

Список цитированных источников

1. Традиционные и инновационные методы проектирования экологических парков / В. В. Волкова [и др.] // Архитектура и строительные науки. – 2019. – № 1, 2. – С. 17–21.
2. Мальцевич, И. В. Инновационные технологии в строительстве и их использование / И. В. Мальцевич, Л. Г. Основина, Н. В. Мальцевич. – Казань : КазНАУ : Айтумар, 2021. – Т. III. – С. 42–47.

УДК 666.973.3

Шелест Е. В.

Научные руководители: доцент, к. т. н. Кривицкий П. В.

ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ КОНСТРУКЦИОННОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА

Целью исследований является установление экспериментальным путем взаимосвязи между соотношениями минеральных заполнителей и свойствами керамзитобетона, а также анализ исследований показателей (марок) водонепроницаемости керамзитобетона по сравнению с бетоном нормального веса при одинаковой прочности на сжатие.

В практике современного строительства наблюдается тенденция применения строительных материалов и конструкций, обеспечивающих значительное снижение массы зданий и сооружений, повышение их теплотехнических и звукоизоляционных характеристик.

В Республике Беларусь наибольшее распространение в качестве крупного легкого заполнителя получил керамзитовый гравий, обеспечивающий, главным образом, прочность, жесткость, трещиностойкость конструкционных бетонов, способствующих к снижению материалоемкости конструкций без потери их несущей способности, эксплуатационной пригодности и долговечности.

Основными показателями качества бетонов являются высокая несущая способность и долговечность изготовленных из них изделий и конструкций. На прочность бетона как его способность сопротивляться действующим на него статическим и динамическим нагрузкам, влияющих на несущую способность, значительное влияние оказывает важнейшее физическое свойство бетона – плотность. Первостепенными же свойствами, обеспечивающими долговечность бетона, являются физические свойства – проницаемость и морозостойкость, также зависящие от плотности бетона. При рассмотрении долговечности материала как его способности сохранять свою основную конструктивную функцию в течение заданного (нормируемого) срока в требуемых условиях эксплуатации с учетом наиболее вероятных деструктивных воздействий среды, необходимо изучение проницаемости бетона, так как проникновение влаги сквозь конструкции является причиной большинства коррозионных процессов и снижению эксплуатационных характеристик. При этом движение сквозь толщу бетона может обуславливаться не только давлением воды, но и градиентом влажности на противоположных поверхностях конструкции или осмотическим эффектом. В связи с этим проницаемость бетона является особенно важной характеристикой для гидротехнических сооружений, для тонкостенных конструкций,

эксплуатируемых в подводном положении или при постоянном контакте с водой, а также в контакте с коррозионной или влажной средой, что необходимо учитывать при проектировании несущих и ограждающих конструкций.

Проницаемость бетона является свойством бетона пропускать через себя газы или жидкости при наличии градиента давления (регламентируется маркой по водонепроницаемости W , характеризующая максимальную величину давления воды, при которой не наблюдается ее просачивание через образцы [1]) либо обеспечивать диффузионную проницаемость растворенных в воде веществ в отсутствие градиента давления (регламентируется нормированными величинами плотности тока и электрическим потенциалами). Зависит проницаемость от плотности, структуры, которая формируется и изменяется в течение длительного периода, начиная с момента замешивания бетонной смеси, а также от свойств вяжущего и заполнителей.

Бетон является капиллярно-пористым материалом, так как и в цементном камне и заполнителе присутствуют поры. Мелкие поры и капилляры (микропоры) размером до 10^{-5} см, к которым относятся поры цементного геля (около 28 % от объема цементного камня), практически непроницаемы для воды. Макропоры и капилляры размером более 10^{-5} см доступны для фильтрации воды, которая происходит вследствие действия давления, градиента влажности или осмотического давления. Объем макропор в бетоне колеблется от 0 до 40 % от объема цементного камня. Поэтому основную роль в проницаемости бетона играет проницаемость цементного камня, которая определяется его капиллярной пористостью. В то же время функция распределения зависит от размера, длины и распределения пор. Так, хотя пористость цементного геля 28 %, его проницаемость составляет всего $7 \cdot 10^{-10} \sim 14 \cdot 10^{-10}$ см/сек. Отметим также, что макропористость и, соответственно, проницаемость цементного камня меняется в процессе его гидратации. В процессе гидратации проницаемость резко уменьшается, так как объем геля примерно в 2,1 раза больше объема негидратированного цемента и гель заполняет часть пор, которые вначале были заполнены водой [2].

