

Технология и организация строительного производства

УДК 693.548.2

DOI: 10.14529/build200104

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИКАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СРЕД В БЕТОН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЕГО ВЛАГОПОГЛОЩЕНИЕ

М.Н. Каган, А.Х. Байбурун, С.Б. Коваль

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Изучена проблема влияния технологического шва бетонирования и дефектов его устройства на работу железобетонных конструкций. Рассмотрены требования действующих в Российской Федерации нормативных документов по устройству рабочего шва бетонирования, а так же существующие предложения по повышению адгезии «нового» и «старого» бетона в русскоязычных и зарубежных источниках. Представлены методология и результаты экспериментального исследования влияния химического состава (типа и уровня pH) среды на ее проникающую способность в бетон, а также влияния на влагопоглощение (влагонасыщение) бетона таких технологических факторов, как ориентация слоев укладки «старого» бетона по отношению к расположению поверхности влагопоглощения, состояния поверхности (проведение предварительной зачистки поверхности зоны контакта бетона от цементной пленки), исследована кинетика влагопоглощения бетона.

Также представлены методология проведения и результаты экспериментального исследования влияния акустической обработки бетона на его влагопоглощение в совокупности с перечисленными выше технологическими факторами (тип и уровень pH среды, ориентация слоев укладки «старого» бетона по отношению к плоскости контакта). В ходе данного исследования проведен расчет частоты свободных колебаний элементов структуры бетонных образцов (в том числе расчет методом конечных элементов в среде ANSYS Workbench). Проведен анализ и сформулированы выводы, которые послужат основой для проведения дальнейших исследований в области улучшения сцепления «старого» и «нового» бетона: выявлено влияние всех рассмотренных в исследовании факторов, проанализирована их взаимосвязь во влиянии на проникновение новых сред в бетон.

Ключевые слова: технологический шов бетонирования, монолитные железобетонные конструкции, соединение «нового» и «старого» бетона, влагопоглощение бетона, обработка бетонной поверхности, акустическая обработка бетона.

При строительстве и реконструкции зданий и сооружений из железобетонных конструкций важную роль играет обеспечение надежного контакта между затвердевшим и вновь укладываемым бетоном [1–7]. Особенно высокие требования при возведении монолитных железобетонных конструкций предъявляются к устройству рабочих швов.

Как известно, наличие шва бетонирования существенно снижает жесткость и несущую способность конструкции даже при отсутствии дефектов его устройства [8–10]. Некачественно выполненный рабочий шов бетонирования вызывает коррозию арматуры, фильтрацию грунтовых вод, снижение прочности конструкции и в конечном итоге может приводить к строительным авариям [11]. Например, при устройстве фундаментной плиты по технологическим факторам организуется рабочий шов бетонирования (рис. 1). Через зону рабочего шва происходит проникновение в конструкцию грунтовых вод, являющихся агрессивной средой для арматуры, воспринимающей нагрузку,

что приводит к коррозии, снижению несущей способности конструкции и дальнейшему риску аварийного исхода.

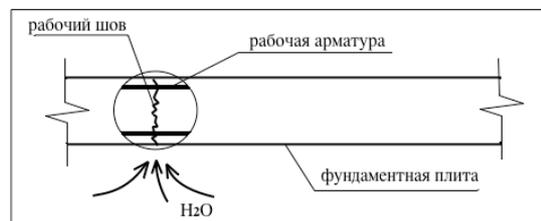


Рис. 1. Проблема технологического шва фундаментной плиты

Согласно нормативным документам перед бетонированием необходимо обеспечить [12]:

- зачистку поверхности контакта от грязи, масел, снега и цементной пленки;
- промывку водой и просушивание струей воздуха;

- перпендикулярность укладки бетонной смеси относительно оси бетонируемых колонн и балок, поверхности плит и стен;
- достижение бетоном прочности не менее 1,5 МПа в зависимости от способа обработки бетонной поверхности.

На кафедре Технологии строительного производства ЮУрГУ (Южно-Уральского государственного университета) экспериментальным путем была выявлена зависимость величины сцепления ранее уложенного бетона с вновь укладываемым бетоном от температуры бетонного основания [13].

В работах [14, 15], опираясь на классический закон термодинамики, с целью повышения адгезии «нового» и «старого» бетона, предложено использование подогретой бетонной смеси к более холодному бетонному основанию («старый» бетон).

Согласно требованиям по укладке бетонной смеси в различные конструкции при организации рабочего шва [12], сам рабочий шов может располагаться параллельно и перпендикулярно слоям укладки бетонной смеси (рис. 2).

Логично предположить, что сила сцепления «старого» и «нового» бетона будет зависеть от ориентации слоев укладки затвердевшего бетона по отношению к укладываемому «новому» бетону. Сила сцепления, в свою очередь, зависит от проникающей способности «нового» бетона в структуру «старого» бетона и влияет на прочность рабочего шва.

Помимо этого, на качество совместной работы «старого» и вновь укладываемого бетона будет оказывать влияние химическая среда зоны контакта, которая может изменяться и поддерживаться различными химическими добавками.

В связи с этим в первой части проводимых экспериментов исследовалось влагопоглощение затвердевшего бетона в зависимости от следующих технологических факторов:

- 1) химического состава проникающей среды;

- 2) ориентации слоев укладки «старого» бетона по отношению к расположению поверхности рабочего шва;

- 3) зачистки поверхности зоны контакта бетона от цементной пленки.

Работы [16, 17], посвященные исследованиям влияния ультразвука, акустического и электромагнитного полей на скорость сушки и пропитки модифицированных бетонов, показали, что эффективность массопереноса в материалах зависит не столько от свойств бетона, температуры пропиточного состава, сколько от частоты силовых характеристик – напряженности поля. Это наблюдение объясняется тем, что применяемые поля разрушают структуру жидкости, вследствие чего уменьшается ее вязкость и ускоряется массоперенос.

Исходя из этих данных, выдвинута гипотеза о том, что при организации технологического шва бетонирования акустическое воздействие также повлияет на структуру бетона вновь доливаемых составов и приведет к ускорению массопереноса, что качественно повлияет на сцепление «нового» и «старого» бетона.

Также стоит заметить, что высокочастотные звуковые колебания могут вызвать изменения не только во вновь доливаемом составе и его реологических свойств, играющих роль в проникновении в структуру «старого» бетона, но и воздействовать непосредственно на «старый» бетон, приводя его в условия повышенных адгезионных способностей.

В силу вышеизложенного, вторая часть экспериментов посвящена исследованию влияния акустической обработки бетона на первом этапе взаимодействия жидкой среды с бетонными образцами (в течение первых трех минут) на окончательное значение влагопоглощения бетона.

Проникающая способность сред в бетон в проводимых экспериментах определялась массой поглощенного бетоном раствора.

