МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи

Дахли Мохамед

ГИДРОФОБНО-КОЛЬМАТИРУЮЩАЯ ПРОПИТКА БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА

05.23.05. — Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Харьков - 1996

Диссертация выполнена на кафедре физико-химической механики и технологии бетона Харьковского государственного технического университета строительства и архитектуры и в лаборатории восстановления защитных свойств железобетонных конструкций института Харьковский "Промстройниипроект".

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Чернявский В.Л.

Официальные оппоненты: доктор химических наук, профессор
Плугин А.Н.,
кандидат технических наук
Спирин Ю.А.

Ведущая организация: институт Донецкий "Промстройниипроект"

Защита диссертации состоится "12" июня 1996 г. в 12 часов на заседании специализированного совета Д 02.07.03 по специальности 05.23.05 — строительные материалы и изделия при Харьковском государственном техническом университете строительства и архитектуры по адресу: г.Харьков, ул. Сумская, 40.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьковского государственного технического университета строительства и архитектуры.

Автореферат разослан "07" мая 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
доктор технических наук, профессор И.А. Емельянова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Для северной части африканского континента, в частности для Алжира, характерным является тропический климат, особенность которого состоит в небольшой влажности и высокой температуре в течение года. Такие условия оказывают отрицательное влияние на качество строительных конструкций из монолитного бетона, как на ранних стадиях твердения (испарение влаги в сухой период или переувлажнение в период дождей), так и в процессе эксплуатации (попеременное действие нагрева и увлажнения).

Известные методы поддержания нормального влажностного состояния твердеющего и эксплуатирующегося бетона строительных конструкций при повышенных температурах среды, как правило, рассматривались обособленно друг от друга без учета общей задачи обеспечения долговечности зданий и сооружений. Определенное распространение в качестве материалов, изолирующих твердеющий бетон от внешней среды нашли пленкообразующие покрытия, эффективность которых в дальнейшем существенно зависит от продолжительности сохранения сплошности покрытия, а также качества адгезионного контакта его с поверхностью конструкции. Для конструкций из монолитного бетона (железобетона), особенно тех, которые характеризуются большой площадью открытой поверхности (покрытия ирригационных сооружений, производственных зданий различного назначения и т.п.) применение такого рода изоляции связано с большими энергетическими и материальными затратами при ограниченном периоде действия защитного эффекта, рассчитанного на период строительства.

Что касается обеспечения стойкости к действию внешней среды бетона в период его службы, то перспективной является его уплотняющая (гидрофобизирующая) пропитка, применение которой для монолитных конструкций ограничено размерами и их месторасположением в зданиях и сооружениях. Многообещающей, с инженерной точки зрения, может оказаться поверхностная пропитка, способ выполнения которой предусматривает включение ее в традиционный технологический цикл бетонирования, а ее действие сохраняется длительное время, соизмеримое с периодом эксплуатации.

Цели и задачи исследований. Целью работы является разработка для районов с жарким климатом рецептуры пропиточной композиции на основе высокомолекулярных углеводородов и определение технологических параметров малоэнергоемкого способа поверхностной пропитки строительных конструкций из монолитного бетона, предусматривающего

сохранение бетонной смесью и бетоном нормальных влажностных свойств в ранний период структурообразования, а также обеспечение пропитанным бетоном эксплуатационных характеристик длительного действия.

Для достижения поставленной цели возникла необходимость решения следующих задач:

1. Анализ существующих составов и способов поверхностной пропитки строительных конструкций из бетона и выбор путей ее осуществления на ранних стадиях гидратационного структурообразования цементного бетона при повышенных температурах внешней среды.

2. Определение механизма пропитки бетона с использованием процессов, сопутствующих понижению давления в твердеющей цементно-водной системе.

3. Оптимизация основных параметров пропитки в лабораторных условиях.

4. Оценка физико-химических, строительно-технических и эксплуатационных свойств бетона с поверхностной пропиткой.

5. Практическая проверка технологичности и эффективности поверхностной пропитки в условиях жаркого климата.

Осуществление поставленной цели и решение перечисленных задач выполнено на базе разработок Харьковского Промстройниипроекта и их развития для конкретных условий возведения конструкций из монолитного бетона в условиях жаркого климата Алжира, а также некоторых районов Украины.

Научная новизна работы.

1. Проведены расчеты температуры нагрева наружной поверхности бетона строительных конструкций в зависимости от максимальной температуры воздуха, характерной для климатических зон Алжира в соответствии с "Атласом государственной климатической классификации".

2. Предложен механизм формирования гидрофобно-кольматирующего эффекта при термоградиентной пропитке цементного бетона композициями на основе высокомолекулярных углеводородов и кубового остатка синтетических жирных кислот с учетом изменения внутреннего давления на ранних стадиях гидратационного структурообразования цементно-водной смеси.

3. Для поиска оптимальных параметров пропитки разработана процедура, состоящая в проведении эксперимента по D-оптимальному плану, нахождении точки оптимума и последующего поиска области оптимума методом вложенных параллелепипедов при допустимой оценке снижения критерия оптимальности.

4. Комплексом методов изучены физико-химические и физико-механические свойства цементного бетона, с пропиткой композицией из петролатума и кубового остатка синтетических жирных кислот (C_{20} и более), осуществленной на оригинальной лабораторной установке для термоградиентной пропитки.

