

Из графиков видно, что введение добавки нитрита натрия в количестве 1 – 8 % от массы цемента не увеличивает относительной прочности образцов при твердении в нормальных условиях, но даже несколько её снижает. При этом абсолютная прочность увеличивается, но менее интенсивно, чем в варианте без добавки.

При введении в растворную смесь добавки кальцинированной соды в количестве 1 – 5 %, скорость набора прочности по отношению к бездобавочному варианту резко возрастает на протяжении 1 – 3 суток. Однако на седьмые сутки наблюдается резкое снижение темпов твердения. При введении в растворную смесь добавки отработанного нитрита натрия в количестве 1 – 5 %, скорость набора прочности по отношению к бездобавочному варианту резко возрастает на протяжении 1 – 3 суток. Однако, на седьмые сутки наблюдалось резкое снижение темпов твердения. При введении 0,2 и 0,5 % добавки прочность на 7-е сутки становится несколько ниже, чем в бездобавочном варианте.

Литература

1. Афанасьев, Н.Ф. Добавки в бетоны и растворы / Н.Ф. Афанасьев, М.К. Целуйко. – Киев: Будивельник, 1989. – 127 с.
2. Экологические и ресурсосберегающие технологии промышленного производства: сб. ст. Международной науч.-техн. конфер., Витебск, 24 – 25 окт. 2006 г. / УО «ВГТУ»; редкол.: П.А. Витязь [и др.]. – Витебск, 2006. – С. 183 – 185.
3. Симанкович, Е.Л. Исследование химического состава комплексной добавки ВНН / Е.Л. Симанкович // Наука 2012: сб. научных статей / ГргУ им. Я. Купалы; редкол.: Г.М. Третьяков (гл. ред.) [и др.]. – Гродно: ГргУ, 2012. – С. 152 – 154.

УДК 666.972.534

Зеленкевич Д.С., Ягубкин А.Н.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ БЕТОНА

Одним из основных условий, обеспечивающих высокие эксплуатационные качества сооружений, является защита их от воздействия воды. Проблема повышения водонепроницаемости бетона является актуальной

задачей. Водонепроницаемость бетона назначают, исходя из допустимой фильтрационной характеристики бетона и стойкости его к коррозии.

Коэффициент фильтрации бетона имеет корреляционную связь с маркой по водонепроницаемости. По рекомендациям ГОСТ 12730.5 [1] для водонасыщенных образцов марки по водонепроницаемости W2 значения коэффициента фильтрации (K_{ϕ} , см/с) изменяются от $7 \cdot 10^{-9}$ до $2 \cdot 10^{-9}$, W4 – от $2 \cdot 10^{-9}$ до $7 \cdot 10^{-9}$, W6 – от $6 \cdot 10^{-10}$ до $2 \cdot 10^{-9}$, W8 – от $1 \cdot 10^{-10}$ до $6 \cdot 10^{-10}$, W10 – от $6 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^{-10}$, W12 – менее $6 \cdot 10^{-11}$.

Одна из первых попыток связать коэффициент фильтрации воды в бетоне с его общей пористостью без дополнительного учета гидравлического радиуса капилляров сделана В.В. Стольниковым [2]. Он предложил приближенную формулу:

$$K_{\phi} = K_c \cdot \Pi_{28}, \quad (1)$$

где Π_{28} – пористость бетона в 28-суточном возрасте; K_c – коэффициент скорости движения воды (для W2 – $K_c = 2,6 \cdot 10^6$ см/с; W4 – $K_c = 8 \cdot 10^7$ см/с; W6 – $K_c = 4 \cdot 10^7$; W8 – $K_c = 2 \cdot 10^7$ см/с; W14 – $K_c = 7 \cdot 10^8$ см/с).

Вместе с тем, получение водонепроницаемого бетона во многих случаях связано с заметным увеличением расхода цемента, поэтому учет требований по водонепроницаемости бетона при проектировании его состава может быть определяющим.

Увеличение расхода цемента для повышения водонепроницаемости бетона может составлять 50% и более. Это приведет к увеличению стоимости 1 м^3 бетона на 160 – 200 тыс. бел. руб.

Сложность задач проектирования составов водонепроницаемого бетона заключается в необходимости увязки В/Ц и расхода воды, определяющих расход цемента, а также вида применяемого цемента и добавок, с требованиями обеспечить прочностные свойства, морозостойкость с необходимым тепловыделением.

