

В.А. СОЛНЦЕВ, инженер (solncev_va@mail.ru),
П.А. ЖАДОБИН, инженер (pavel.zhadobin@yandex.ru),
Л.П. ХАРИТОНОВА, инженер

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона –
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6, к. 5)

Исследование водопоглощения бетона, находящегося в воде под давлением, с целью оценки балластирующих свойств бетонного покрытия морских трубопроводов

При строительстве морских трубопроводов обетонирование труб используется как защитная и утяжеляющая конструкция. Требования к водопоглощению бетона устанавливаются лишь для обеспечения коррозионной стойкости бетона. При определении проектных характеристик описанных выше конструкций не учитывается, что у насыщенного водой бетона повышается балластирующая способность, которая позволяет обеспечить устойчивость проектного пространственного положения магистрального газопровода подводных переходов на весь период работы газопровода. Определение фактического водопоглощения бетона под давлением может позволить уменьшить объем используемого бетона, а также снизить стоимость балластировки при обеспечении устойчивого положения трубопровода. В статье описана новая разработанная методика по определению водопоглощения бетона под давлением воды на базе установки УВФ-6/09. Показаны полученные экспериментальные данные по водопоглощению бетона при различных величинах давления воды. Приведен анализ результатов экспериментальных исследований.

Ключевые слова: тяжелый бетон, цемент, песок, щебень, водопоглощение бетона.

Для цитирования: Солнцев В.А., Жадобин П.А., Харитонova Л.П. Исследование водопоглощения бетона, находящегося в воде под давлением, с целью оценки балластирующих свойств бетонного покрытия морских трубопроводов // *Бетон и железобетон*. 2022. № 2 (610). С. 25–29. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-610-2-25-29>

V.A. SOLNTSEV, Engineer (solncev_va@mail.ru),
P.A. ZHADOBIN, Engineer, (pavel.zhadobin@yandex.ru),
L.A. KHARITONOVA, Engineer

Research, Design and Technological institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZHB named after A.A. Gvozdev
JSC “Research Center “Stroitel’stvo” (6, build. 5, 2-nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Investigation of Water Absorption of Concrete that was Situated in Water Under the Pressure in Order to Evaluate the Ballasting Properties of the Concrete Coating of Underwater Sea Pipelines

When constructing offshore pipelines, the concreting of pipes is used as a protective and weighting structure. The requirements for concrete water absorption are set only to ensure the corrosion resistance of concrete. When determining the design characteristics of the structures described above, it is not taken into account that the water-saturated concrete has an increased ballasting capacity, which makes it possible to ensure the stability of the design spatial position of the main gas pipeline of underwater crossings for the entire period of operation of the gas pipeline. Determining the actual water absorption of concrete under pressure can reduce the volume of concrete used, as well as reduce the cost of ballasting while ensuring the stable position of the pipeline. This article describes a new developed technique for determination of the water absorption of concrete under water pressure based on the UVF-6/09 unit. The obtained experimental data of the water absorption of concrete at various values of water pressure are shown. An analysis of the results of experimental work is given.

Keywords: heavyweight concrete, cement, sand, crushed stone, water absorption of concrete.

For citation: Solntsev V.A., Zhadobin P.A., Kharitonova L.A. Investigation of water absorption of concrete that was situated in water under the pressure in order to evaluate the ballasting properties of the concrete coating of underwater sea pipelines. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 2 (610), pp. 25–29. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-610-2-25-29>

Вопросы транспортировки природного газа, в том числе транспортировки по подводным трубопроводам, являются важнейшими для экономики России в настоящее время. Для обеспечения устойчивого положения подводных трубопроводов на дне водной

преграды используют различные средства балластировки в соответствии с требованиями технико-экономического обоснования проекта. Балластировка подводных трубопроводов сплошным бетонным покрытием предназначена для придания отрицательной

плавучести трубопроводу, а также защиты антикоррозионной изоляции и самого трубопровода от механических повреждений в период его строительства и в течение всего срока эксплуатации [1].