Достоверность результатов исследований. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается: применением методов математического планирования эксперимента; использованием комплекса независимых методов исследования, проведенных с применением современного оборудования; строгой статистической обработкой результатов исследований; согласованностью данных экспериментов с теоретическими предпосылками и результатами технологической проверки в производственных условиях.

Практическое значение работы.

1. Определены технологические параметры процесса пропитки в оптимальных диапазонах температуры, количества модифицирующей добавки к петролатуму и времени предварительного выдерживания, которые соответствуют реальной эффективности (глубине пропитки).

2. С участием автора изготовлен ряд приспособлений для безвоздушного нанесения пропиточной композиции на поверхность свежеуложенного бетона, а также разработаны "Рекомендации по обеспечению стойкости бетона инсоляционной поверхностной пропиткой композицией из модифицированного петролатума".

Реализация работы. Результаты исследований и "Рекомендации по обеспечению стойкости бетона инсоляционной поверхностной пропиткой композицией из модифицированного петролатума" практически реализованы при выполнении опытных участков пропитки на строительных объектах жилищного строительства в г.Харькове (Украина) и г.Алжир (Алжир).

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы представлялись на 48, 49 и 50 научно-технических конференциях ХГТУСА (ХИСИ) "Повышение эффективности строительства" (Харьков, 1993, 1994, 1995); международных научно-технических конференциях "Повышение долговечности и эффективности работы конструкций сельскохозяйственных зданий и сооружений" (Челябинск, 1992); "Новые методы расчета, материалы и технологии в строительстве" (Алчевск, 1993); "Теория и практика строительства и строительных материалов" (Сумы, 1994).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 6 работ.

Объем работы. Диссертация, состоящая из введения, пяти глав и общих выводов, изложена на 176 страницах, включающих 113 страниц основного текста, 17 таблиц, 24 рисунка, 2 приложения и список использованной литературы из 131 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Существенно важным для создания долговечных конструкций из монолитного бетона в условиях жаркого климата является обеспечение их влажностного состояния в начальный период образования структуры, а также в процессе эксплуатации. До настоящего времени основным путем решения этих двух вопросов было создание бетона, характеризующегося повышенной непроницаемостью и трещиностойкостью. Такой подход требует значительных затрат, часто не вполне обоснованных с конструктивной точки зрения. Применение различного рода водо- и паронепроницаемых покрытий обеспечивает, в основном, только первое условие, а использование известных композиций для поверхностной пропитки, как правило, оставляет без внимания второе. Поэтому полезной является разработка способа, удовлетворяющего обоим условиям ухода за монолитным бетоном в процессе его образования и эксплуатации.

Состояние вопроса. Специфика условий производства бетонных работ и эксплуатация бетонных и железобетонных конструкций и сооружений в жарком климате выдвинули в последние два десятилетия перед строительной отраслью проблему исследования климатического воздействия на технологию бетонных работ и свойства бетона (Бужевич Г.А., Дмитриев А.С., Заседателев И.Б., Крылов Б.А., Малинский Е.Н., Меерс С.Л., Миронов С.А., Пунагин В.Н., Равина Д., Шмидт В.А.). В жарком климате при обезвоживании бетона на этапах его образования, развития и эксплуатации уменьшаются его прочность и непроницаемость в связи с возникновением значительных деформаций и различного рода дефектов.

Территория Алжира расположена в тропическом поясе. Более 80% ее приходится на пустыню. Это, в основном, районы Центральной и Южной частей страны, для которых характерна небольшая влажность и сравнительно высокая температура в течение всего года. Северная часть характеризуется значительной относительной влажностью во все периоды года и несколько меньшей средней температурой.

В соответствии с "Атласом государственной климатической классификации" территория Алжира разделяется на 3 климатические зоны:

Зона 1 — Северный Алжир;

Зона 2 — Сахара;

Зона 3 — Южный Алжир.

Основные характеристики климатических зон Алжира для пяти наиболее жарких месяцев приведены в таблице 1.

С использованием методики С.Л. Фомина проведены расчеты температуры нагрева наружной поверхности бетона строительных конструкций в зависимости от температуры воздуха, характерной для трех климатических зон Алжира.

Максимальную температуру наружной бетонной поверхности $t_{b,ext}$ определяли по формуле:

$$t_{b,ext} = t_{max} + \frac{1}{2}\frac{\varphi}{\alpha_H}\left(I_{max} + I_{mt}\right),$$

где t_{max} — средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца (°С);

φ — коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности, для бетона $\varphi = 0.7$;

α_H — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности (Вт/м^2 · °С);

I_{max} — максимальное значение суммарной солнечной радиации (Вт/м^2);

I_{mt} — среднее значение суммарной солнечной радиации (Вт/м^2).