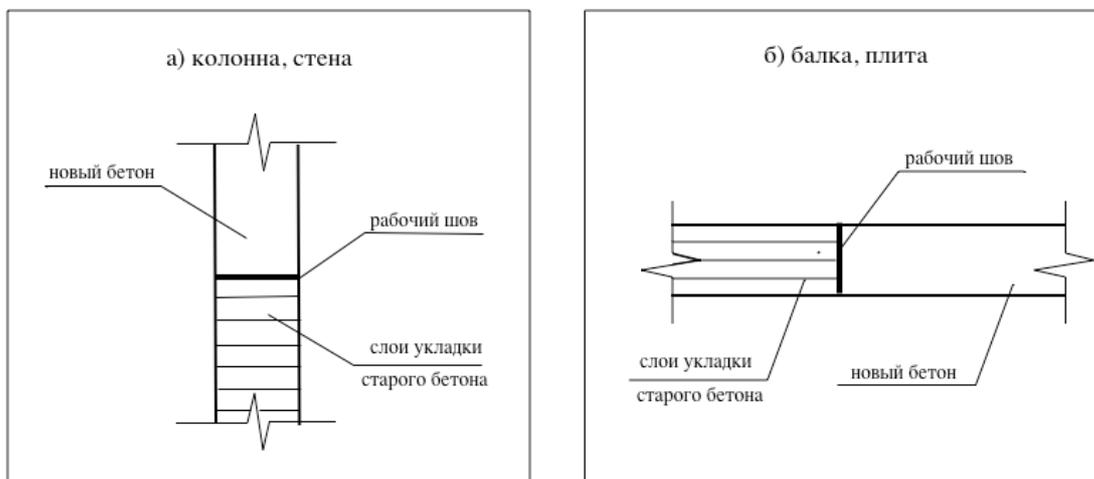


Рис. 2. Расположение поверхности рабочего шва по отношению к слоям укладки бетона при возведении различных монолитных железобетонных конструкций

Эксперименты проводились на водных растворах, так как бетонная смесь имеет свойства тягелей жидкости [18].

Бетонные образцы готовились цилиндрической формы длиной 20 см и диаметром 10,5 см. Для формования образцов в качестве форм использовались стандартные полиэтиленовые трубы.

Эксперимент произведен на бетоне класса В30, как наиболее распространенного для изготовления и возведения сборных и монолитных железобетонных конструкций. Состав бетона, характеристика его компонентов и свойства представлены в табл. 1.

1. Влияние химического состава проникающей среды, ориентации слоев бетона по отношению к плоскости контакта и зачистки поверхности зоны контакта от цементной пленки на влагопоглощение бетона

Метод

В исследованиях участвовали две серии бетонных образцов, которые отличались способом укладки бетона в цилиндрическую форму:

- параллельно плоскости поперечного сечения образца;

- перпендикулярно плоскости поперечного сечения образца.

В зависимости от способа укладки бетонной смеси в форму образцы характеризовались различным расположением слоев укладки бетона по отношению к плоскости влагопоглощения: параллельно или перпендикулярно соответственно (рис. 3).

Выдерживание образцов в течение 28 суток происходило в нормальных условиях твердения. После их распалубки была произведена гидроизоляция всей поверхности образцов, кроме нижней грани, через которую в последующем происходило влагопоглощение.

Далее образцы помещались в емкости с жидкостями. Параметры жидкостей, использованных для создания различных сред, приведены в табл. 2.

Растворы подбирались таким образом, чтобы они в своем химическом составе имели соединения, входящие в состав большинства бетонов [18, 19]: CaO; MgO; NaCl; SiO₂; Al₂O₃; Fe₂O₃; CaCO₃.

Исследование влагонасыщения бетонных образцов происходило в течение 210 часов. Данная продолжительность была обусловлена возможностью наличия во вновь укладываемом бетоне невязной жидкой составляющей.

Таблица 1

Характеристика бетона

Материалы	Цемент	Песок	Щебень	Вода
Характеристики	ПЦ400-Д20 LAFARGE	$\rho = 2,69 \text{ г/см}^3$; $\rho_{\text{насыщ.}} = 1,54 \text{ г/см}^3$;	Фракция 5...20 мм	Фильтрованная
Нормативный документ	ГОСТ 30515-2013. Цементы. Общие технические условия	ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия	ГОСТ 26633-2012. Бетоны тяжелые и мелкозернистые	ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия
Расход на 1 м ³ , кг	500	540	1190	212
OK = 4 см; R ₂₈ = 32,7 МПа				

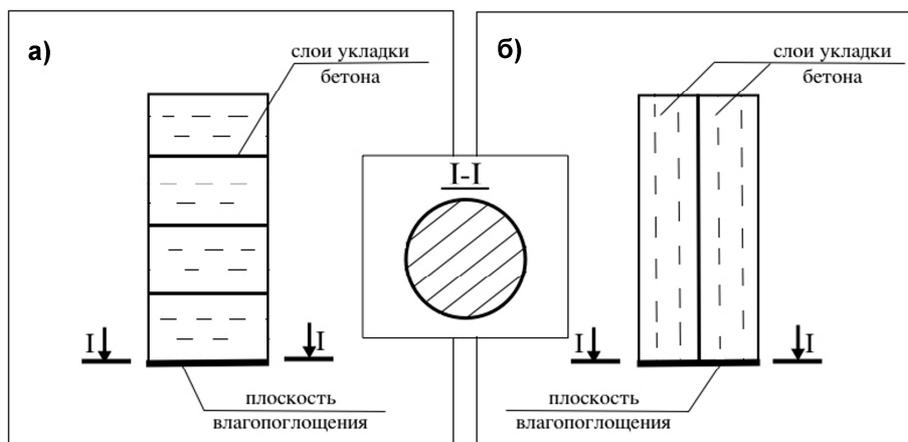


Рис. 3. Схема расположения слоев укладки бетона в образцах: а – параллельный характер расположения слоев укладки бетона относительно плоскости влагопоглощения; б – перпендикулярный характер расположения слоев укладки бетона относительно плоскости влагопоглощения

Таблица 2

Параметры жидкостей

№ п/п	Наименование раствора	Химическая формула раствора	Концентрация (плотность) раствора, г/л (г/см ³)	pH	Тип среды
1	Дистиллированная вода	H ₂ O	– (0,998)	7,0	Нейтральная
2	Водный р-р хлорида натрия	NaCl	229,5 (1,148)	7,3	Нейтральная
3	Водный р-р бикарбоната натрия	NaHCO ₃	10,06 (1,008)	10,5	Щелочная
4	Водный р-р бикарбоната натрия	NaHCO ₃	84,65 (1,055)	11,0	Щелочная
5	Водный р-р сульфата магния	MgSO ₄	20,36 (1,018)	5,5	Кислая
6	Водный р-р сульфата магния	MgSO ₄	160,7 (1,067)	5,0	Кислая

Результаты и обсуждения

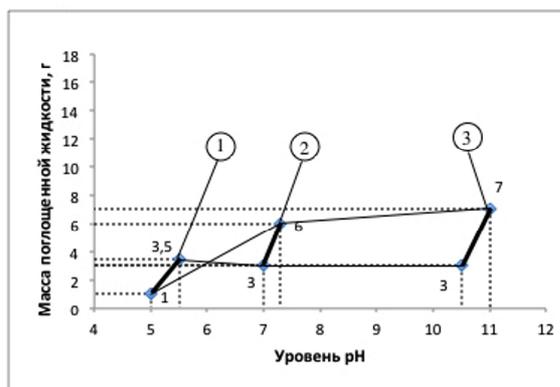
В результате проведенного эксперимента получили зависимость влагопоглощения затвердевших бетонных образцов по времени от следующих технологических параметров:

- тип раствора: кислый, нейтральный и щелочной;
- pH раствора;
- расположения слоев укладки бетона по отношению к поверхности влагопоглощения;
- состояние поверхности, через которое проходит влагопоглощение – зачищена от цементной пленки или нет.