При строительстве морских трубопроводов обетонирование труб используется как защитная и утяжеляющая конструкция. Требования к водопоглощению бетона устанавливаются лишь для обеспечения коррозионной стойкости бетона. При этом не учитывается, что у насыщенного водой бетона повышается балластирующая способность, которая позволяет обеспечить устойчивость проектного пространственного положения магистрального газопровода на подводных переходах на весь период работы газопровода, а также сократить сроки строительства и ремонта.

Водопоглощение характеризует способность материала (бетона) впитывать и удерживать в порах (пустотах) влагу при непосредственном контакте с водой. Водопоглощение численно характеризуется количеством воды в процентном соотношении по массе или объему. Впитывание влаги бетоном в основном осуществляется через капиллярные и гелевые поры, образующие открытую пористую систему, которая легко заполняется водой [2].

Водопоглощение бетона по массе составляет от 4 до 8%, по объему – от 9 до 18%.

Водопоглощение напрямую зависит от водоцементного соотношения и объема цемента, содержащегося в образце, поэтому чем эти показатели выше, тем большим водопоглощением обладает бетон. Во время твердения происходит уменьшение данного показателя [3, 4].

Долговечные бетоны характеризуются величиной водопоглощения не более 5–6% по массе за 6 ч, а при водопоглощении более 10% разрушение бетона происходит в течение нескольких лет [3].

В некоторых случаях, помимо методики, описанной в ГОСТ 12730.3–78 «Бетоны. Метод определения водопоглощения», для определения характеристики водопоглощения бетона при атмосферном давлении требуется определение водопоглощения при повышенном давлении воды. Данный показатель целесообразен для определения водопоглощения бетонных конструкций, эксплуатируемых под водой на больших глубинах. К таким сооружениям относятся нефте- и газопроводы, уложенные на обводненных участках трассы.

На территории РФ действует ГОСТ Р 54382–2011 «Нефтяная и газовая промышленность. Подводные трубопроводные системы». Данный нормативный документ устанавливает требования и правила проектирования, изготовления, строительства, испытаний, ввода в эксплуатацию, технического обслуживания, переосвидетельствования и ликвидации подводных

морских трубопроводных систем, а также требования к материалам для их изготовления.

В п. 11.6 ГОСТ Р 54382–2011 указаны требования к бетонному утяжеляющему покрытию, при этом указано, что требования к исходным материалам (цементу, заполнителю, воде, добавкам) и характеристикам бетонного покрытия должны быть заданы в технических условиях потребителя.

Приведенные ниже характеристики бетонного покрытия могут быть заданы при соответствующих условиях:

- вес в воде, отрицательная плавучесть;
- толщина;
- плотность бетона;
- прочность при сжатии;
- водопоглощение;
- стойкость к ударным нагрузкам (например, способность выдерживать удары талы);
- гибкость (прочность при изгибе);
- стойкость к растворению.

Рекомендуемые минимальные требования к некоторым из указанных выше характеристикам представлены в п. 11.6.2.3:

- минимальная толщина – 40 мм;
- минимальная прочность при сжатии – 40 МПа;
- максимальное водопоглощение – 8%;
- минимальная плотность – 1900 кг/м³.

Стоит отметить, что специальных требований к материалам для изготовления бетонного покрытия для труб морских трубопроводных систем в ГОСТ Р 54382–2011 не указано.

Анализ российской и зарубежной технической базы, литературных источников не выявил методов определения водопоглощения бетона под давлением воды (BS 1881-122:2011+A1:2020 Testing concrete. Method for determination of water absorption [Метод определения водопоглощения]; BS EN 12390-1-2012 Testing hardened concrete Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds [Испытания затвердевшего бетона. Ч. 1. Форма, размеры и другие требования к испытываемым образцам и пресс-формам]; ASTM C642-2013 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete [Стандартный метод определения плотности, абсорбции и пустот в затвердевшем бетоне]; EN 12390-8-2019 Testing hardened concrete – Part 8: Depth of penetration of water under pressure [Испытания затвердевшего бетона. Ч. 8. Глубина проникновения воды под давлением]). Наиболее приближенной методикой для определения водопоглощения бетона под давлением воды является метод определения водонепроницаемости по «мокрому пятну» в соответствии с ГОСТ 12730.5–78 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости».