Таблица 1

Характеристики климатических зон Алжира

Климатические зоны	Город	Макс.темпер. / Средн.макс.темп., °С	Поверхностная температура бетона $t_{b,ext}$, °С	Солнечная радиация (прямая / рассеянная), Вт/м^2
Зона 1	Алжир	44,2 / 30,5	53(5); 33,3(6); 58,2(7); 57(8); 52,2(9)	816 / 145
Зона 2	Адрар	48,3 / 44,7	55(3); 61(4); 67,3(5); 71,3(6); 73,7(7); 72,1(8); 65,6(9); 56,3(10)	867 / 147
Зона 3	Таменрассет	38,2 / 34,2	56(3); 60,7(4); 64,6(5); 66,6(6); 65,8(7); 65(8); 62,3(9); 55,8(10)	981 / 101

Примечание: (3) — март, (4) — апрель, (5) — май, (6) — июнь, (7) — июль, (8) — август, (9) — сентябрь, (10) — октябрь.

Анализ проделанных расчетов показывает, что при возведении и эксплуатации строительные конструкции из монолитного бетона и железобетона ежегодно находятся в условиях действия повышенных температур (от 50 до 75°С) от инсоляции для зоны 1 в течении 5 месяцев (с мая по сентябрь), а для зон 2 и 3 в течение восьми месяцев (с марта по октябрь).

Проанализировано около 300 пропиточных композиций и способов пропитки цементного бетона, расширена их классификация с учетом вида материалов, состава композиций и достигаемого эффекта повышения долговечности бетонных и железобетонных конструкций с поверхностной пропиткой.

Высказано мнение, что пропиточные композиции на основе неорганических веществ являются малоэффективными, т.к. не создают гидрофобного эффекта, а существенная кольматация пор и капилляров бетона требует многократной обработки изделия. Композиции на основе органических веществ (особенно природного происхождения) практически не имеют указанных недостатков и более технологичны.

Теоретические предпосылки. Анализ существующих материалов и методов пропитки цементного бетона показал, что наиболее эффективной является их поверхностная обработка термопластичными композициями на основе высокомолекулярных углеводородов. Преимущество такой пропитки даже при незначительной глубине заключается в резком увеличении непроницаемости поверхностного слоя бетона, что создает надежную изоляцию конструкции в целом при ее эксплуатации в условиях действия воды и водных растворов.

Практически все известные способы пропитки связаны с включением новых, значительных по времени технологических операций в традиционный цикл изготовления строительных конструкций в заводских условиях. Что касается конструкций из монолитного бетона (железобетона), то до практической реализации при ремонте и восстановлении строительных объектов любого размера и месторасположения доведен термоградиентный способ поверхностной пропитки, разработанный в Харьковском Промстройниипроекте. Способ включает нанесение термопластичной композиции на нагретую до 80...100°С поверхность защищаемой конструкции, а собственно пропитка происходит за счет перепада температур в поверхностном слое бетона.

Успешные попытки использовать общепринятые режимы тепловой обработки твердеющего бетона для осуществления пропитки, когда

пропиточную композицию наносили на формы-опалубку взамен смазки, позволили предложить в качестве теплоносителя природную инсоляцию. При этом в качестве транспортирующего компонента можно использовать петролатум (смесь парафинов и церезинов с остаточным маслом), а в качестве добавки-модификатора вместо высших жирных кислот (а.с. СССР № 475349) — кубовый остаток синтетических жирных кислот (КОСЖК) фракции C_{20} и более.

Способность адсорбироваться из углеводородных масел на основной поверхности свойственна длинноцепочечным соединениям, содержащим углеводородный радикал C_nH_{2n+1}. В основе процесса взаимодействия КОСЖК с цементным камнем лежат две главные стадии. Основу первой составляет его адсорбция в порах цементного камня, а второй — взаимодействие группы $C_{20}H_{41}$ с ОН-группой, связанной с ионом кальция и находящейся на поверхности гидроксида кальция, гидроксиликатов, гидроалюминатов кальция с образованием практически нерастворимых в воде кальциевых мыл. Граничный хемосорбционный слой не является мономолекулярным и может распространяться на некоторое расстояние от поверхности внутрь пор цементного камня.

Пропитка поверхностного слоя бетона с целью повышения его непроницаемости является известным, но, к сожалению, недостаточно распространенным способом обеспечения стойкости бетона в агрессивных, прежде всего водных средах (Баженов Ю.М., Вандаловский А.Г., Волгушев А.И., Иванов Ф.М., Михальчук П.А., Москвин В.М., Мощанский Н.А., Мчедлов-Петросян О.П., Невский В.А., Орловский Ю.И., Патуроев В.В., Покровский Н.С., Полак А.Ф., Ратинов В.Б., Попченко С.Н., Савенков В.В., Силаенков Е.С., Субботкин М.И., Угинчус Д.А., Удачкин И.Б., Чернявский В.Л., Чеховский Ю.В., Шестоперов С.В. и др.).

Результаты изучения процессов, связанных с изменением давления в твердеющей цементно-водной композиции, показали, что способность бетона к капиллярному впитыванию водных и других растворов является следствием уменьшения объема при переходе в процессе твердения системы "цемент—свободная вода" в систему "цементный камень—связанная вода". Уменьшение объема такой трансформирующейся системы по мере протекания процессов гидратации вызывает отсос воды из капилляров, вследствие чего в них понижается давление.