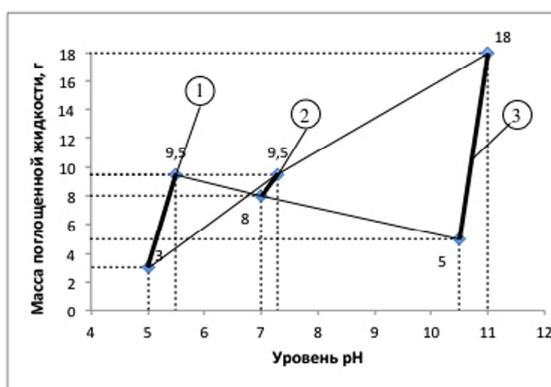
Экспериментальные данные исследования влагонасыщения бетонных образцов к моменту окончания их выдерживания представлены на рис. 4.

Из представленных данных видно, что на величину влагопоглощения бетона оказывают влияние все факторы, рассмотренные в данной части эксперимента.

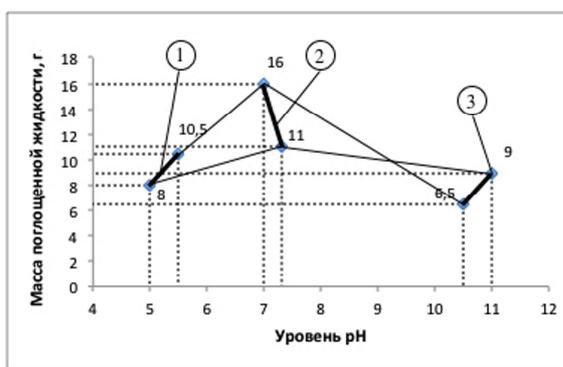
На общую закономерность изменения полученных зависимостей первостепенное влияние оказывает характер расположения слоев бетона относительно плоскости влагопоглощения. При параллельном расположении слоев (рис. 4, а, в)



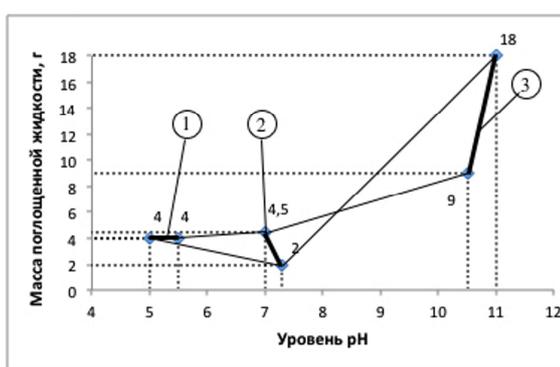
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Влагопоглощение бетона в зависимости от типа среды и pH раствора: 1, 2, 3 – тип раствора, соответственно – кислый, нейтральный, щелочной; а, б – зачищенная поверхность влагонасыщения; в, г – незачищенная поверхность влагонасыщения; а, в – параллельный характер расположения слоев бетона относительно плоскости влагопоглощения; б, г – перпендикулярный характер расположения слоев бетона относительно плоскости влагопоглощения

величина влагопоглощения бетона практически не зависит от типа раствора, в то время как при перпендикулярном (рис. 4, б, г) наблюдается увеличение влагопоглощения для щелочной среды, особенно с увеличением её рН. Эта закономерность справедлива как для зачищенной (рис. 4, б), так и для незачищенной (рис. 4, г) поверхности влагонасыщения.

Зачистка поверхности бетона приводит к увеличению влагопоглощения при увеличении рН среды (рис. 4, а, б).

Незачищенная поверхность уменьшает влияние рН среды на значение величины влагонасыщения и даже может приводить к ее снижению (рис. 4, в, г). В то же время при низких значениях рН среды величина влагонасыщения у образцов с незачищенной поверхностью может превышать значение влагонасыщения образцов с зачищенной. Особенно это проявляется при параллельном расположении слоев бетона относительно плоскости влагопоглощения (рис. 4, а, в).

Более высокое влагонасыщение незачищенной поверхности бетона можно объяснить тем, что в цементной пленке присутствует большее количество микропор, в то время как в самом бетоне количество микропор уменьшается и присутствуют макропоры. При влагопоглощении раствор из области микропор попадает в область большего количества макропор, создавая при этом разреженные зоны и прирост влагонасыщения.

Профессор И.Н. Ахвердов, изучая водонасыщение каменных материалов, также отмечал наличие микро- и макропор в структуре горных пород и песков, а также положительное влияние на процент водопоглощения разреженного пространства, которое приводит к увеличению водонасыщения с 60 до 90 % [19].

Однако присутствие цементной пленки приводит к появлению прослойки с более низкой плотностью и, соответственно, прочностью, а значит не является желательной, что подтверждается [20].

Наибольшей проникающей способностью обладает щелочной раствор с более высоким уровнем рН, увеличение рН в данном случае происходит за счет увеличения концентрации щелочного компонента в растворе.

Так, при экспериментах, проводимых кафедрой ТСП ЮУрГУ (ЧГТУ), шлакощелочной бетон с концентрацией $1,18 \text{ г/см}^3$ проявлял высокую адгезию не только к клинкерным бетонам, но и к поверхности, которая до этого была в контакте с данными бетонами. Затруднялась выгрузка из кузова автосамосвала, который до этого перевозил бетонную смесь на клинкерном вяжущем, увеличивалась адгезия опалубки и форм при проведении эксперимента. Для решения данной проблемы был предложен способ производства работ, при котором с целью снижения адгезии осуществлялось воздействие постоянного электрического тока на смесь во время укладки и в течение определенного времени [21].

Немаловажную роль в вопросе адгезии «нового» и «старого» бетона играет кинетика проникновения вновь доливаемых составов к «старому» бетону. Как известно, образование коагуляционных структур и дальнейшая кристаллизация структуры цементного камня происходит в достаточно короткие сроки. Для организации качественного шва между «новым» и «старым» бетоном необходимо уравновесить время влагопоглощения бетона и время схватывания вновь доливаемой бетонной смеси. С этой целью необходимо изучить процесс влагопоглощения во времени. Рассмотрим кинетику влагопоглощения бетонными образцами (рис. 5).

