воспроизводимости, процедура оценки достоверности результатов методики испытаний;
- не приведены условия проведения испытаний.

Обеспеченность стандартными образцами

Стандартные образцы (СО) как один из элементов метрологического обеспечения испытаний, активно применяемые в других отраслях промышленности для контроля показателей точности измерений, а также для градуировки, поверки, калибровки СИ, аттестации методик измерения, в строительной отрасли практически отсутствуют. Так, проведенный анализ ФИФОЕИ, раздел «Утвержденные типы стандартных образцов» показал, что в фонде отсутствуют СО на водонепроницаемость бетона.

Таким образом, метрологическое обеспечение испытаний бетона на водонепроницаемость не в полной мере соответствует современным метрологическим требованиям. Такая ситуация приводит к отсутствию сопоставимости результатов испытаний, полученных в разных лабораториях. В подтверждение этого были проведены сравнительные испытания бетона на водонепроницаемость прямым методом «мокрого пятна», являющимся арбитражным, и методом «по воздухопроницаемости».

Проблемы метрологического обеспечения испытаний физико-механических свойств строительных материалов неоднократно рассматривались, обозначались пути решения про-

блем в этой области, например в статьях В.А. Пивоварова [8; 9], А.И. Загоршменного [10]. Вопросы совершенствования методов испытаний на водонепроницаемость, сопоставимости разных методов испытаний бетона являются предметом рассмотрения и за рубежом [11–14]. Следует отметить, что наряду с исследованиями водонепроницаемости актуально направленные исследования водопроницаемости бетона [15; 16].

Методика экспериментов

Оценка однородности образцов для испытаний

Для проведения эксперимента была разработана технология изготовления однородных контрольных образцов: из одного замеса было изготовлено 36 образцов-цилиндров высотой и диаметром 150 мм проектной марки по прочности М300 (класс В22,5) и проектной марки по водонепроницаемости W14. Состав бетонной смеси был следующий: портланд-цемент без добавок с прочностью 42,5 МПа (М500) с нормальной скоростью твердения, ЦЕМ I 42,5 Н; песок для строительных работ, фракция 2–2,5 мм; щебень, фракция 5–20 мм, прочность М1200; водопроводная вода. Для изготовления использовались формы ФЦ-150. Образцы прошли процедуру полного созревания (28 сут) при условиях нормального твердения (температура 20 ± 2 °С, относительная влажность воздуха 95 ± 5 %). Было сформировано шесть комплектов по шесть контрольных образцов.

После изготовления образцов была проведена процедура исследования их однородности: среднее значение плотности контрольного образца $2404,6 \text{ кг/м}^3$ и среднее квадратичное отклонение (СКО) $30,0 \text{ кг/м}^3$. При этих значениях СКО образцы можно считать однородными.

Эксперимент по определению водонепроницаемости бетона методом «по воздухопроницаемости»

Первоначально были проведены испытания методом «по воздухопроницаемости» с применением измерителя давления для определения водонепроницаемости АГАМА-2РМ, поскольку в отличие от метода «мокрого пятна» не происходит нарушение структуры образца.

Принцип действия приборов АГАМА-2РМ основан на измерении давления в камере с предварительно созданным разрежением, которое поднимается за счет проникновения через поры и дефекты образца в камеру атмосферного воздуха. Прибор имеет герметичный контакт через мастику с поверхностью испытуемого материала. Сопротивление материала проникновению воздуха производится по формуле

$$m = \frac{\Delta t}{\left(0,423 \cdot \ln\left(P_{\text{вак}}^0 / P_{\text{вак}}^1\right) \cdot V_{\text{к}}\right)}, \quad (1)$$

где Δt – время, в течение которого произошло падение вакуумметрического давления, с; $P_{\text{вак}}^0$ – начальное значение вакуумметрического давления, равное $-0,060$ МПа; $P_{\text{вак}}^1$ – конечное значение вакуумметрического давления, равное $-0,054$ МПа; $V_{\text{к}}$ – объем вакуумной камеры прибора, равный 240 см^3 .

Воздухопроницаемость определяется по формуле

$$m = \frac{1}{a}. \quad (2)$$

Марка бетона по водонепроницаемости W определяется по вычисленным параметрам a и m .