Рис. 1. Установка УВФ-6/09, производство ООО ИТЦ «Кон-трос», с установленными образцами во время испытаний
Fig. 1. UVF-6/09 unit, manufactured by ITC «Kontrols» LLC, with installed samples during testing



Рис. 2. Установленный образец под давлением во время испытан- ний, общий вид оснастки (нижний фланец, цилиндр, верхний фла- нец, резиновая прокладка, металлическая прижимная пластина, крепежные болты)
Fig. 2. Installed sample under pressure during testing, general view of the tooling (lower flange, cylinder, upper flange, rubber gasket, metal pressure plate, mounting bolts)

В процессе работы на базе данного метода и ис- пользующего оборудования была разработана ме- тодика для проведения испытаний по определению водопоглощения бетона, находящегося в воде под давлением, и получены экспериментальные данные для оценки балластирующих свойств бетонного по- крытия морских трубопроводов.

Выполнение исследований осуществлялось в со- ответствии с методиками испытаний для тяжелого бетона.

Для решения поставленной задачи проводились испытания на серии образцов тяжелого бетона марки БСТ В55 F1500 W20 (бетонная смесь тяжелого бетона класса по прочности при сжатии В50, марки бетона по морозостойкости F₁₅₀₀ и водонепроницаемости W20, плотность бетона 2800 кг/м³), ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по кон- трольным образцам»; ГОСТ 12730–2020 «Бетоны. Методы определения плотности».

Состав бетонной смеси для испытания был взят из ранее разработанных и рекомендованных изгото- вителю в качестве балластирующего покрытия трубо- проводов с требуемыми характеристиками.

Испытания выполнялись с применением оборудо- вания, обладающего свидетельствами о поверке или калибровке. Ниже представлен список оборудования,

используемого при проведении комплекса экспери- ментальных исследований:

- термокамера (сушильный шкаф по ГОСТ 13474–79 «Электропечи сопротивления лабо- раторные. Общие технические условия») для высу- шивания материалов до постоянной массы;
- установка для определения водонепроницаемо- сти бетона с 6 гнездами УВФ-6/09;
- емкость для насыщения образцов водой;
- весы электронные неавтоматического действия CAS ED-H-15.

Методика испытаний была разработана в АО «НИЦ «Строительство» в рамках НИОКР, по кон- тракту с ФАУ ФЦС.

В качестве оборудования была использована установка УВФ-6/09 с приспособлением для созда- ния давления воды (рис. 1).

Подготовка к испытанию

Перед проведением испытания образцы бетона следует хранить в камере нормального твердения при температуре 20±2°C и относительной влажности воз- духа не менее 95% в течение 28 сут (ГОСТ 12730.0–78 «Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости»).

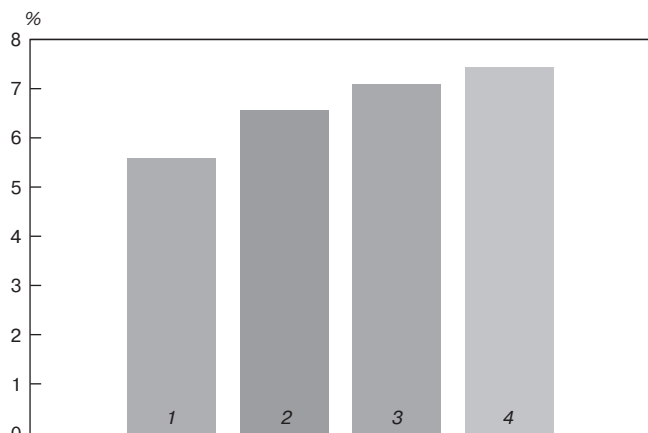


Рис. 3. Значения водопоглощения при различных условиях водонасыщения: 1 – водопоглощение в нормальных условиях; 2 – водопоглощение при давлении воды 0,5 МПа; 3 – водопоглощение при давлении воды 1 МПа; 4 – водопоглощение при давлении воды 1,3 МПа

Fig. 3. Values of water absorption under various conditions of water saturation: 1 – water absorption under normal conditions; 2 – water absorption at a water pressure of 0.5 MPa; 3 – water absorption at a pressure of 1 MPa; 4 – water absorption at a water pressure of 1.3 MPa

Определение водопоглощения бетона, находящегося в воде под давлением, проводят на образцах $100 \times 100 \times 100$ мм из бетона класса по прочности при сжатии не менее В25 с числом не менее 12 шт. образцов в серии.