Область интенсивности влагопоглощения характеризуется тремя кривыми: выпуклой, линейной и вогнутой.

Наиболее часто наблюдается зависимость, выражающаяся выпуклой кривой – особенно характерна для щелочных сред с повышенным уровнем рН (и, соответственно, концентрацией)

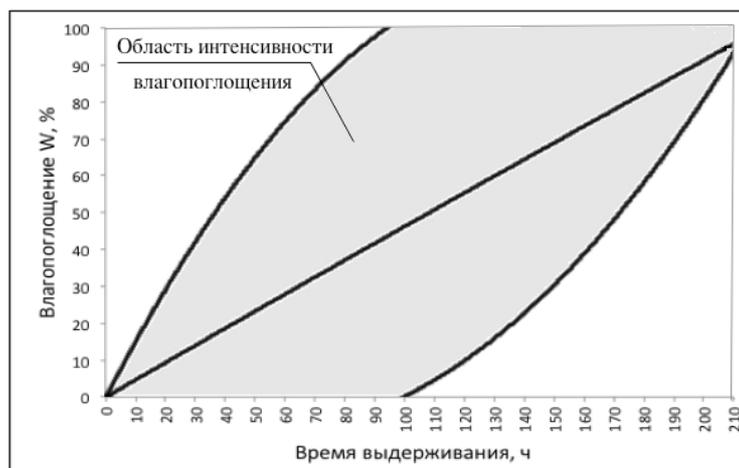


Рис. 5. Кинетика влагопоглощения бетонными образцами

вне зависимости от других технологических факторов.

Наблюдается взаимосвязь между плотностью раствора (независимо от типа и уровня рН среды) и преобладающим характером зависимости. Для растворов с невысокой плотностью ($\rho = 0,998$ и $\rho = 1,008$ г/см³) наиболее характерна линейная зависимость интенсивности влагопоглощения от времени выдерживания. С повышением плотности растворов, меняется характер зависимости – с преобладающей линейной на выпуклую. Данная закономерность может объясняться различием в высоте капиллярного поднятия жидкости, которая зависит от ее плотности, что подтверждается формулой Борелли–Жюрена [22, 23]. Для более плотных растворов высота поднятия жидкости на начальном этапе выдерживания увеличивается достаточно быстро и достигает критического значения, при котором дальнейшее поднятие плотной жидкости затруднительно, что выражается выпуклым видом графика.

Зависимость, выраженная вогнутой кривой встречается достаточно редко: наблюдается у образцов с низким абсолютным значением W_{210} (1 г и 2 г) и может быть обусловлена невысокой дискретностью и классом точности лабораторных весов.

II. Влияние акустической обработки бетона на его влагопоглощение

Метод

В данной части эксперимента так же подготавливались две серии бетонных образцов, которые отличались способом укладки бетонной смеси в цилиндрическую форму:

- параллельно плоскости поперечного сечения образца;
- перпендикулярно плоскости поперечного сечения образца.

Образцы выдерживались в течение 28 суток в нормальных условиях твердения. Была произведена гидроизоляция образцов по принципу, описанному в первой части экспериментов; осуществлена зачистка поверхности контакта бетонных образцов с жидкими средами металлической щеткой.

Далее часть образцов (контрольные) помещалась непосредственно в емкости с жидкостями (см. табл. 2).

Другая часть образцов была подготовлена для дальнейшего эксперимента в условиях акустического воздействия по следующей схеме:

- первый этап – взаимодействие проникающего состава (жидкой среды) с бетонными образцами в течение первых трех минут в условиях акустической обработки;
- второй этап – выдерживание бетонных образцов в проникающем составе в нормальных условиях.

Исследование влагонасыщения бетонных образцов происходило так же в течение 210 часов.

С целью подбора параметров проведения эксперимента, был проведен расчет необходимой частоты звуковых колебаний, которая соответствует частоте свободных колебаний элементов структуры бетонных образцов.

Частота колебаний определяется следующей формулой [24]:

$$f = 1/T,$$

где T – период колебаний, принимаемый равным, с:

$$T = 2 \cdot t,$$

здесь t – время прохождения звуковой волны в среде, с.

Точка, находящаяся на расстоянии x от точки возбуждения, станет совершать колебательные движения, отставая на время t , необходимое для прохождения волной расстояния x [25]:

$$t = x/c,$$

где c – скорость звуковой волны в рассматриваемой среде, м/с; x – характеризуется размером частицы h , м.

Значительное различие в модулях упругости крупного заполнителя и цементного камня [19] является основой предположения об условной свободе колебаний частиц крупного заполнителя. Рассчитаем частоты собственных свободных колебаний частиц крупного заполнителя бетона и бетонного образца.

По справочным данным [26], скорость звука в бетоне колеблется в диапазоне 4200–5300 м/с.

Размер частицы определяется фракцией крупного заполнителя бетонной смеси и составляет 5...20 мм. Соответственно, частота колебаний частиц с крайними значениями размеров заполнителя:

При $h_1 = 5$ мм (0,005 м)

$$t_{11} = 0,005 / 4200 = 1,9 \text{ (мкс);}$$

$$T_{11} = 2 \cdot 0,00000119 = 2,38 \text{ (мкс);}$$

$$f_{11} = 1 / 0,00000238 = 420\,168 \text{ (Гц)} = 420,2 \text{ кГц;}$$

$$t_{12} = 0,005 / 5300 = 0,94 \text{ (мкс);}$$

$$T_{12} = 2 \cdot 0,00000094 = 1,89 \text{ (мкс);}$$

$$f_{12} = 1 / 0,00000189 = 529\,100 \text{ (Гц)} = 529,1 \text{ кГц.}$$

При $h_2 = 20$ мм (0,02 м)

$$t_{21} = 0,02 / 4200 = 4,76 \text{ (мкс);}$$

$$T_{21} = 2 \cdot 0,00000476 = 9,52 \text{ (мкс);}$$

$$f_{21} = 1 / 0,00000952 = 105\,042 \text{ (Гц)} = 105,0 \text{ кГц;}$$

$$t_{22} = 0,02 / 5300 = 3,77 \text{ (мкс);}$$

$$T_{22} = 2 \cdot 0,00000377 = 7,55 \text{ (мкс);}$$

$$f_{22} = 1 / 0,00000755 = 132\,450 \text{ (Гц)} = 132,5 \text{ кГц.}$$

Диапазон частот собственных колебаний частиц крупного заполнителя бетона согласно приведенным расчетам составил 105,0–529,1 кГц.

Согласно приведенным выше формулам рассчитаем собственную частоту свободных колебаний бетонного образца.