За результат испытаний по методу «воздухопроницаемости» принимали среднее арифметическое значение сопротивления бетона воздуху комплекта, состоящего из шести образцов. Результаты испытаний «по воздухопроницаемости» с применением АГАМА-2РМ приведены в табл. 2.

Эксперимент по определению водонепроницаемости бетона методом «мокрого пятна»

Для проведения эксперимента по методу «мокрого пятна» было роздано в шесть лабораторий по одному комплекту контрольных образцов, состоящему из шести образцов-цилиндров. Испытания по методу «мокрого пятна» проводились на установках для испытаний образцов бетона на водонепроницаемость УБВ-МГ4 и подобного типа, способных задавать избыточное давление воды в диапазоне 0–2,0 МПа. Установка с гнездами для шести образцов создает снизу давление воды на каждый из них с шагом 0,2 МПа. Давление подавалось ступенями с длительностью на каждой ступени 16 ч. В качестве «технической характеристики» установки в руководстве по эксплуатации приведена «допускаемая относительная погрешность поддержания давления на ступени нагружения – 3 %». Для контроля давления в системе установлен манометр КТ 1,5 с диапазоном измерений 0–2,5 МПа. В качестве рабочей среды применялась холодная водопроводная вода. Для герметизации торцевых сторон образцов в обоймах наносился слой расплавленного парафина. За результат водонепроницаемости принимали давление, при котором появится «мокрое пятно» на двух из шести образцов. Появление «мокрого пятна» фиксировалось визуально оператором установки по изменению (затемнению) цвета поверхности образца. Результаты испытаний по методу «мокрого пятна» приведены в табл. 2.

Результаты и обсуждение

На основании полученных испытаний серий из шести комплектов образцов бетона на водонепроницаемость методом «по воздухопроницаемости» и по методу «мокрого пятна» была построена табл. 2 результатов испытаний.

Образцы комплекта № 1 испытывались на установке, которая в отличие от других была ограничена созданием давления 1,2 МПа. Все образцы комплекта № 1 выдержали давление 1,2 МПа, но окончательный результат испытаний этого комплекта не определен, поэтому он не анализировался.

Результаты испытаний трех из пяти комплектов контрольных образцов, или 60 % результатов испытаний, проведенных методом «мокрого пятна» и «по воздухопроницаемости», отличаются на 0,2 МПа (одна марка водонепроницаемости W). Размах результатов испытаний по методу «мокрого пятна» для всех комплектов составил 0,6 МПа (четыре марки водонепроницаемости W), для метода «воздухопроницаемости» 0,4 МПа (три марки

водонепроницаемости W), что является неприемлемым для прямого метода испытаний, являющегося арбитражным.

Таблица 2

Результаты испытаний образцов бетона по методам
 «воздухопроницаемости» и «мокрого пятна»

Table 2

Test results of concrete samples using the "breathability" and "wet spot" methods

Номер комплекта	Номера образцов	Метод по «воздухопроницаемости» АГАМА-2РМ			Метод «мокрого пятна» УВБ-МГ4 и др.	
		сопротивление бетона воздуху, с/см ³	водонепроницаемость, МПа	марка по водонепроницаемости, W	давление, при котором промокли два из шести образцов, МПа	марка по водонепроницаемости, W
1	11, 13, 14, 18, 27, 34	37,1	1,4	14	>1,2	>12
2	3, 17, 21, 25, 26, 29	50,0	1,6	16	1,6	16
3	7, 8, 9, 22, 30, 31	37,0	1,4	14	1,4	14
4	5, 16, 20, 24, 33, 35	32,4	1,4	14	1,2	12
5	2, 6, 10, 12, 19, 36	34,9	1,4	14	1,2	12
6	1, 4, 15, 23, 27, 32	21,4	1,2	12	1,0	10
Среднее значение серии образцов		35,5	1,4	14	1,2	12
Размах		28,6	1,2–1,6	W12–W16	1,0–1,6	W10–W16

Выводы

1. Результаты эксперимента шести серий образцов бетона по определению водонепроницаемости прямым арбитражным методом «мокрого пятна» и «по воздухопроницаемости» показали:

– 60 % результатов испытаний, выполненных двумя методами, имеют разницу в результатах в 0,2 МПа (одна марка водонепроницаемости W);

– размах результатов для метода «воздухопроницаемости» 0,4 МПа (три марки водонепроницаемости W), для «мокрого пятна» – 0,6 МПа (четыре марки водонепроницаемости W).