Снизить макропористость цемента, тем самым понизить проницаемость бетона, возможно путем уменьшения величины В/Ц соотношения. Однако данный вопрос изучен не в полном объеме (недостаточно) и наблюдается значительный разброс величины макропористости при одинаковом В/Ц отношении, так как имеет место влияние ряда других факторов, а именно вид (цемент грубого помола образует более пористый цементный камень, чем цемент тонкого помола), расход цемента, степени и способы уплотнения. Поэтому более эффективным в достижении снижения макропористости является уменьшение воздухоовлечения в бетонную смесь и применении химических добавок, уплотняющих структуру бетона [3, 4].

Следует отметить способность бетона уменьшать проницаемость с увеличением возраста в виду изменения характера пористости. Наблюдается процесс зарастания макропор продуктами гидратации цемента, в следствии чего и объем макропор снижается (рисунок 1).

При увлажнении бетона также наблюдается «закупорка» капилляров (пор), которые заполняются водой, значительно теряющей свою подвижность под воздействием физических поверхностных сил. Это явление, уменьшающее проницаемость бетона, носит название «кольматация» пор и капилляров.

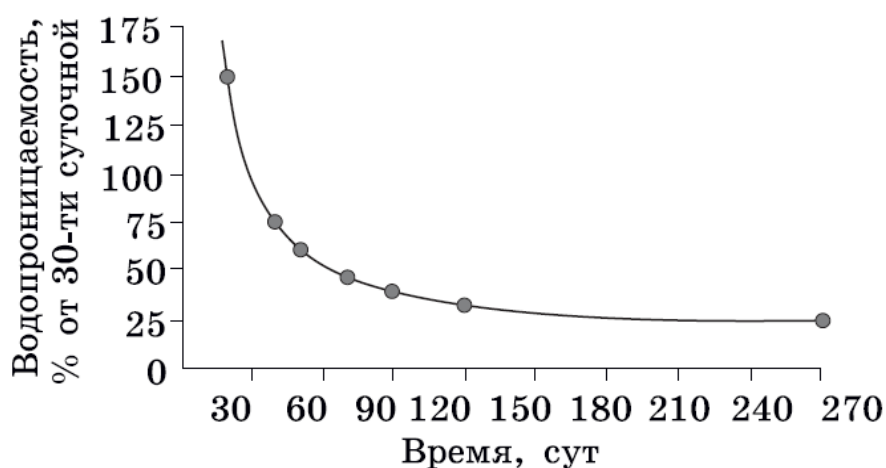


Рисунок 1 – Влияние возраста бетона на его водопроницаемость (за 100 % принята водопроницаемость в возрасте 30 суток)

Наряду с общепризнанной теорией, согласно которой проницаемость бетона в основном зависит от проницаемости цементного камня, существует предположение, что основными путями проникновения влаги в бетон является контактная зона крупного заполнителя с цементным камнем [5]. Тогда керамзитобетон в сравнении с равнопрочными бетонами нормального веса на природных заполнителях будет иметь преимущества в силу существенно более высокого (в 1,7–2,5 раза) сцепления крупного пористого заполнителя с цементным камнем. При затворении водой легкого бетонной смеси зерна сухого пористого заполнителя могут набухать (в различной степени в зависимости от вида заполнителя и его оболочки). Поскольку влажностный коэффициент линейно-температурного расширения зерна заполнителя может быть больше соответствующего значения для цементного камня, зерно пористого заполнителя может подвергаться трехосному сжатию со стороны твердеющего цементного камня. При этом сцепление таких компонентов бетона усиливается и тем самым повышается прочность его контактной зоны. Такой процесс должен способствовать повышению водонепроницаемости конструктивных легких бетонов. В бетонах, где крупный заполнитель плотный (типа гранита или доломита), возможно определенное скопление воды под зерном такого заполнителя, опускающегося (при воздействии гравитационных сил) в цементном тесте бетонного изделия. Эта вода затем в процессе твердения бетона может испаряться, образуя пустоты под зернами заполнителя. Происходит так называемая внутренняя седиментация бетонной смеси, которая существенно ослабляет сцепление зерен плотного заполнителя с цементным камнем. Также варьируя В/Ц соотношением в сторону снижения, достигается повышение плотности и, соответственно, прочности формирующейся контактной зоны. Последнему способствует и обратная миграция воды затворения из зерна заполнителя в цементную матрицу в процессе твердения бетона. Это усиливает процессы гидратации в цементном камне, в него включаются дополнительно негидратированные еще зерна цементного клинкера. Такой процесс способствует формированию мелкопористой структуры легкого бетона с минимальным объемом сообщающихся пор-капилляров. Последнее благоприятно отражается на показателях долговечности бетона (морозостойкости и водонепроницаемости) [6]. Однако

снижение водоцементного отношения, которое способствует уменьшению пористости и проницаемости, допускается до определенного оптимума. Далее будет обратный эффект – резкое возрастание из-за нехватки цементного теста.