Высота образца $h = 20$ см (0,2 м);

$$t_1 = 0,2 / 4200 = 47,62 \text{ (мкс);}$$

$$T_1 = 2 \cdot 0,00004762 = 95,24 \text{ (мкс);}$$

$$f_1 = 1 / 0,00009524 = 10\,500 \text{ (Гц)} = 10,5 \text{ кГц;}$$

$$t_2 = 0,2 / 5300 = 37,74 \text{ (мкс);}$$

$$T_2 = 2 \cdot 0,00003774 = 75,47 \text{ (мкс);}$$

$$f_2 = 1 / 0,00007547 = 13\,250 \text{ (Гц)} = 13,25 \text{ кГц.}$$

Диапазон частот собственных колебаний экспериментального образца согласно приведенным расчетам составил 10 500–13 250 Гц.

Однако полученные значения частот не могут быть реализованы в условиях строительной площадки. Кроме этого, полученные в расчетах значения частот превышают нормируемое значение частоты звуковых колебаний, влияющих на здоровье человека [27]. Исходя из этого, было принято решение о проведении экспериментов по влиянию акустического воздействия на влагопоглощение бетона на частоте 4000 Гц, что близко к частоте изгибных колебаний образца бетона марки В30 с указанными выше размерами и механическими свойствами. На рис. 6 показана низшая форма колебаний бетонного образца (изгиб, частота 3900 Гц), полученная расчетом методом конечных элементов в среде ANSYS Workbench. Отметим, что ближайшая крутильная форма может появиться лишь на частоте 6300 Гц, вторая изгибная – 9074 Гц и в экспериментах не реализуется. Известно, что околорезонансные режимы возбуждения колебаний эффективно деформируют образец и способствуют закрытию – раскрытию микротрещин на поверхности, что в экспериментах в водной среде ведет к усилению влагопоглощения.

В эксперименте использовался вибрационный электродинамический стенд ВЭДС-200 [28]. Уста-

новки испытательные вибрационные электродинамические серии ВЭДС предназначены для проведения испытаний изделий на воздействие однокомпонентной гармонической вибрации в вертикальном направлении. Данные установки входят в параметрический ряд унифицированных виброустановок, построенных по модульному принципу с использованием полупроводниковой, микропроцессорной и цифровой элементной базы. Стенд состоит из генератора синусоидальных сигналов для управления частотой и амплитудой возбуждения, промежуточного усилителя и стола вибровозбудителя. Параметры установки ВЭДС-200 представлены в табл. 3.

Бетонные образцы по одному устанавливались и крепились на стол стенда ВЭДС-200 согласно приведенной схеме (рис. 7). Была разработана конструкция крепления образца в емкости с проникающим составом к столу вибровозбудителя, состоящая из следующих элементов: площадки из фанерного листа (1), на которой располагалась ванночка с раствором (2) и погруженным в него образцом (3), устойчивость этой конструкции обеспечивалась жестяным листом (4), прикрепленным фиксирующими болтами (5) к фанерной площадке (1) и столу вибровозбудителя (6). Далее образцы, погруженные в раствор, подвергались звуковому воздействию в течение 3 минут, после

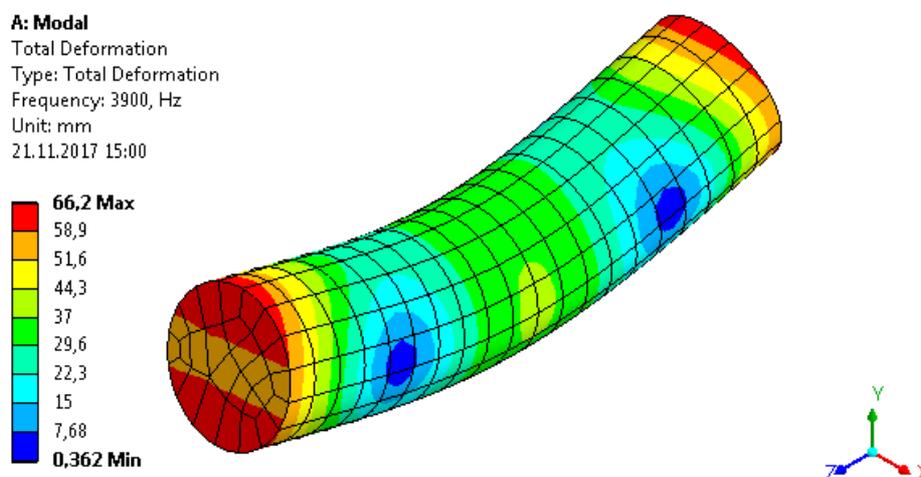


Рис. 6. Форма колебаний образца бетона на изгиб, частота 3900 Гц

Таблица 3

Параметры испытательной установки ВЭДС-200

№ п/п	Наименование параметра, единица измерения	Количественная оценка
1	Максимальная возбуждающая сила, Н	2000
2	Рабочий диапазон частот, Гц:	
	– номинальный	20–2500
	– расширенный	5–5000
3	Максимальное ускорение, м/с ²	400
4	Максимальное перемещение стола, мм	± 4,5
5	Максимальная масса нагрузки, кг	45

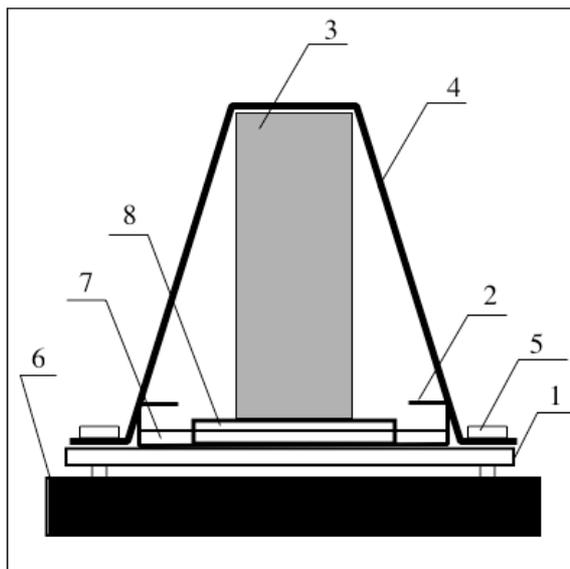


Рис. 7. Схема крепления образца к установке ВЭДС-200:
1 – площадка из фанерного листа; 2 – пластиковая ванночка;
3 – бетонный образец; 4 – фиксирующий жестяной лист;
5 – фиксирующий болт; 6 – стол вибровозбудителя
ВЭДС-200; 7 – используемый раствор; 8 – марлевая прокладка

чего извлекались из установки и помещались в аналогичные емкости с теми же растворами для дальнейшего влагопоглощения без дополнительных воздействий.

Результаты и обсуждения

В результате проведенного эксперимента получили зависимость влагопоглощения затвердевших бетонных образцов по времени: при воздействии звуковых колебаний и при их отсутствии – для исследуемых типов сред и двух вариантов расположения слоев бетона относительно плоскости влагопоглощения (рис. 8).