Поверхность образцов очищают от пыли, грязи и следов смазки с помощью проволочной щетки или абразивного камня.

Испытание проводят на образцах, высушенных до постоянной массы. Сушку образцов производят по ГОСТ 12730.2–78 «Бетоны. Метод определения влажности».

Проведение испытаний

Образцы помещают в приспособление, в котором создается давление воды. Это приспособление устанавливают в гнезда установки и закрепляют (рис. 1, 2).

При испытании бетона на водопоглощение под давлением давление воды повышают ступенями по 0,1 МПа в течение 1–2 мин и выдерживают на каждой ступени в течение 2–3 мин.

Испытания проводят при давлении воды 0,5 и 1 МПа. Температура воды должна быть $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Образцы взвешивают через каждые 24 ч испытания под давлением с погрешностью не более 0,1%. Образцы, вынутые из воды, предварительно вытирают отжатой влажной тканью. Массу воды, вытекшую из пор образца на чашу весов, следует включать в массу насыщенного образца.

Испытания проводят до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний не будут отличаться не более чем на 0,1%.

Обработка результатов

Водопоглощение бетона отдельного образца по массе W_m в процентах определяют с погрешностью до 0,1% по формуле (1):

$$W_m = \frac{m_b - m_c}{m_c}, \quad (1)$$

где m_b – масса водонасыщенного образца, г; m_c – масса высушенного образца, г.

Водопоглощение серии образцов вычисляют как среднее арифметическое значение всех испытанных образцов (ГОСТ 12730.3–78 «Бетоны. Метод определения водопоглощения»).

Для проведения работы было изготовлено 15 образцов-кубов с размером ребер $100 \times 100 \times 100$ мм из бетона марки БСТ В55 F₄₅₀₀ W20 (бетонная смесь тяжелого бетона класса по прочности при сжатии В50, марки бетона по морозостойкости F₄₅₀₀ и водонепроницаемости W20, плотность бетона 2800 кг/м³).

В качестве вяжущего использовался портландцемент ЦЕМ I 52,5Н по ГОСТ 31108–2016.

В качестве тяжелого железосодержащего заполнителя применялась агломерационная руда фракции 0–10 мм.

Плотность изготовленной бетонной смеси составила 2840 кг/м³.

Средняя прочность бетона при сжатии в возрасте 28 сут в серии из трех образцов-кубов составляет 71 МПа, средняя плотность 2576 кг/м³.

Полученные результаты средних значений водопоглощения бетона по массе в серии из 12 образцов-кубов при нормальных условиях, а также при давлении воды 0,5; 1 и 1,3 МПа представлены на рис. 3.

Испытания показали следующие значения:

- водопоглощение бетона по массе в нормальных условиях – 5,57%;
- водопоглощение бетона по массе при давлении воды 0,5 МПа – 6,56%;
- водопоглощение бетона по массе при давлении воды 1 МПа – 7,08%;
- водопоглощение бетона по массе при давлении воды 1,3 МПа – 7,43%.

Результаты, полученные при испытании данного состава бетона, показали, что при насыщении бетона водой под давлением воды, водопоглощение бетона увеличивается. Так, при давлении воды 0,5; 1 и 1,3 МПа водопоглощение бетона по массе увеличилось на 0,99; 1,51 и 2,16% соответственно от водопоглощения при нормальных условиях.