Анализ особенностей изменения внутреннего давления при структурообразовании дисперсных капиллярно-пористых материалов (Курносов Э.А.) позволил разделить ранний период твердения

цементного камня (бетона) на этапы с указанием продолжительности проявления контракционного (конденсационного) снижения внутреннего давления, позволяющего интенсифицировать термобароградиентную пропитку бетона термопластичным материалом. Рассмотрен далее суточный цикл, схематически описывающий систему "бетонная смесь (бетон)—пропиточный материал" после укладки бетонной смеси и нанесения пропиточной композиции, затем в процессе ее нагревания за счет инсоляции, выдерживания при повышенной температуре и остывания (рис. 1).

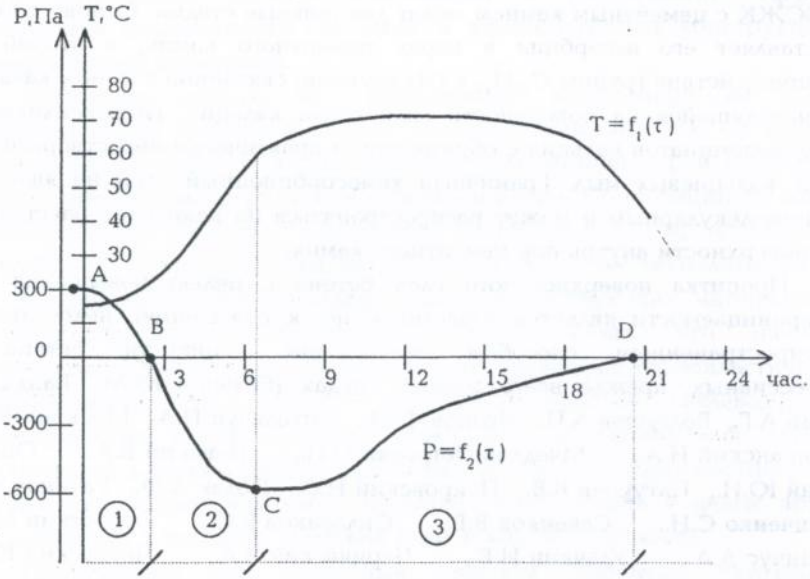

Рис.1. Характер изменения внутреннего давления (при нагревании) твердеющего цементного материала (камня, бетона).

Первый этап. Предварительное выдерживание бетона. Давление внутри материала на этом этапе (отрезок кривой АВ) соответствует гидростатическому давлению, которое вызывается наличием свободной воды, перемещаемой под действием гравитационных сил. На этом этапе в цементно-водной системе начинается гидратация цемента (растворение клинкерных минералов, пересыщение жидкой фазы CaO). В это время система насыщена водой и в ней начинает образовываться коагуляционная структура. Судя по резкому снижению внутреннего давления, в системе начинает проявляться т.н. "контракционное разряжение". Но пропитка не происходит вследствие высокой

структурной вязкости пропиточного материала и отсутствия в бетоне свободного от жидкой фазы пространства.

Второй этап. Твердение бетона в период подъема температуры (отрезок кривой ВС) характеризует дальнейшее снижение гидростатического давления в результате обезвоживания системы за счет сорбционного химического связывания воды при начинающийся гидратации вяжущего. На этом этапе интенсивно протекают процессы формирования коагуляционной структуры с одновременным частичным обезвоживанием капилляров. Значение "конденсационного (контракционного) разрежения" увеличивается. Вероятно, в конце этого этапа начинает происходить пропитка, т.к. вязкость пропиточного материала значительно снижается в результате его расплавления.

Третий этап. Твердение бетона при повышенной температуре (отрезок кривой СД). Протекает интенсивное образование коагуляционно-кристаллизационной структуры с формированием капиллярно-порового пространства цементного камня (бетона). Удаление жидкой фазы постепенно замедляется, что снижает значение "контракционного разрежения". На этом этапе создаются благоприятные условия для пропитки бетона.

При остывании бетон характеризуется значительно меньшей влажностью, чем в остальные периоды, а в его порах наблюдается снижение внутреннего давления за счет конденсационных процессов в системе. В результате пропиточный материал интенсивно впитывается.

Оптимизация процесса пропитки. Технология предлагаемого способа поверхностной пропитки свежеуложенного бетона включает следующие операции: укладку и уплотнение бетонной смеси, выдерживание ее некоторое время, нанесение на поверхность конструкции пропиточной композиции из петролатума с модифицирующей добавкой и инсоляционный нагрев.

Для оптимизации процесса пропитки по критерию максимума глубины проникновения пропитывающего материала Н (мм) был выполнен эксперимент, поставленный по D-оптимальному плану, позволяющему с наибольшей точностью оценить получаемые коэффициенты регрессионного уравнения, которое в дальнейшем использовали в качестве целевой функции при поиске оптимума. При выполнении эксперимента в качестве переменных принимали температуру нагрева: $60 \leq T \leq 80°C$; количество добавки кубового остатка

синтетических жирных кислот: $0 \le D \le 10\%$ от массы петролатума; время предварительного выдерживания: $0 \le t \le 10$ час. Каждую строку плана, соответствующую определенным значениям переменных T, D, t, повторяли трижды.