Однако, самым технически и экономически выгодным способом повышения непроницаемости бетона, по мнению большинства ученых, является использование специальных добавок в бетонную смесь: добавок-уплотнителей; гидрофобных добавок; «набухающих» добавок; гидрофобизирующих добавок; добавок-пластификаторов; комплексных добавок.

Добавки-уплотнители повышают водонепроницаемость бетона за счет применения минеральных или водорастворимых веществ. В качестве минеральных веществ используются тонкомолотые и тонкодисперсные минеральные добавки из сырьевых материалов: гранулированные доменные шлаки, золы и шлаки тепловых электростанций. Рассмотренные минеральные

вещества являются отходами и поэтому экономически эффективны, однако водонепроницаемость бетона они повышают незначительно [3].

К водорастворимым добавкам-уплотнителям бетонов относятся следующие вещества: хлорное железо, силикаты натрия и калия, нитрат кальция, сульфат аммония и др. Особенность нитрата кальция заключается в том, что он в своей структуре имеет активный ион кальция (Ca). Взаимодействие одних и тех же ионов добавки НК и продуктов гидратации цемента позволяет получить равномерную структуру цементного камня, а благодаря особенности воздействия на гидратацию двукальциевого силиката и реакции превращения эпоксида с аммонием в амин позволяет значительно увеличивать динамику набора прочности бетонов в течение долгих лет [2].

Основным недостатком нитрата кальция является невозможность применения термо-влажностной обработки бетона. Сульфат аммония и хлорное железо существенно снижает коррозионную стойкость бетона и арматуры. Силикат натрия снижает прочность бетона на 25–30% [2].

Стоимость водорастворимых добавок приведена в таблице 1.

Таблица 1

Стоимость водорастворимых добавок-уплотнителей

Добавка	Стоимость, бел. руб. за 1 кг	Средний расход добавки на 1 м ³ бетона, кг	Стоимость на 1 м ³ бетона, бел. руб.
Хлорное железо	100 000	2	200 000
Силикат натрия	11 000	14	154 000
Нитрат кальция	7 000	20	140 000
Сульфат аммония	3 000	40	120 000

Таким образом, из водорастворимых добавок-уплотнителей наиболее экономически выгодной является добавка сульфат аммония, которая на 40% выгоднее добавки «хлорное железо», на 22% выгоднее силиката натрия, на 14% выгоднее нитрата кальция и на 33% выгоднее увеличения расхода цемента.

Гидрофобные добавки адсорбируются на зернах цемента в виде тончайших (мономолекулярных) слоев и образуют на их поверхности водоотталкивающую пленку. При этом они влияют на процессы твердения, способствуя образованию цементного камня с более однородной и мелкозер-

нистой структурой. К гидрофобным добавкам относятся битумная эмульсия, церезит. Рекомендуемые дозировки 5–10 % от массы цемента.

После введения битумных эмульсий в бетонную смесь при ее затворении повышается не только водонепроницаемость, но и морозостойкость, щелочеустойчивость, улучшаются и другие свойства бетона [3].

Главным недостатком данных добавок является точность их дозировки. При недостаточном количестве вводимой добавки бетон приобретает специфические свойства лишь частично, а при избыточном количестве увеличивается пористость цементного камня и снижается его прочность вследствие усиленного вовлечения воздуха в бетонную смесь [3]. Стоимость гидрофобных добавок приведена в таблице 2.

Таблица 2
Стоимость гидрофобных добавок

Добавка	Стоимость, бел. руб. за 1 кг	Средний расход добавки на 1 м ³ бетона, кг	Стоимость на 1 м ³ бетона, бел. руб.
Битумная эмульсия	25 000	40	1 000 000
Церезит	50 000	20	1 000 000

Анализ данных таблицы 2 показывает, что гидрофобные добавки имеют высокую стоимость, а следовательно являются экономически невыгодными.

К «набухающим» добавкам относятся бентонитовая глина, бентонитовый цемент. Однако эти добавки достаточно дефицитные и дорогие, что делает их использование в современном строительстве практически невозможным. Из примеров их применения можно отметить строительство метрополитенов [4].

К гидрофобизирующим добавкам относятся абиеат, олеат натрия, кремнийорганические гидрофобизаторы (ГКЖ) и др. Особенностью рассматриваемых добавок является гидрофобизация ими воздушных полостей в бетоне. Образуются системы условно замкнутых воздушных полостей, что приводит к снижению проницаемости, возрастанию морозостойкости.