При строительстве морских трубопроводов обетонирование труб используется как защитная и утяжеляющая конструкция. Требования к водопоглощению бетона устанавливаются лишь для обеспечения коррозионной стойкости бетона. При этом не учитываются

ся, что у насыщенного под давлением воды бетона повышается балластирующая способность.

Оценка повышения балластирующей способности бетонов при водопоглощении воды под давлением и соответственно дополнительном утяжелении конструкции может позволить уменьшить объем используемого бетона, и соответственно снизить стоимость балластировки при обеспечении устойчивого положения трубопровода.

Исходя из полученных значений можно предположить, что различные величины давления воды будут увеличивать показатель водопоглощения не только для исследуемого в данной работе состава тяжелого бетона, но и для других составов тяжелого бетона. Данный вывод может быть использован при расчетах балластировки сплошным обетонированием участка морского трубопровода (СП 378.1325800.2017 «Морские трубопроводы. Правила проектирования и строительства»).

Список литературы

1. Бородавкин П.П., Березин В.Л., Шадрин О.Б. Подводные трубопроводы. М.: Недра, 1979. 263 с.
2. Несветаев Г.В. Бетоны. Ростов н/Д: Феникс, 2013. 381 с.
3. Михайлов Д.А., Дудов Д.О., Водопоглощение бетона. Методы определения водопоглощения. Сборник статей IV Международного научно-исследовательского конкурса. Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2019. С. 34–37.
4. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Высшая школа, 2001. 415 с.

References

1. Borodavkin P.P., Berezin V. L., Shadrin O.B. Podvodnye truboprovody [Underwater pipelines]. Moscow: Nedra. 1979. 263 p.
2. Nesvetaev G.V. Betony [Concrete]. Rostov on Don: Feniks. 2013. 381 p.
3. Mikhailov D.A., Dudov D.O. Water absorption of concrete. Methods for determining water absorption. Collection of articles of the IV International Research Competition. Penza: ICNS "Science and Education". 2019, pp. 34–37.
4. Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona [Technology of concrete]. Moscow: Vysshaya shkola. 2001. 415 p.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

МОНИТОРИНГ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Авторы: А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин, С.Г. Богов, В.А. Шашкин, М.А. Шашкин
(практическое руководство под редакцией д.г.-м.н. Шашкина А.Г.)

Санкт-Петербург: Георекострукция, 2021. 640 с.

В монографии раскрывается содержание мониторинга механической безопасности при новом строительстве, реконструкции и эксплуатации зданий и сооружений. Показывается значение мониторинга не только как средства контроля за сохранностью городской застройки, но и как профилактического средства, позволяющего своевременно обнаружить и диагностировать негативные тенденции и принять адекватные меры по нормализации технического состояния сооружения. Отмечается необходимость построения мониторинга как интерактивного процесса, базирующегося на компьютерной модели взаимодействия сооружения и основания. Это позволяет корректно интерпретировать результаты мониторинга, а также выполнять обратные расчеты для совершенствования исходных расчетных схем и физических моделей материалов и грунтов.

По вопросам приобретения обращайтесь:

E-mail: georeconstruction@gmail.com

WWW: geo-bookstore.ru



Учебное пособие «Промышленное и гражданское строительство. Введение в профессию»

Авторы: Грызлов В.С., Ворожбянов В.Н., Гендлина Ю.Б., Залипаева О.А., Каптюшина А.Г.,
Медведева Н.В., Петровская А.А., Поварова О.А., Чорная Т.Н.

Научный редактор – д-р техн. наук, проф. В.С. Грызлов

Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 276 с.

Дана общая характеристика профессии строитель. Приведены сведения из истории развития строительной отрасли. Предложено краткое описание видов строительной продукции, особенностей проектирования строительных объектов, технологии и порядка организации возведения зданий и сооружений; раскрыты вопросы менеджмента в строительстве. Подчеркнута важность строительной науки и цифровизации строительной деятельности. Отдельная глава посвящена особенностям организации инженерно-строительного обучения. Для студентов бакалавриата, начавших обучение по направлению «Строительство». Может быть использовано для профориентационной работы с выпускниками школ.

По вопросам приобретения обращайтесь в издательство «Инфра-Инженерия»