Уравнение регрессии, полученное в результате обработки экспериментальных данных по методу наименьших квадратов, имеет вид:

$$H = -35{,}12 + 1{,}65T - 0{,}275D - 4{,}225t + 0{,}01TD + 0{,}05Tt - 0{,}01Dt - 0{,}01375T^2 - 0{,}045D^2 + 0{,}035t^2$$

Результаты статистического анализа уравнения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Статистические характеристики уравнения регрессии

Наименование проверки	Расчетное значение критерия	Табличное значение критерия	Вывод
Оценка однородности дисперсии по критерию G	0.19	G(0,05;2;13) = 0,38	Дисперсия однородна
Оценка существенности коэффициентов регрессии по критерию t	от 2.2 до 64.7	t (0,05; 26) = 2,06	Значение коэффициентов существенно больше нуля
Оценка адекватности уравнения по критерию F	2.04	F (0,05;9;26) = 2,22	Уравнение адекватно

Средняя относительная невязка составила 10,8%, что можно считать вполне приемлемым для технологических задач в области строительного материаловедения.

Поиск оптимальных условий процесса пропитки выполняли в два этапа.

На первом этапе решали традиционную задачу оптимизации функции в области, ограниченной указанными ранее значениями переменных. Задачу решали методом случайного поиска, причем использовали равномерно распределенные случайные числа, аналогичные по своим статистическим характеристикам $\Lambda\Pi_\tau$-последовательностям. В связи с использованием метода случайного поиска проведено исследование статистических свойств датчика случайных чисел вида:

$$V_{i+1} = (8t^* + 3)V_i - (8t^* + 3);\ V_0 \in V(0;\ 1),$$

где: t^* — параметр датчика, в нашем случае $t^*=5$;

$(8t^*+3)$ — целая честь числа $8t^*+3$.

Установлено, что уже при числе реализаций $n>100$ последовательность соответствует равномерно распределенной, а период повторяемости не менее $1\cdot10^4$ реализаций. Установлено также, что при числе реализаций более, чем 2^{10} существенного изменения значения критерия оптимизации не происходит, при $n=2^9$ величина $H=14{,}31$ мм, при $n=2^{10}$ величина $H=14{,}33$ мм. Таким образом, в качестве оптимальной точки в пространстве параметров принята точка с координатами: $T=61{,}11$°C, $D=0{,}034$%, $t=1{,}885$ час.

Естественно, что в реальных производственных условиях выдерживание переменных, влияющих на процесс пропитки с такой высокой точностью невозможно. Поэтому была поставлена реальная задача поиска области технологического оптимума. Под областью технологического оптимума в рамках данной работы понимается такая область, внутри которой каждое возможное значение переменных T, D, t позволяет получить глубину пропитки H, не менее, чем $\delta H_{опт}$, где: $0<\delta<1$, $H_{опт}$ — оптимальная глубина пропитки, полученная в результате описанной выше методики. Подобный подход позволяет облегчить контроль технологического процесса, т.к. при этом необходимо лишь удерживать параметры T, D, t в расчетных пределах.

Реализованная в данной работе процедура состоит в постепенном расширении области параллельно осям координат, соответствующим технологическим параметрам оптимизируемого процесса. Геометрическим образом области является совокупность вложенных один в другой параллелепипедов, грани которых соответствуют тем, которые обеспечивают допустимое снижение эффективности процесса. Результаты такой процедуры приведены в таблице 3.

Таблица 3

Границы области технологического оптимума пропитки

Координаты (параметры процесса)			Потеря эффективности, %		Расчетная глубина пропитки, H мм
T, °C	D, %	t, час	расчетная	округленная	
62,5	2,8	1,7	10,7	10	13,3
65,8	1,3	2,2	18,1	20	12,2

Экспериментальные исследования. Теоретические предположения об эффективности инсоляционной пропитки цементного бетона на ранних стадиях структурообразования проверяли на затворенных водой

силикатных минералах цементного клинкера ($3CaO{\cdot}SiO_2$, $\beta{\cdot}2CaO{\cdot}SiO_2$) гидратированных CaO и портландских цементах Балаклеевского цементно-шиферного комбината, содержащих в клинкере $3CaO{\cdot}SiO_2$ 60,5...64,5%, $\beta{\cdot}2CaO{\cdot}SiO_2$ 15,6...19,9%, $3CaO{\cdot}Al_2O_3$ 5,1...5,9%, $4CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}Fe_2O_3$ 11,5...13,2%. Завершающую часть лабораторных опытов проводили на бетонах марки по водонепроницаемости W4 согласно ГОСТ 12730.3-78. Основу пропиточной композиции составлял петролатум (ОСТ 38.01117-76), модифицированный добавкой КОСЖК фракции выше C_{20} (ОСТ 38.01182-80).

Для определения механизма взаимодействия пропиточной композиции с компонентами цементного камня, а также эффективности поверхностной пропитки бетона использован комплекс независимых методов физико-химического анализа, включающий инфракрасную спектроскопию, электронномикроскопический, оптикомикроскопический, фазовый рентгеновский и электрохимический методы. С целью имитации инсоляционного метода пропитки в лабораторных условиях создана оригинальная установка, включающая камеру с инфракрасными излучателями, в которую установлены формы с образцами твердеющей бетонной смеси (бетоном). Температуру на поверхности образцов контролировали с помощью термодатчиков, а интенсивность нагрева — терморегулятором. Далее приведены результаты экспериментальных исследований. На ИК-спектрах препарата из обработанного КОСЖК при повышенных температурах гидратированного $3CaO{\cdot}SiO_2$, зафиксированы полосы 1437 и 1555 $см^{-1}$, характерные для кальциевых солей жирных кислот и практически отсутствует полоса поглощения 3624 $см^{-1}$, типичная для гидроксида кальция. На ИК-спектре препарата из $Ca(OH)_2$ присутствуют все упомянутые полосы. ИК-спектр препаратов на основе цементного камня и гидратированного $\beta{\cdot}2CaO{\cdot}SiO_2$ также имеют эти полосы, хотя и меньшей интенсивности. Сделан вывод, что по степени интенсивности образования солей $Ca-COO-R$ исследованные объекты по убыванию активности по отношению к КОСЖК можно расположить в ряд: $Ca(OH)_2$, гидратированный $3CaO{\cdot}SiO_2$, цементный камень, гидратированный $\beta{\cdot}2CaO{\cdot}SiO_2$.