Преимущества гидрофобизирующих добавок сводятся к следующему: они несколько замедляют сроки схватывания цемента; увеличивают подвижность бетонной смеси и цементных растворов, что дает возможность при постоянной удобоукладываемости принять меньшее водоцементное отношение; снижают водоотделение; несколько уменьшают усадочные явления в бетоне; повышают сопротивляемость бетонных смесей расслоению и не влияют на сцепление бетона с арматурой.

Гидрофобизирующие добавки оказывают непосредственное пластифицирующее действие на частицы цемента, образуя на поверхности зерен водные пленки. При этом гидратация цемента и нарастание механической прочности в начальные сроки твердения несколько замедляются. Затем они не препятствуют нарастанию прочности [4].

Стоимость гидрофобизирующих добавок приведена в таблице 3.

Таблица 3

Стоимость гидрофобизирующих добавок

Добавка	Стоимость, бел. руб. за 1 кг	Средний расход добавки на 1 м ³ бетона, кг	Стоимость на 1 м ³ бетона, бел. руб.
ГКЖ	60 000	0,5	30 000
Алюминат натрия	30 000	0,2	6 000
Абиетат натрия	45 000	0,2	9 000

Следовательно, добавка алюминат натрия является экономически более выгодной, чем добавка ГКЖ на 80%, на 33% выгоднее абиетата натрия и на 97 % выгоднее, чем увеличение расхода цемента.

Пластифицирующие добавки являются разжижителями и высокоэффективными пластификаторами бетонных смесей, они позволяют в несколько раз повысить подвижность смеси, не вызывая при этом снижения прочности бетона при сжатии [4].

К пластифицирующим добавкам относятся добавка С-3, лигнопан Б-2, одолит.

Стоимость пластифицирующих добавок приведена в таблице 4.

Таблица 4

Стоимость пластифицирующих добавок

Добавка	Стоимость, бел. руб. за 1 кг	Средний расход добавки на 1 м ³ бетона, кг	Стоимость на 1 м ³ бетона, бел. руб.
С-3	8 500	3,6	30 600
Лигнопан Б-2	11 500	8	92 000
Одолит	15 000	4	60 000

Следовательно, добавка С-3 является экономически более выгодной, чем добавка лигнопан Б-2 на, 67 %, на 49 % выгоднее добавки одолит и на 83 % выгоднее увеличения расхода цемента.

Сравнение стоимостей экономически выгодных добавок по типам приведено в таблице 5.

Таблица 5

Сравнение стоимостей различных видов добавок

Тип	Добавка	Стоимость, бел. руб./кг	Средний расход добавки на 1 м ³ бетона, кг	Стоимость на 1 м ³ бетона, бел. руб.
Водорастворимые добавки-уплотнители	Нитрат кальция	416	3,75	1 600
Гидрофобные добавки	Битумная эмульсия	25 500	37,5	956 250
Гидрофобизирующие добавки	ГКЖ	60 000	0,5	30 000
Пластифицирующие добавки	С-3	8 500	3,6	30 600

Анализ данных таблицы 5 показывает, что наиболее экономически выгодной является добавка нитрат кальция. Но невозможность её использования для изделий, подвергаемых термовлажностной обработке при твердении, резко снижает её применение. Пластифицирующая добавка С-3 экономически выгоднее увеличения расхода цемента на 83 %.

В Полоцком государственном университете, в связи с высокой востребованностью на рынке, выполняются работы по проектированию составов бетонов с марками по водонепроницаемости W10 – W16, марками по морозостойкости F200 – F400, классами бетона C25/30 – C32/40.

Литература

1. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости: ГОСТ 12730.5-84.– Введ. 01.07.85. – М: НИИЖБ, 1984. – 12 с.
2. Рамачандран, В. Наука о бетоне / В. Рамачандран, Р. Фельдман. – М.: Стройиздат, 1986. – 278 с.
3. Батыновский, Э.И. Эффективность и проблемы энергосберегающих технологий цементного бетона / Э.И. Батыновский, Е.А. Иванова, Р.Ф. Осос // Строительная наука и техника. – №3. – 2006. – С. 7 – 17.
4. Касторных, Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы: учеб.-справ. пособие / Л.И. Касторных. – Ростов н/Д.: Феникс, 2007. – 221 с.