

УДК 691.328.1

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНО-МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ И МОРОЗОСТОЙКОСТИ БЕТОНА**

**Д.С. ЗЕЛЕНКЕВИЧ, А.Н. ЯГУБКИН,
канд. техн. наук, доц. В.В. БОЗЫЛЕВ
(Полоцкий государственный университет)**

Представлен обзор наиболее перспективных добавок в бетонную смесь, обеспечивающих повышенную водонепроницаемость и морозостойкость бетона. Рассмотрены их основные характеристики, преимущества и недостатки. Показаны подходы к выбору с обоснованием целесообразности применения добавок для обеспечения водонепроницаемости и морозостойкости бетонов. Разработанные в Полоцком государственном университете составы бетонов с учетом использования их для изготовления конструкций, эксплуатирующихся в условиях ОАО «Нафтан», обладают высокими показателями водонепроницаемости и морозостойкости.

Введение. Бетоны и растворы, в которых используется цементное вяжущее, так же как и другие каменные материалы, разрушаются под воздействием влаги, отрицательной температуры, когда в результате увеличения объема воды при ее переходе из жидкого в твердое состояние развиваются значительные усилия. Следовательно, сопротивляемость материалов воздействию этих усилий зависит от их плотности, прочности, а также наличия в них незаполненных или не полностью заполненных пор, в которых может размещаться вода или лед, не создавая давления на стенки пор, или действуя на них с меньшим усилием.

Бетон высокой водонепроницаемости и морозостойкости должен отвечать следующим требованиям, определяющим его экономическую эффективность: снижение трудоемкости работ по его приготовлению; снижение расхода материалов; обеспечение высокого качества работ; сокращение сроков и стоимости строительства в целом [1].

Исследовательская часть. Эффективным технологическим приемом повышения водонепроницаемости и морозостойкости бетона является использование специальных добавок в бетонную смесь [2 – 5]. Действие добавок, повышающих водонепроницаемость бетона, сводится в основном к коагуляции в бетоне капилляров и других неплотностей сечением более 1 мкм, через которые мигрирует влага. Это приводит к улучшению структуры, повышению плотности цементного камня и приданию бетону и раствору водоотталкивающих (гидрофобных) свойств [6]. По эффективности действия добавки разделены на три группы в порядке уменьшения достижения эффекта.

К **первой группе** относятся добавки, повышающие водонепроницаемость бетона в 5 и более раз. Среди наиболее перспективных можно выделить следующие:

- фенилэтоксисилоксан 113-63 (ФЭС-50). Прозрачная подвижная жидкость, нерастворимая в воде, образует эмульсию. Введение добавки способствует длительному сохранению подвижности бетонной смеси, но приводит к снижению прочности бетона. Не рекомендуется тепловлажностная обработка бетона [7];

- алюмометилсиликонат натрия АМСР-3. Продукт взаимодействия металлического алюминия с метилсиликонатом натрия. Бесцветная или желтоватая жидкость, смешивающаяся с водой в любых соотношениях [7];

- пластиИЛ. Гидрофобизатор для растворов и бетонов на портланд- и шлакопортландцементе. Добавка не содержит хлоридов, вызывающих коррозию арматуры; повышает жизнеспособность и нераслаиваемость смесей; обладает пластифицирующим действием. Рекомендуемая дозировка – 1,5 % массы цемента [7];

- гидробетон. Рекомендуемая дозировка составляет 2,0 – 3,0 % массы цемента [7];

- аддимент ДМ 2 (ФРГ). Добавка не содержит хлоридов, вызывающих коррозию арматуры. Рекомендуемая дозировка – 0,2 – 0,8 % массы цемента [7];

- олеат натрия (ЗАО «Еврохим»). Рекомендуемая дозировка – 0,05 – 0,6 % массы цемента [7];

- зикагард-702 В-Аквафоб (Швейцария) [7].