Таким образом, в значительной степени проницаемость бетона предопределяет состав бетонной смеси, основными показателями которой являются водоцементное отношение, расход цемента, соотношение заполнителей и цемента, а также крупного и мелкого заполнителей. Важен и технологический фактор как уплотнение бетонной смеси. Если недостаточное уплотнение смеси обязательно приводит к резкому увеличению проницаемости бетона, то излишнее вибрирование может вызвать расслоение смеси, повысить внутреннее водоотделение, а, следовательно, проницаемость бетона. Для получения непроницаемого бетона бетонную смесь необходимо уплотнять при минимальной подвижности, допускаемой способом уплотнения [7].

По результатам проведенных собственных экспериментальных исследований [8] по определению показателей водонепроницаемости опытных образцов из керамзитобетона и бетона нормального веса можно сделать вывод, что технологически возможно получить легкий бетон с физическими характеристиками, не уступающими бетону нормального веса. А именно легкие конструкционные бетоны, обладая гораздо большей пористостью по сравнению с бетонами нормального веса, не обладают большей проницаемостью. Согласно полученным данным, также следует отметить, что на показатель водонепроницаемости не оказала влияние прочность крупного заполнителя, т. е. образцы изготовленные на керамзите марки М350 и на марке М600, были, при одинаковом количестве вяжущего, В/Ц соотношении и технологии изготовления аналогичны. Это подтверждается и зарубежными авторами [9], которые в своих исследованиях установили, что водонепроницаемость легкого бетона равна непроницаемости бетона нормального веса с аналогичным количеством вяжущего.

Выводы

Из проведенного анализа имеющихся исследований в вопросе оптимального проектирования состава керамзитобетонных смесей становится очевидным, что методика подбора состава конструктивных легких бетонов на керамзитовом гравии весьма усложнена в сравнении с подбором состава бетона нормального веса из-за значительного колебания значений удобоукладываемости керамзитобетона в виду своей особенности быстрой потери подвижности по причине поглощения влаги заполнителем, а также по причине трудности точного расчета В/Ц соотношения.

Результаты исследований [8] показывают возможность получения легких конструкционных бетонов на основе керамзитобетона с высокими механическими и физическими характеристиками и при том обеспечит снижение собственного веса железобетонных элементов из легких бетонов и уменьшит расход материалов, а также стоимость несущих конструкций.

Также по причине проявления эффекта обжатия пористого заполнителя концентрация структурных напряжений в цементном камне легкого бетона будет значительно меньше, чем на плотном. Следовательно, в нем будет меньше микротрещин, как следствие этого долговечность легкого бетона будет выше, чем бетона нормального веса; водопроницаемость легкого бетона будет меньше

из-за лучшей структуры цементного камня; коррозионная стойкость легкого бетона будет выше, поскольку разгрузка цементного камня будет способствовать его высокой стойкости против действия агрессивной среды.

Исходя из этого, легкий бетон следует применять не только там, где требуется снизить вес сооружения, но и во всех случаях, где наиболее полно будут использованы его положительные качества по долговечности, водонепроницаемости и коррозионной стойкости.

Список цитированных источников

1. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости: ГОСТ 12730.5-2018. – Введ. РБ 01.03.2020. – Минск : Госстандарт РБ, 2020. – 23 с.
2. Невилль, А. М. Свойства бетона / А. М. Невилль; пер. с англ. / В. Д. Парфенова, Т. Ю. Якуб. – Москва : Изд-во литературы по строительству, 1972.
3. Чикин, А. В. Технология повышения долговечности бетона с современными добавками / А. В. Чикин // Экология и строительство. – 2015. – № 3. – С. 8–13.
4. Мешкаукас, Ю. И. Керамзитобетонные конструкции. / Ю. И. Мешкаукас. – Вильнюс : Мокмлас, 1984. – 144 с.
5. Орендлихер, Л. П. Бетоны на пористых заполнителях в сборных железобетонных конструкциях / Л. П. Орендлихер. – М. : Стройиздат, 1983. – 144 с.
6. Ярмаковский, В. Н. Физико-химические и структурно-технологические основы получения высокопрочных и высокодолговечных конструкционных легких бетонов / В. Н. Ярмаковский // Строительные материалы. – 2016. – № 6. – С. 6–11.
7. Чикин, А. В. Технология повышения долговечности бетона с современными добавками / А. В. Чикин // Экология и строительство. – 2015. – № 3. – С. 8–13.
8. Кривицкий, П. П. Физико-механические характеристики конструкционного керамзитобетона в практике современного строительстве / П. В. Кривицкий [и др.] // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6, Техника. – 2024. – Том 14, № 1. – С. 35–43.
9. Liu X. Development of lightweight concrete with high resistance to water and chloride-ion penetration / X. Liu, K. S. Chia, Zhang M.-H – Cement and Concrete Composites, 2010. – Vol. 32, Issue 10. – P. 757–766.