Односторонняя пропитка, обусловленная методом ее выполнения, вызвала определенные трудности в подготовке образцов для оценки скорости выщелачивания, изменения значения pH, капиллярного водопоглощения, коррозионной стойкости. Для соблюдения корректности эксперимента после пропитки за счет одностороннего поверхностного нагрева было предложено осуществлять вторичную

пропитку в ванне остальных сторон образцов-кубов путем их окунания, с таким условием, чтобы первично пропитанная сторона находилась на 5...10 мм выше уровня расплавленной в ванне пропиточной композиции. По нашему опыту пропитка в ванне, как правило, не менее эффективна, чем инсоляционная.

Выщелачивание оксида кальция из пропитанных бетонных образцов в дистиллированной воде характеризует их диффузионную проницаемость, зависящую от плотности и толщины пропитанного слоя. С другой стороны, интенсивность переноса гидроксида кальция из бетона в окружающий раствор косвенным образом характеризует скорость коррозионных процессов, связанных с диффузией агрессивных ионов из жидкой агрессивной среды в цементный бетон. Изменение величины pH и концентрации ионов Ca^{2+} показывает, что скорость химического взаимодействия с водой пропитанного бетона на 2...3 порядка ниже, чем у непропитанного. Скорость капиллярного водопоглощения пропитанных образцов по сравнению с непропитанными уменьшается примерно на 2 порядка. Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности пропитки бетона предложенной композицией.

Была также определена коррозионная стойкость бетонных образцов в условиях периодического действия (16 ч — увлажнение, 8 ч — нагрев) 3-процентного водного раствора сульфата натрия и нагрева при 40°С, а также при постоянном действии 3-процентного раствора сульфата натрия. При периодическом действии агрессивной среды прочность контрольных (непропитанных) образцов через некоторое число циклов увлажнения и нагрева увеличивается на 30...40% по сравнению с исходной, а затем резко снижается. Некоторое увеличение прочности контрольных образцов является результатом вторичной гидратации клинкерных остатков и процессов коррозии, которые в начальной стадии могут увеличивать прочность цементного бетона.

Контрольные (непропитанные) образцы через 200 циклов полностью разрушаются. При длительном постоянном воздействии контрольные образцы теряют более половины начальной прочности примерно через 12 мес. Образцы, пропитанные петролатумом при обоих видах агрессивного воздействия несколько (на 10...20%) снижают прочность, а образцы, пропитанные петролатумом с 5% КОСЖК прочность практически не изменяют. Сказанное свидетельствует, что практически при одной и той же глубине пропитки петролатумные композиции с добавкой КОСЖК более эффективны.

Для оценки изменений в минеральном составе цементного камня в бетоне, происходящих при постоянном и циклическом действии сульфатсодержащих сред на пропитанные и контрольные (непропитанные) образцы, отбирали образцы из их центральной части для последующего фазового рентгеновского анализа. Идентификацию относительного содержания минеральных фаз в цементном камне производили по интенсивности (J, мм) их главных линий на рентгенограмме. Например, для суммарного содержания, негидратированных $3CaO{\cdot}SiO_2$ и $\beta{\cdot}2CaO{\cdot}SiO_2$ — линию с $d_\alpha = 2{,}77$ (2,80) Å; $Ca(OH)_2$ — линию с $d_\alpha = 4{,}90$ (4,92)Å; $CaSO_4{\cdot}2H_2O$ — линию с $d_\alpha = 7{,}61$ (7,62) Å.

Анализ результатов этих исследований показал, что под действием сульфатсодержащего раствора в непропитанных образцах происходит интенсивная гидратация силикатных фаз цементного клинкера; при этом вначале значительно увеличивается содержание гидроксида кальция, которое затем резко снижается. Очевидно, что такая тенденция связана с расходованием последнего в коррозионных процессах, главным продуктом которых является двуводный гипс, количество которого примерно вдвое выше при циклическом действии агрессивной среды, чем при постоянном. Характерно, что в образцах бетона, поверхностный слой которых пропитан модифицированным петролатумом, гидратация вяжущего за пропиточным слоем происходит со значительно меньшей скоростью, чем в контрольных (непропитанных). Наиболее существенным является снижение примерно на порядок интенсивности образования двуводного гипса, что свидетельствует о значительных барьерных характеристиках пропиточной изоляции.