2. Результаты сравнительных испытаний свидетельствуют о недостаточной сопоставимости методов и необходимости модернизировать метод «мокрого пятна». Вероятно, ошибки отнесения образцов к разным маркам связаны с нечетко указанными в методике испытаний критериями проявления «мокрого пятна», с недостаточным или отсутствием метрологического подтверждения установок, реализующих метод, с неверно подобранными для задания давления воды манометрами и др.

3. Для повышения достоверности результатов испытаний необходимо доработать методику испытаний:

– для уменьшения влияния субъективной ошибки оператора необходимо либо увеличить продолжительность испытания на каждой ступени давления, либо вместо визуального метода внедрить инструментальные методы контроля протекания образца;

– однозначно определить технические и метрологические требования к оборудованию (средствам измерений и испытательному оборудованию), внести требование необходимости метрологического подтверждения;

– провести аттестацию методики испытаний, определить показатели точности методики, способы обеспечения достоверности испытаний.

Программа дальнейшего исследования будет включать два направления: исследование увеличения продолжительности задания давления на ступени и определение степени потемнения поверхности образца, которое уверенно фиксируется глазом человека. Второе направление – рассмотрение возможности внедрения инструментального метода обнаружения «мокрого пятна» с определением величины порога обнаружения этого пятна.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Библиографический список

1. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 274 с.
2. Дидевич А. О водонепроницаемости бетона и некоторых других характеристиках бетона // Технологии бетонов. – 2016. – № 3–4 (116–117). – С. 56–59.
3. Закоршменный А.И. Сравнение результатов водонепроницаемости бетона подземных сооружений в натуральных условиях, получаемых с использованием прямых и косвенных методов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 4. – С. 282–294.
4. Антонян А.А. О некоторых особенностях современных методов определения водонепроницаемости бетона // Технологии бетонов. – 2017. – № 9–10. – С. 29–33.
5. Семененко С.Я., Арьков Д.П., Марченко С.С. Экспресс-метод диагностирования водонепроницаемости бетона конструкций гидротехнических сооружений // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 3 (43). – С. 1–8.
6. Способ определения водонепроницаемости строительных материалов: пат. Рос. Федерация / А.Г. Кесарийский, В.И. Кондращенко, Е.В. Кондращенко, А.В. Кендюк, А.Ю. Гусева. – № 2014116874/15; заявл. 28.04.2014; опубл. 10.08.2015. – 9 с.
7. Болотских О.Н. Европейские методы физико-механических испытаний бетона. – Харьков: Колорит, 2010. – 144 с.
8. Пивоваров В.А. Меры по повышению достоверности испытаний строительных материалов в строительных производственных лабораториях // Мир измерений. – 2015. – № 1. – С. 7–12.
9. Пивоваров В.А. Методы контроля прочности бетона на основе измерений поверхностной твердости, проблемы метрологического обеспечения измерений // Мир измерений. – 2017. – № 1. – С. 6–13.
10. Закоршменный А.И. Разработка способов оценки и повышения водонепроницаемости железобетонных конструкций подземных сооружений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2008.
11. Ahmet Akkaya, İsmail Hakkı Çağatay. Investigation of the density, porosity, and permeability properties of pervious concrete with different methods// Construction and Building Materials. – August 2021. – Vol. 294, iss. 2. – P. 123539. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006182101299X> (дата обращения: 02.02.2022).

12. Water permeability of pervious concrete is dependent on the applied pressure and testing methods / Yinghong Qin, Haifeng Yang, Zhiheng Deng, Jiang He // Hindawi Publishing Corporation *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2015. – Article ID 404136. – 6 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/404136>

13. Lian C., Zhuge Y. Optimum mix design of enhanced permeable concrete an experimental investigation // *Construction and Building Materials*. – 2010. – Vol. 24, № 12. – P. 2664–2671.