Как видно из графиков, при параллельном характере расположения слоев укладки бетонной

смеси в образцы относительно плоскости влагопоглощения (см. рис. 3), воздействие звуковых колебаний приводит к увеличению влагопоглощения образцов для большинства рассматриваемых сред. Прирост по влагопоглощению при наличии акустического воздействия составляет 33–43 % от W_{210} . Положительное влияние звуковой обработки на влагопоглощение образцов особенно наблюдается при увеличении плотности составов. Исключение составляет лишь среды с $pH = 7$ и $pH = 10,5$.

При перпендикулярном характере расположения слоев укладки бетона относительно плоскости влагопоглощения наблюдается обратное влияние. Акустическое воздействие снижает значение влагопоглощения образцов на 20–80 % по отношению

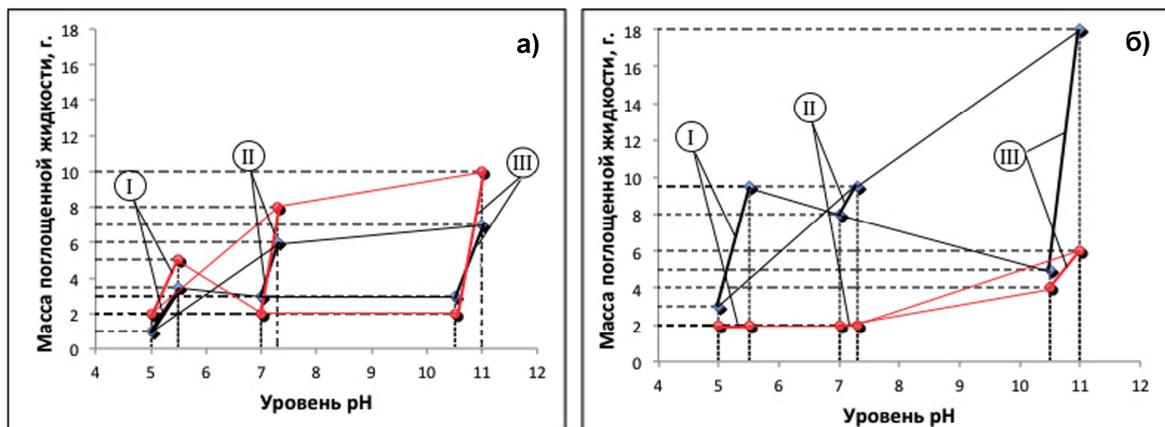


Рис. 8. Влагопоглощение бетона при разном характере расположения слоев бетона относительно плоскости влагопоглощения: а – параллельно плоскости влагопоглощения, б – перпендикулярно плоскости влагопоглощения; I, II, III – кислая, нейтральная и щелочная среды соответственно; --- – с акустическим воздействием, - - - – без акустического воздействия

к контрольным образцам без акустической обработки.

Данные закономерности можно объяснить тем, что при перпендикулярном характере расположения слоев относительно плоскости влагопоглощения, звуковая волна, проходящая через вертикально-уложенный слой, вызывает колебания крупных частиц заполнителя преимущественно в вертикальном направлении, а при параллельном характере расположения слоев – горизонтально расположенный слой дает возможность частицам крупного заполнителя совершать колебания и в горизонтальном направлении, данные колебания вызывают эффект насоса, за счет которого происходит «всасывание» раствора в пространство цементного камня между частицами щебня и это приводит к повышенному влагопоглощению образцов.

Колебания частиц крупного заполнителя, вызванные прохождением звуковой волны, в вертикально расположенных слоях, наоборот, приводят к выталкиванию новой среды из структуры бетона – это подтверждается экспериментальными данными по снижению значения влагопоглощения образцов при акустической обработке по сравнению с ее отсутствием при перпендикулярном характере расположения слоев относительно плоскости влагопоглощения.

Выводы

По результатам проведенных экспериментов и анализа полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Бетонная смесь с содержанием щелочного компонента (с уровнем рН 11 и выше) будет проявлять к «старому» (клинкерному) бетону повышенную адгезию, что необходимо проверить экспериментально на шлакощелочных и клинкерных бетонах.

2. Выявлено влияние зачистки поверхности контакта от цементной пленки на влагопоглощение бетона. Незачищенная бетонная поверхность зоны контакта способствует влагонасыщению, однако приводит к появлению прослойки с более низкой плотностью и, соответственно, прочностью (цементная пленка). По этой причине присутствие цементной пленки в зоне технологического шва бетонирования не является желательным.

3. Значительное влияние на проникновение вновь доливаемых составов в уложенный бетон имеет характер расположения плоскости контакта относительно слоев укладки бетонной смеси (параллельно или перпендикулярно), что имеет зависимость от конструкции.

4. Целесообразность применения акустической обработки шва бетонирования необходимо оценивать совокупно с другими технологическими факторами устройства рабочего шва: благоприятное влияние акустической обработки достигается при параллельном характере расположения слоев бетона относительно плоскости контакта. Наи-

большее значение влагопоглощения при акустической обработке показал образец с параллельным расположением слоев бетона относительно поверхности поглощения, выдержанный в щелочном растворе с рН 11, рассматривалась только зачищенная поверхность ($W_{210} = 10$ г, прирост составил 43 % от W_{210} контрольного образца).

5. Анализируя результаты, полученные в ходе проведения всех частей эксперимента, приходим к выводу, что основным фактором, оказывающим воздействие на влагопоглощение бетона, является характер расположения слоев бетона относительно плоскости контакта. Второстепенное значение оказывает тип и уровень рН среды, контактирующей со «старым» бетоном. Акустическая обработка оказывает влияние на процесс влагопоглощения бетона, однако не приводит к существенному улучшению показателей влагопоглощения образца с максимальным результатом абсолютного значения W_{210} , достигнутым сочетанием наиболее значимых технологических факторов.

Благодарности

Эксперименты под действием акустических колебаний проведены на оборудовании лаборатории экспериментальной механики Политехнического института ЮУрГУ при содействии профессора С.Б. Сапожникова.

Литература

1. Гвоздев, А.А. Изучение сцепления нового бетона со старым / А.А. Гвоздев, А.П. Васильев, С.А. Дмитриев. – М., Л.: ОНТИ, 1936. – 55 с.

2. Critchell, P. *Joints and cracks in concrete* / P. Critchell. – 2nd revised ed. – London, UK: CR Books, 1968. – 244 p.

3. Waters, T. *A study of the tensile strength of concrete across construction joints* / T. Waters // *Magazine of Concrete Research* – 1954. – P. 151–153.

4. McCormac, J.C. *Design of reinforced concrete* / J.C. McCormac, J.K. Nelson. – 7th ed. – John Wiley & Sons, Inc., 2006. – 720 p.

5. Таркатюк, В.И. Подготовка поверхности старого бетона для соединения с новым механизированным инструментом / В.И. Таркатюк, Н.М. Золотова // *Сб. науч. тр. «Строительство, материаловедение, машиностроение»*. – 2005. – Вып. 35, ч. 3. – С. 13–21.