К добавкам **второй группы**, повышающим водонепроницаемость бетона в 2 – 4,9 раза, относятся:

- полигидросилоксаны 136-41 (ГКЖ-94) и 136-157М (ГКЖ-94М). Не допускается электропрогрев смеси [7];

- комплексная органоминеральная добавка КОМД-С. Добавка растворима в воде, обладает усиленным пластифицирующим действием (на 35 – 45 %) [7];

- церезит Ц – водная суспензия из нерастворимых смесей олеиновой кислоты и извести в насыщенном известковом растворе (20 % извести; 7,8 % олеиновой кислоты; 0,5 % нашатырного спирта; 0,2 % охры сухой; 5 % сернокислого алюминия и 66,5 % воды) [8];

- битумная эмульсия БЭ «Эмульбит», состоящая из битума марки БН-III (56 – 57 %; СДБ (3 – 4 %) и воды (40 %) [6]. Рекомендуемая дозировка – 5 – 10 %. После введения битумных эмульсий в бетонную смесь при её затворении повышается не только водонепроницаемость, но и морозоустойчивость, щелочестойкость, улучшаются и другие свойства бетона. Также обладает пластифицирующим эффектом [1];

- нитрат кальция. Продукт хорошо растворим в воде. Дозировка не должна превышать 3 % [7]. Добавка приводит к интенсификации процессов гидратации цементных минералов и увеличению объема гелеобразных масс, которые закупоривают капиллярные и седиментационные поры и каналы [9]. Взаимодействие одних и тех же ионов добавки и продуктов гидратации цемента позволяет получить равномерную структуру цементного камня, а благодаря особенности воздействия на гидратацию двукальцивого силиката и реакции превращения эпоксида с аммонием в амин значительно увеличивается динамика набора прочности бетонов в течение долгих лет [10]. Основным недостатком нитрата кальция и других водорастворимых добавок-уплотнителей заключается в том, что при термовлажностной обработке бетона добавки не повышают его водонепроницаемость [11];

- сульфат алюминия. Бесцветные кристаллы хорошо растворимы в воде. Дозировка не должна превышать 3 % [7];

- полиаминная смола С-89. Рекомендуемая дозировка – 0,6 – 1,5 % [7];

- нитрат железа. Продукт хорошо растворим в воде. Дозировка не должна превышать 3 % [7];

- хлорид железа. Продукт состава $FeCl_2 \cdot 6H_2O$ хорошо растворим в воде и сильно гигроскопичен.

Количество добавки не должно быть менее 3 % для бетона неармированных конструкций, и менее 2 % – для бетона армированных конструкций [7];

- диэтиленгликолевая смола ДЭГ-1. Рекомендуемая дозировка – 1,0 – 1,5 % [7];

- триэтиленгликолевая смола ТЭГ-1. Рекомендуемая дозировка – 1,0 – 1,5 % [7];

- сульфат железа. Дозировка добавки не должна превышать 3 % [7];

- хлоралюмокальций. Смесь, состоящая из 15 % безводного хлористого кальция, 5 % безводного хлористого алюминия и 30 % воды по массе [6];

- азотнокислое железо (нитрат железа) – готовый товарный продукт, соответствующий ГОСТ 4111-74 [6];

- пластифицирующие вещества сами по себе и в сочетании с абиеатом натрия и хлористым кальцием в виде комплексной добавки [6];

- абиеат натрия – сухой водорастворимый порошок красно-кирпичного цвета, получаемый из нейтрализованной (омыленной едким натром) абиеитовой смолы (винсола), соответствующий ВТУ 407-62 [6];

- силикаты натрия и калия, сульфат аммония, олеат натрия и другие при содержании в бетонной смеси в количестве 0,5 – 1 % от массы цемента обеспечивают наилучшую водонепроницаемость бетона и повышение его прочности до 20 % [12];

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 [10].

- стеарат цинка (ЗАО «Еврохим»). Дозировка – 0,1 – 1,0 % массы цемента [7];

- стеарат кальция (ЗАО «Еврохим»). Дозировка – 0,2 – 1,0 % массы цемента [7];

- гидрофоб Е (Словения). Обладает пластифицирующим действием [7];

- сементол Е (Словения). Обладает пластифицирующим действием [7];

- зикалайт (Швейцария). Дозировка – 2 % массы цемента [7];

- зикагард-700С (Швейцария) [7].

К добавкам *третьей группы*, повышающим водонепроницаемость бетона в 1,4 – 1,9 раза, относятся:

- сернокислые соли пеназолинов ССП [7].