14. Experimental study on mechanical and waterproof performance of lightweight foamed concrete mixed with crumb rubber / RongWang, Peiwei Gao, Minghao Tian, Yuchen Dai // *Construction and Building Materials*. – 2019. – Vol. 209, iss. 10. – P. 655–664. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.157>

15. Felipe Montes, Liv Haselbach. Measuring hydraulic conductivity in pervious concrete // *Environmental Engineering Science*. – 2019. – Vol. 23, № 6. DOI: <https://doi.org/10.1089/ees.2006.23.960>

16. Hassan Tajik Ghashghaei, Abolfazl Hassani. Investigating the relationship between porosity and permeability coefficient for pervious concrete pavement by statistical modelling // *Materials Sciences and Applications*. – 2016. – Vol. 7, № 2.

References

1. Bazhenov Y.M., Demyanova B.S., Kalashnikov V.I. *Modified high-quality concretes*. Moscow, ASV, 2006, 274 p.

2. Didevich A. On water resistance of concrete and some other characteristics of concrete. *Technologii betonov*, 2016, no. 3-4 (116-117), pp. 56-59.

3. Zakorshmeny A.I. Comparison of results of water resistance of concrete underground structures in full-scale conditions obtained using direct and indirect methods. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy bulletin*, 2007, no. 4, pp. 282-294.

4. Antonyan A.A. About some peculiarities of modern methods of concrete water tightness determination. *Technologii betonov*, 2017, no. 9-10, pp. 29-33.

5. Semenenko S.Y., Ar'kov D.P., Marchenko S.S. Express method of diagnosing the water resistance of concrete structures of hydraulic structures. *Izvestiya Nizhnevolzhskiyeh agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee profesional'nogo obrazovaniya*, 2016, no. 3 (43), pp. 1-8.

6. Kesariyskiy A.G., Kondrashchenko V.I., Kondrashchenko E.V., Kendyuk A.V., Guseva A.Yu. Method of determination of water resistance of building materials. Patent Rossiiskaia Federatiia no. 2014116874/15 (2015).

7. Bolotskikh O.N. *European methods of physical and mechanical testing of concrete*. Kharkov, Kolorit, 2010, 144 p.

8. Pivovarov V.A. Measures to improve the reliability of testing construction materials in construction production laboratories. *Mir izmerenii*, 2015, no. 1, pp. 7-12.

9. Pivovarov V.A. Concrete strength control methods based on surface hardness measurements, problems of metrological assurance of measurements. *Mir izmerenii*, 2017, no. 1, pp. 6-13.

10. Zakorshmeny A.I. Development of methods to assess and improve the water resistance of reinforced concrete structures of underground structures. Abstract of Ph.D. thesis. Moscow, 2008.

11. Ahmet Akkaya, İsmail Hakkı Çağatay. Investigation of the density, porosity, and permeability properties of pervious concrete with different methods. *Construction and Building Materials*, 2021, vol. 294, iss. 2, p. 123539. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006182101299X>

12. Yinghong Qin, Haifeng Yang, Zhiheng Deng, and Jiang He. Water permeability of pervious concrete is dependent on the applied pressure and testing methods. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering*, 2015, Article ID 404136, 6 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/404136>

13. Lian C., Zhuge Y. Optimum mix design of enhanced permeable concrete an experimental investigation. *Construction and Building Materials*, 2010, vol. 24, no. 12, pp. 2664-2671.

14. RongWang, Peiwei Gao, Minghao Tian, Yuchen Dai. Experimental study on mechanical and waterproof performance of lightweight foamed concrete mixed with crumb rubber. *Construction and Building Materials*, 2019, no. 10, pp. 655-664. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.157>

15. Felipe Montes, Liv Haselbach. Measuring hydraulic conductivity in pervious concrete. *Environmental Engineering Science*, 2019, vol. 23, no. 6. DOI: <https://doi.org/10.1089/ees.2006.23.960>

16. Hassan Tajik Ghashghaei, Abolfazl Hassani. Investigating the relationship between porosity and permeability coefficient for pervious concrete pavement by statistical modelling. *Materials Sciences and Applications*, 2016, vol. 7, no. 2.