6. Байков, В. Н. *Железобетонные конструкции: учебн. для вузов* / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.

7. Руфферт, Г. *Дефекты бетонных конструкций* / Г. Руфферт; пер. с нем. И.Г. Зеленица, под ред. В.Б. Семенова. – М.: Стройиздат, 1987. – 111 с.

8. Коянкин, А.А. *Влияние шва бетонирования на работу конструкции* / А.А. Коянкин, В.И. Белецкая, А.И. Гужевская // *Вестник МГСУ. Строительство. Архитектура*. – 2014. – № 3. – С. 76–80.

9. Мохаммед Джалил Мохаммед Навшад. Исследование напряженно-деформированного состояния монолитных железобетонных плит перекрытий с дефектами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2004. – 15 с.
10. Issa, C.A. The effect of concrete vertical construction joints on the modulus of rupture / C.A. Issa, N.N. Gerges, S. Fawaz // *Case Studies in Construction Materials*. – 2014. – Vol. 1. – P. 25–32.
11. Иванов, С.И. Дефектоскопия рабочих швов бетонирования / С.И. Иванов, Б.Х. Тухтаев // *Бетон и железобетон*. – 2010. – № 3. – С. 21–24.
12. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. – Введ. 2013-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2012.
13. Головнев, С.Г. Сцепление бетона в зоне технологического шва / С.Г. Головнев, С.Б. Коваль, М.В. Молодцов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. – Вып. 3. – 2005. – № 13 (53). – С. 71–74.
14. Richardson, I. *The Chemistry of Cements* / I. Richardson, H.W.F. Taylor, eds. – London, UK: Thomas Telford ICE Publishing, 2012. – 552 p.
15. Kolcedancev, L. Grouting of Precast-Monolithic Building Joints with Heated Concrete Mix / L. Kolcedancev, B. Petrakov // *World Applied Sciences Journal (Problems of Architecture and Construction)*. – 2013. – Vol. 23, № 13. – P. 55–59.
16. Дамдинжапов, Б.Ц. Бетоны, модифицированные с помощью акустического и электромагнитного полей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б.Ц. Дамдинжапов. – Улан-Удэ, 2009. – 20 с.
17. Исследование влияния акустического и электромагнитного полей на скорость пропитки строительных материалов / Б.Ц. Дамдинжапов, М.Е. Заяханов, Ч.С. Лайдабон, Е.Д. Балханова // *Строительный комплекс России: наука, образование, практика: материалы междунар. науч.-практ. конф.* – 2008. – С. 31–35.
18. Баженов, Ю.М. *Технология бетона: учеб. для вузов* / Ю.М. Баженов. – 5-е изд. – М.: АСВ, 2011. – 528 с.
19. Ахвердов, И.Н. *Основы физики бетона* / И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
20. Effects of interface roughness and interface adhesion on new-to-old concrete bonding / Y. He et al. // *Construction and Building Materials*. – 2017. – Vol. 151. – P. 582–590.
21. Пат. № 96111037/03 Российская Федерация, МПК 6 В 28 В 7/38, Е 04 G 11/22. Способ изготовления конструкций и изделий из бетонных смесей (варианты) / А.Б. Вальт, С.Б. Коваль, В.Н. Кучин; заявитель и патентообладатель Челяб. гос. техн. ун-т; заявл. 4.06.96, опубл. 27.11.97, Бюл. № 33. – 6 с.
22. Грабовский, Р.И. *Курс физики: учеб. пособие* / Р.И. Грабовский. – 12-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2012. – 607 с.
23. Ковалев, П.Г. *Физика (молекулярная физика, электродинамика)* / П.Г. Ковалев, М.Д. Хлиян. – Ростов н/Д.: Изд. Ростовского ун-та, 1975. – 264 с.
24. *Физика: пособие в 4 ч.* / Т.И. Развина и др.; под ред. Т.И. Развиной. – Ч. 4: Колебания и волны. – Минск: БНТУ, 2014. – 208 с.
25. Транковский, С. *Колебания и волны* / С. Транковский // *Энциклопедия Кругосвет. Универсальная научно-популярная онлайн-энциклопедия*. – http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/fizika/KOLEBANIYA_I_VOLNI.html?page=0,0. (дата обращения: 04.10.2019).
26. Прохоров, А.М. *Скорость звука: справочник* / А.М. Прохоров и др., под ред. А.М. Прохорова // *Физическая энциклопедия*. – Т. 4. – М.: Советская энциклопедия, 1988. – 704 с.
27. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. *Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки*. – Введ. 1997-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1996.
28. *Официальное интернет-представительство ООО «Ростех»: каталог продукции* – <http://www.rosteh.ru/catalog/products/electrodynamic-vibration-test-setup-shakers/66/27/> (дата обращения: 04.10.2019).

Каган Мария Николаевна, старший преподаватель кафедры строительного производства и теории сооружений, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), kaganmn@gmail.com

Байбурин Альберт Халитович, доктор технических наук, профессор кафедры строительного производства и теории сооружений, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), abayburin@mail.ru

Коваль Сергей Борисович, кандидат технических наук, доцент, начальник Отдела практики и трудоустройства студентов, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), skoval@mail.ru

Поступила в редакцию 8 ноября 2019 г.

RESEARCH ON MEDIA PENETRATION CAPABILITY DEPENDING ON TECHNOLOGICAL FACTORS INFLUENCING CONCRETE MOISTURE ABSORPTION

M.N. Kagan, kaganmn@susu.ru

A.Kh. Baiburin, abayburin@mail.ru

S.B. Koval, skoval@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The problem of the influence of construction concrete joint on the performance of reinforced concrete structures is studied. The requirements of the current Russian regulatory documents on the construction of the working concrete joint, as well as the existing proposals on increasing the adhesion of “new” and “old” concrete are considered in Russian and foreign sources. The results of the experimental study of the influence of medium type and pH level on its concrete penetration capability, as well as the impact of such technological factors as orientation of layers of “old” concrete in relation to the location of water absorbing surface and the surface state (moisture saturation) (preliminary clean down of concrete surface from the cement film at the contact area) are presented in the article. The study of water absorption kinetics of concrete is given here. The methodology and the results of an experimental study of the effect of acoustic treatment of concrete on its combination with the above technological factors (type and level of pH of the medium, orientation of layers of “old” concrete in relation to the medium) are highlighted.

In the course of the study, the frequency of free vibrations of the structural elements of concrete samples was calculated (including finite element analysis in ANSYS Workbench). The conclusions, which will serve as the basis for further research in the field of improving the adhesion of “old” and “new” concrete are formulated, the influence of all the factors considered in the study is revealed, the relationship in the influence on new media penetration into concrete is analyzed.

Keywords: technological concrete joint; monolithic reinforced concrete structures; new-to-old concrete bonding ; interfacial roughness; moisture absorption of concrete; acoustic treatment of concrete.