- этилсиликонат натрия ГКЖ-10 и метилсиликонат натрия УКЖ-11 [7].

- уплотняющие добавки, которые размещаются в поровом пространстве и набухают в условиях насыщенного раствора гидроксида кальция и при этом кольматируют капилляры и неплотности: трепел и диатомит, кремнеземистая опоковидная порода, глина [6];

- 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 [8];

- 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. Впоследствии они не препятствуют нарастанию прочности [11].

Эффективным способом повышения морозостойкости бетонов является введение в их состав добавок *поверхностно-активных веществ*. Благоприятное влияние пластифицирующих добавок типа СДБ на морозостойкость бетона заключается в том, что в их присутствии формируется наиболее оптимальная структура бетона, но не микропористая, а плотная за счет замедления процесса схватывания цементного теста и более полной седиментации.

Введение в бетонные смеси пластифицирующе-воздухововлекающих, воздухововлекающих и газообразующих добавок обеспечивает возникновение микропор шаровидной формы, что повышает морозостойкость бетонов. Наиболее эффективным является сочетание добавок, таких как [8]:

- пластифицирующие, пластифицирующе-воздухововлекающие и воздухововлекающие добавки; газообразующие добавки-полигидросилоксаны Ж 136-41, Ж 146-57М и этилгидридесквioxсан ПГЭН; смолы ДЭГ-1, ТЭГ-1 и С-89; алкил (арил гидрид) силесквioxсаны ААС; водная (5 – 15 %-ная) эмульсия полиуретана (ВЭП) вводится в бетонную смесь в количестве 1,5 – 18 % массы цемента [6].

Для повышения морозостойкости бетона в состав смеси, помимо указанных, можно вводить противоморозные добавки. При этом значительно повышается прочность при сжатии и стойкость бетонов к одновременному действию хлористых солей и низких температур:

- карбамид, или мочевины (М). Добавка хорошо растворима в воде [7];
- соединение нитрата кальция с мочевиной (НКМ). Такие добавки обеспечивают наибольшее повышение морозостойкости бетонов, твердеющих на морозе. В присутствии этих добавок формируется стабильная морозостойкая структура порового пространства бетона с преобладанием микропор и пор геля, уменьшается количество льда при замораживании, повышается предельная растяжимость, динамически модель упругости и прочность бетона [6];
- нитрат натрия (НН) [7];
- ускоряющая противоморозная добавка (УПДМ). Сбалансированная по компонентному составу жидкая смесь из отходов производства ацетоуксусного эфира, ацетилацетона и нитрохлораكتинида, взятых в соотношении 7:3:1 по объему [7];
- формиат натрия спиртовой (ФНС). Отход нефтехимического производства, представляющий 30 – 40 %-ный водный раствор натриевых солей муравьиной и серной кислот [7];
- асол-К. Продукт из органических и неорганических компонентов: водного раствора поташа, ингибиторов коррозии и модификаторов [7];
- гидробетон-С-3М-15. Добавка также обладает пластифицирующим действием [7];
- гидрозим. Не вызывает коррозии арматуры [7];
- лигнопан-4. Добавка также обладает пластифицирующим действием [7];
- победит-Антимороз [7];
- аммиачная вода. Продукт (NH_4OH), представляющий собой аммиачный газ NH_3 , растворенный в воде [7];
- Бетонсан (ЗАО «Компания Конвент ЦЕНТР») [7];
- Сементол Б (Словения) [7].

Морозостойкость бетона также повышается при совместном введении в его состав суперпластификатора МФ-АР [14] и воздухововлекающих добавок типа СНВ (смола нейтрализованная воздухововлекающая) или СДО (смола древесная омыленная) в количестве 0,005 – 0,035 % массы расходного цемента.

Каждая из перечисленных добавок в бетон отличается своими свойствами и находит применение в современном строительстве. Но если речь идет о достижении одновременно двух результатов, таких как *водонепроницаемость* и *морозостойкость*, то здесь следует обратить внимание на добавки Дегидрол люкс марки 10-2 и Бетонправ люкс марки 2. Дегидрол люкс, являясь добавкой для получения водонепроницаемого бетона, также обладает дополнительно эффектом морозостойкости; Бетонправ люкс, являясь добавкой для получения морозостойкого бетона, обладает дополнительно водонепроницаемым эффектом [15].