В то же время имеется опасение, что бетон, пропитанный масляной фазой, может снизить свои прочностные характеристики за счет адсорбционного эффекта. Прессовые испытания образцов-кубов с ребром 7 см, пропитанных на глубину около 1,5 см показали незначительное (10...13%) снижение прочности при сжатии по сравнению с непропитанными образцами. Более строгая оценка степени уменьшения физико-механических характеристик получена путем исследования микротвердости цементного камня в пропитанном и непропитанном бетоне. Действительно, при глубине пропитки до 15 мм прочность цементного камня значительно (примерно на 30%) снижается только непосредственно у поверхности образцов, далее снижение происходит менее интенсивно (до 10...15%). При этом со временем это различие становится практически несущественным.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что поверхностная пропитка бетона композициями на основе петролатума, с одной стороны, несколько снижает в ранний период его прочность, а с другой — создает условия, связанные с консервацией воды затворения в объеме конструкций, что является благоприятным условием для длительного твердения бетона.

Практическое использование результатов работы. Завершающей частью диссертации является разработка инженерного обеспечения эффективных условий практического осуществления предложенного способа пропитки в условиях строительного объекта. Основными задачами при этом было создание агрегата, позволяющего приготавливать и наносить пропиточную композицию на поверхность свежеуложенной бетонной смеси (бетона) механизированным способом, приборное обеспечение и разработка правил статистического контроля глубины пропитки.

При участии диссертанта изготовлен мобильный агрегат, обеспечивающий безвоздушное нанесение пропиточной композиции на защищаемую поверхность. Агрегат состоит из бака с нагревательными элементами, насоса, электродвигателя, пульта управления, а также бачка для промывки систем трубопроводов. В качества рабочего органа (распылительного устройства) предложено использовать центробежную форсунку.

Для определения глубины пропитки бетона использован метод, в основу которого положен эффект возбуждения люминесценции высокомолекулярных углеводородов, синтетических жирных кислот и их металлических солей длинноволновым (365,5 мкм) ультрафиолетовым светом. В качестве источника световой энергии применен портативный люминоскоп, представляющий собой непроницаемую камеру, с источником света (ЛУФ-4), снабженным светофильтром (УФС-6), пропускающим ультрафиолетовые лучи и задерживающим лучи видимой части спектра. Статистическое обеспечение контроля качества пропитки базируется на правилах выборочного двухступенчатого приемочного контроля. Определены значения параметров выборочного контроля в зависимости от площади (до 3200 м^2) изолируемой поверхности.

Опытное внедрение предложенного способа пропитки осуществлено на монолитных участках покрытий жилых зданий в городах Харьков и Алжир в летний период 1994 г. При этом производился хронометраж всего цикла работ, который позволил получить следующие технические показатели на 100 м^2 пропитываемой поверхности: потребляемая

мощность — 1,1...1,3 Квт/час; трудозатраты — 1,3...1,5 чел.-час.; расход пропиточной композиции — 150...170 кг.

В результате проведенной работы составлены "Рекомендации по обеспечению стойкости бетона инсоляционной поверхностной пропиткой композицией из модифицированного петролатума".

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основе сведений о механизме проявления деструктивных процессов в бетоне монолитных конструкций при их возведении и эксплуатации в условиях повышенных температур и низкой влажности показана актуальность его защиты от действия внешней среды, характерной для сухого (полусухого) жаркого климата.

2. Определено, что известные способы поддержания нормального влажностного состояния твердеющего и эксплуатирующегося бетона при повышенных температурах среды до настоящего времени разрабатывались обособленно с применением двух, как правило, не совпадающих между собой во времени технологических приемов. Для устранения этого недостатка перспективной может оказаться одноразовая поверхностная пропитка полифункционального назначения и длительного защитного действия, которая одновременно обеспечивает благоприятные условия твердения и эксплуатации в условиях жаркого климата.

3. Проведен анализ существующих пропиточных композиций и способов пропитки цементного бетона и предложена классификация их с учетом вида материалов, состава композиций и достигаемого эффекта повышения долговечности строительных конструкций с поверхностной пропиткой. Наиболее перспективными по своим строительно-технологическим и эксплуатационным свойствам являются композиции на основе высокомолекулярных углеводородов и высших жирных кислот, пропитка которыми бетонной поверхности может осуществляться термоградиентным способом.

4. Предложено в качестве теплоносителя использовать инсоляцию, а также эффект уменьшения объема системы "цемент-вода" и давления в ней по мере протекания ранних стадий гидратационного структурообразования. В результате анализа особенностей изменения внутреннего давления ранний период твердения цементного бетона разделен на этапы с указанием продолжительности проявления контракционного (конденсационного) снижения внутреннего давления, позволяющего интенсифицировать термоградиентную пропитку

строительных конструкций. Проведены расчеты температуры нагрева наружной поверхности бетона строительных конструкций в зависимости от максимальной температуры воздуха, характерной для Алжира.

5. Для поиска оптимальных технологических параметров процесса пропитки предложена процедура, состоящая в проведении эксперимента по D-оптимальному плану, нахождении точки оптимума, соответствующей наибольшей глубине пропитки и последующем поиске области оптимума методом вложенных параллелепипедов с учетом допустимой оценки снижения критерия оптимальности. Разработан специальный алгоритм и предложен способ оценки равномерности датчика случайных чисел.