References

1. Gvozdev A.A., Vasil'yev A.P., Dmitriyev S.A. *Izucheniye stsepleniya novogo betona so starym* [Studying the Adhesion of New Concrete to the Old One]. Moscow, Leningrad, ONTI Publ., 1936. 55 p.
2. Critchell P. [Joints and Cracks in Concrete]. London, UK, CR Books Publ., 1968. 244 p.
3. Waters T. [A Study of the Tensile Strength of Concrete across Construction Joints]. *Magazine of Concrete Research*, 1954, pp. 151–153.
4. McCormac J.C., Nelson J.K. [Design of Reinforced Concrete]. John Wiley & Sons, Inc. Publ., 2006. 720 p.
5. Tarkatyuk V. I., Zolotova N.M. [Preparation of the Surface of Old Concrete for Connection to a New Mechanized Tool]. *Sb. nauch. Tr. Stroitel'stvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye* [Collection of Scientific Papers “Construction, Materials Science, Mechanical Engineering”]. Dnepropetrovsk, PGASA Publ., 2005, iss. 35, part 3, pp. 13–21 (in Russ.).
6. Baykov V.N., Sigalov E.E. *Zhelezobetonnyye konstruksii* [Reinforced Concrete Structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1991. 767 p.
7. Ruffert G. *Defekty betonnykh konstruksiy* [Defects of Concrete Structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1987. 111 p.
8. Koyankin A.A., Beletskaya V.I., Guzhevskaya A.I. [Influence of the Joint of Concreting on the Design Work]. *Vestnik MGSU “Stroitel'stvo. Arkhitektura”*, 2014, no. 3, pp. 76–80 (in Russ.).
9. Mokhammed Dzhilil Mokhammed Navshad. *Issledovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya monolitnykh zhelezobetonnykh plit perekrytiy s defektami. Avtoref. kand. diss.* [Investigation of the Stress-Strain State of Monolithic Reinforced Concrete Slabs with Defects. Abstract of cand. diss.]. Moscow, 2004, 15 p.
10. Issa S.A., Gerges N.N., Fawaz S. [The Effect of Concrete Vertical Construction Joints on the Modulus of Rupture]. *Case Studies in Construction Materials*, 2014, vol. 1, pp. 25–32.
11. Ivanov C.I., Tukhtayev B.Kh. [Defectoscopy of Functional Concreting Joints]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2010, no. 3, pp. 21–24 (in Russ.).
12. *SP 70.13330.2012. Nesushchiye i ograddayushchiye konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SniP 3.03.01-87* [Bearing and Enclosing Structures]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 2012.

13. Golovnev S.G., Koval' S.B., Molodtsov M.V. [Concretion of Concrete in the Area of the Technological Seam]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2005, no. 13 (53), iss. 3, pp. 71–74 (in Russ.).
14. Richardson I., Taylor H.W.F. [The Chemistry of Cements]. London, UK, Thomas Telford ICE Publishing, 2012. 552 p.
15. Kolcedancev L., Petrakov B. [Grouting of Precast-Monolithic Building Joints with Heated Concrete Mix]. *World Applied Sciences Journal 23 (Problems of Architecture and Construction)*, 2013, pp. 55–59.
16. Damdinzhapov B.Ts. *Betony, modifitsirovannyye s pomoshch'yu akusticheskogo i elektromagnitnogo polya. Avtoref. kand. diss.* [Concretes Modified with the Help of Acoustic and Electromagnetic Fields. Abstract of cand. diss.]. Ulan-Ude, 2009. 20 p.
17. Damdinzhapov B.Ts., Zayakhanov M.E., Laydabon Ch.S., Balkhanova E.D. [Investigation of the Influence of Acoustic and Electromagnetic Fields on the Rate of Impregnation of Building Materials]. *Stroitel'nyy kompleks Rossii: nauka, obrazovaniye, praktika: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Materials of the International Scientific-Practical Conference Building Complex of Russia: Science, Education, Practice], 2008, pp. 31–35 (in Russ.).
18. Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiya betona* [Concrete Technology]. Moscow, ASV Publ., 2011, 528 p.
19. Akhverdov I.N. *Osnovy fiziki betona* [Fundamentals of Concrete Physics]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1981, 464 p.
20. He Y. [Effects of interface roughness and interface adhesion on new-to-old concrete bonding]. *Construction and Building Materials*, 2017, vol. 151, pp. 582–590.
21. Val't A.B., Koval' S.B., Kuchin V.N. *Sposob izgotovleniya konstruktsiy i izdeliy iz betonnykh smesey (varianty)* [A Method of Manufacturing Structures and Products of Concrete Mixtures (Options)]. Patent RF, no. 96111037/03. decl. 4.06.96, publ. 27.11.97, Bul. no. 33. 6 p.
22. Grabovskiy R.I. *Kurs fiziki* [Physics Course]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2012. 607 p.
23. Kovalev P.G., Xliyan M.D. *Fizika (molekulyarnaya fizika, elektrodinamika)* [Physics (Molecular Physics, Electrodynamics)]. Rostov on Don, Izd. Rostovskogo un.-ta Publ., 1975. 264 p.
24. Razvina T.I. (Ed.). *Fizika. Kolebaniya i volny. Ch. 4* [Physics: Allowance. Part 4: Oscillations and Waves]. Minsk, 2014. 208 p.
25. Trankovskiy S. *Kolebaniya i volny* [Oscillations and Waves]. Available at: http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/fizika/KOLEBANIYA_I_VOLNI.html?page=0,0. (accessed: 04.10.2019).
26. Prokhorov A.M. (Ed.) *Skorost' zvuka. Tom 4* [The Speed of Sound. Vol. 4]. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1988. 704 p.
27. SN 2.2.4/2.1.8.562-96. *Shum na rabochikh mestakh, v pomeshcheniyakh zhilykh, obshchestvennykh zdaniy i na territorii zhiloy zastroyki* [Noise in Workplaces, in Residential, Public Buildings and Residential Buildings]. Moscow, Standartinform Publ., 1996.
28. *Ofitsial'noye internet-predstavitel'stvo OOO "Rostekh": katalog produktsii* [Official Internet Representation of "Rostekh" LLC: Product Catalog]. Available at: <http://www.rosteh.ru/catalog/products/electrodynamic-vibration-test-setup-shakers/66/27/> (accessed: 04.10.2019).

Received 8 November 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Каган, М.Н. Исследование проникающей способности различных сред в бетон в зависимости от технологических факторов, влияющих на его влагопоглощение / М.Н. Каган, А.Х. Байбурин, С.Б. Коваль // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 34–45. DOI: 10.14529/build200104

FOR CITATION

Kagan M.N., Baiburin A.Kh., Koval S.B. Research on Media Penetration Capability Depending on Technological Factors Influencing Concrete Moisture Absorption. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2020, vol. 20, no. 1, pp. 34–45. (in Russ.). DOI: 10.14529/build200104