Главная трудность при введении добавок в бетонную смесь – 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 [13].

Работы по производству водонепроницаемого и морозостойкого бетона обходятся во много раз дешевле, чем устройство сложной, трудоемкой и дорогостоящей гидроизоляции и обмазки. Эта техноло-

гия существенно влияет на улучшение качества сооружений, удлиняет срок их службы, влияет положительно и на другие свойства бетона, что отражает актуальность рассматриваемой проблемы.

В Полоцком государственном университете по заявкам как государственных предприятий, так и частных фирм ведутся исследования по разработке бетонов повышенной водонепроницаемости и морозостойкости, а также эффективных добавок-модификаторов. Разработаны составы бетонов с учетом использования их для изготовления конструкций, эксплуатируемых в условиях ОАО «Нафтан», обладающие высокими показателями водонепроницаемости и морозостойкости. Дальнейшее совершенствование этой технологии благоприятно скажется на улучшении одного из основных показателей строительства – повышении качества и долговечности сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Давидсон, М.Г. Водонепроницаемый бетон / М.Г. Давидсон. – Л.: Лениздат, 1965. – 654 с.
2. Бабаев, Ж.Т. Энергосберегающая технология железобетонных конструкций из высокопрочного бетона с химическими добавками / Ж.Т. Бабаев, А.А. Комар. – М.: Стройиздат, 1987. – 240 с.
3. Рамачандран, В. Наука о бетоне / В. Рамачандран, Р. Фельдман. – М.: Стройиздат, 1986. – 278 с.
4. Батяновский, Э.И. Эффективность и проблемы энергосберегающих технологий цементного бетона / Э.И. Батяновский, Е.А. Иванова, Р.Ф. Осос // Строительная наука и техника. – 2006. – № 3. – С. 7 – 17.
5. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
6. Афанасьев, Н.Ф. Добавки в бетоны и растворы / Н.Ф. Афанасьев. – М.: Стройиздат, 1989. – 125 с.
7. Касторных, Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы / Л.И. Касторных. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 219 с.
8. Руководство по применению химических добавок в бетоне. – М.: Стройиздат, 1980. – 55 с.
9. Чумаков, Ю.М. Влияние суперпластификаторов на свойства бетона // Бетон и железобетон / Ю.М. Чумаков, Б.Д. Тринкер. – 1980. – № 10. – С. 16.
10. Добавки в бетоны и растворы строительные // Группа компаний «Твибо» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tvibo.ru/nitcal>. – Дата доступа: 14.09.2012.
11. Изотов, В.С. Химические добавки для модификации бетона: моногр. / В.С. Изотов, Ю.А. Соколова. – М.: Казанский гос. архитектурно-строительный ун-т: Изд-во «Палеотип», 2006. – 244 с.
12. Вавржин Ф. Химические добавки в строительстве / Ф. Вавржин, Р. Кпчма. – М.: Стройиздат, 1964. – 219 с.
13. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986. – 528 с.
14. Рекомендации по применению бетонов с комплексными добавками. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1982. – 12 с.
15. Материалы для ремонта, защиты и гидроизоляции бетона, камня, кирпича // НПК Виком [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dehidrol.ru/schemes/nachinayushim/delaem-beton/vodonepronicamuj-beton.html>. – Дата доступа: 12.11.2012.

Поступила 03.12.2013

USE OF POLYMER AND MINERAL SUPPLEMENTS FOR INCREASE OF WATERPROOF AND FROST RESISTANCE PROPERTIES OF CONCRETE

D. ZELENKEVICH, A. YAGUBKIN, V. BOZYLEV

The article provides an overview of the most promising additives in the concrete mix, ensuring increased waterproof and frost resistance properties of concrete. The main characteristics, advantages and disadvantages of the additives are considered. Approaches to the choice of substantiating the appropriateness of additives to waterproof and frost resistance properties of concrete are shown. The concrete compositions, which take into account their use for the manufacture of constructions for OJSC "Naftan", developed in Polotsk State University "Naftan" possess waterproof and frost characteristics of high performance.