6. Установлено, что в диапазоне температур 62...66°С, добавке в петролатум кубового остатка синтетических жирных кислот в количестве 1...3 % и времени предварительного выдерживания около 2 часов расчетная глубина пропитки составляет 12...13 мм, что соответствует 10...20-процентной потере эффективности.

7. Для исследования механизма взаимодействия пропиточной композиции на основе петролатума и кубового остатка синтетических жирных кислот с цементным бетоном, а также свойств последнего использован комплекс физико-химических методов, включающий инфракрасную спектроскопию, электронную микроскопию, фазовый рентгеновский, электрохимический и петрографический анализы. Разработана и реализована в лабораторных условиях установка для осуществления пропитки свежеуложенного бетона в режиме, имитирующем инсоляцию.

8. Показано, что при взаимодействии пропиточной композиции и цементного бетона в начальный период твердения происходит интенсивное заполнение пор и капилляров масляной фазой (петролатумом), а также образование на их внутренней поверхности нерастворимых в воде солей типа Ca—COO—R, что делает пропитанный слой коррозионно пассивным и практически непроницаемым.

9. Осуществлен механизированный способ поверхностной пропитки свежеуложенного бетона с помощью специального агрегата и распылительного устройства на объектах жилищного строительства в г. Харькове (Украина) и г. Алжир (Алжир). На основании проведенного комплекса работ составлены рекомендации по инсоляционной поверхностной пропитке строительных конструкций из монолитного бетона (железобетона).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах.

1. Чернявский В.Л., Дахли М. Об обеспечении долговечности конструкций поверхностной пропиткой в условиях сухого жаркого климата. Тез. конференции "Повышение долговечности и эффективности работы конструкций сельскохозяйственных зданий и сооружений", Челябинск, 1992 г., с. 11.
2. Чернявский В.Л., Дахли М. О механизме поверхностной пропитки бетона модифицированным петролатумом. Тез. докл. 48-й научно-технической конференции "Повышение эффективности строительства", ХИСИ, Харьков, 1993 г., с. 125.
3. Чернявский В.Л., Дахли М. О повышении долговечности изделий из шлаковых и зольных материалов их поверхностной пропиткой. Материалы международной научно-технической конференции "Новые методы расчета, материалы и технологии в строительстве", Алчевск, 1993 г., с. 218-220.
4. Чернявский В.Л., Дахли М. Об оптимизации противокоррозионной пропитки бетона в условиях сухого жаркого климата. Тез. докл. 49-ой научно-технической конференции "Повышение эффективности строительства", ХИСИ, Харьков, 1994г., с. 29.
5. Дахли М., Дубницкий В.Ю., Чернявский В.Л. Об определении области технологического оптимума пропитки бетона в условиях инсоляции. Труды международного семинара "Теория и практика строительства и строительных материалов", ССХИ, Сумы, 1994 г., с. 71-72.
6. Дахли М., Дубницкий В.Ю. Об определении области технологического оптимума противокоррозионной пропитки бетона. 50-ая научно-техническая и научно-методическая конференция преподавателей и студентов ХГТУСА, Харьков, 1995 г., с. 25.

Dahli M. Hydro-calmatic impregnation of concrete in the condition of hot climate.

(Thesis for a scientic degree on speciality 05.23.05 — Building materials and products — Kharkov: Kharkov state technical university of construction and architecture, 1996).

Active vocabulary: monolithic concrete, hot climate, impregnation, petrolatum, cube residue, synthetic fat acids, optimization, durability.

Presented in 6 scientific publications the way of looking after hardening of concrete with simaltenuous providing durability of monolithic constructions based on superficial practice of compositions from petrolatum and cube residue of synthetic fat acids is defended. Impregnation is made on account of insolation in the condition of hot climate.

Optimum range of technological parameters of impregnation is defended.

Physico-chemical and phisico-mechanical properties of impregnated concrete are investigated.

Equipment for carrying out work is developed and experimental zones of impregnation in the condition of building are made.

Дахлі М. Гідрофобно-кальматуюча пропитка бетону в умовах жаркого клімату / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 — будівельні матеріали та вироби. — Харків: Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури, 1996р.

Ключові слова: монолітний бетон, жаркий клімат, пропитка, петролатум, кубові залишки синтетичних жирних кислот, кальматація, оптимизація, довговічність.

Захищається викладений в наукових публікаціях засіб догляду за твердіючим бетоном з одночасним забезпеченням тривалості монолітних конструкцій, заснований на поверхневій пропиткі композіцій з петролатуму і кубових залишків синтетичних кислот. Пропитка здійснюється завдяки інсоляції в умовах жаркого клімату. Визначен оптимальний діапазон технологічних параметрів пропитки. Досліджені фізіко-хімічні та фізіко-механічні якості пропитаного бетону. Розроблено обладнання для проведення робіт та виконані дослідні ділянки пропитки в умовах будівництва.

Сдано в набор 20.04.96. Подписано к печати 25.04.96.
Формат 148 х 210. Бумага RANK XEROX.
Гарнитура балтика. Печать высокая. Усл. печ. л. 0,96.
Уч.-изд. лист 0,72+0,24. Тираж 100 экз. Заказ № 15
Издательство "КиПи-РИЗО", 310166, Харьков,
пр. Ленина 17а. Тел. (0572) 45-21-33.