

На правах рукописи



003069495

U U P I B M D U M

Хо Нгок Кхоа

**ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА МОНОЛИТНЫХ БЕТОННЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ В ПЕРЕМЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-  
ВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЯХ  
(применительно к условиям Вьетнама)**

Специальность 05 23 08 – Технология и организация строительства

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

Москва 2007

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении  
высшего профессионального образования  
Московском государственном строительном университете

Научный руководитель	кандидат технических наук, доцент Копылов Виктор Дмитриевич
Официальные оппоненты	доктор технических наук, профессор Подгорнов Николай Иосифович  кандидат технических наук Куприянов Николай Николаевич
Ведущая организация	Государственное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Государственная академия профессиональной переподготовки и повышения квалификации руководящих работников и специалистов инвестиционной сферы» (ГОУ ДПО ГАСИС)

Защита состоится “29” мая 2007 г в 13 час 30 мин на заседании диссертационного совета Д 212 138 04 при ГОУВПО Московском государственном строительном университете по адресу 113114 Москва, Шлюзовая набережная, д 8, ауд № 224

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО Московского государственного строительного университета

Автореферат разослан “25” апреля 2007 г

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Ширшиков Б Ф

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Интенсивное развитие промышленности во Вьетнаме и необходимость создания населению нормальных жилищных условий потребовали увеличения объема строительства

Учитывая условия Вьетнама и специфику его народного хозяйства, приоритетным материалом при строительстве является монолитный железобетон. И объемы его применения постоянно возрастают. Если в 1991 г. соотношение производства монолитного и сборного бетона находилось в пределах 55 на 45 %, то уже в 1999 г. на долю монолитного бетона и железобетона во Вьетнаме приходится 14,1 млн м<sup>3</sup>, что составляет примерно 75% от общего объема применяемого бетона в год.

Применяемые в настоящее время технологии и методы производства бетонных работ во Вьетнаме вызывают повышенную трудоемкость работ, большую продолжительность ухода за бетоном, увеличение стоимости работ, а также и снижение качества бетонных конструкций.

Уход за твердеющим бетоном в соответствии с действующими нормативными документами осуществляется в течение 4–6 суток с периодической поливкой водой, что вызывает ее непроизводительный расход.

Анализ литературных источников и наблюдение на практике монолитного строительства во Вьетнаме позволяют прийти к следующему: особенность климатических условий, связанная с широким диапазоном изменения температуры и влажности окружающей среды не только в течение года, но и в течение суток, высокая интенсивность солнечной энергии существенным образом влияют на свойства бетонной смеси и формирование структуры твердеющего бетона.

В ряде выполненных во Вьетнаме работ изучались отдельные вопросы устройства монолитных бетонных конструкций в условиях жаркого влажного климата, связанные, главным образом, с формированием структуры и свойств твердеющего бетона.

Отсутствие системного анализа влияния всего комплекса основных технологических факторов и климатических параметров окружающей среды на свойства бетонной смеси и бетона не позволяет разработать рациональные технологические параметры устройства монолитных конструкций в указанных условиях и дать аргументированные рекомендации эффективных технологий производства работ.

Учитывая постоянное увеличение объема монолитных конструкций, особую остроту приобретает разработка менее трудоемких и ресурсосберегающих технологий и методов возведения зданий и сооружений.

При этом следует уделять серьезное внимание сокращению продолжительности ухода за бетоном, исключению ухудшения его свойств и снижения качества конструкций.

Поэтому разработанная в диссертации проблема является актуальной.

Целью диссертационной работы явилась разработка рациональных параметров и условий транспортирования бетонной смеси и выдерживания бетона монолитных конструкций в переменных температурно-влажностных условиях на основе комплексных исследований влияния технологических и климатиче-

ских факторов на подвижность бетонной смеси и свойства затвердевшего бетона

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи

- определено влияние условий транспортирования и основных параметров окружающей среды (температура и относительная влажность) на изменение подвижности бетонной смеси,

- изучено влияние основных параметров окружающей среды на физические процессы, протекающие в монолитном бетоне, выдержанном в условиях жаркого влажного климата,

- установлено влияние основных параметров окружающей среды на формирование структуры и свойств бетона, выдержанного в условиях жаркого влажного климата,

- разработаны рекомендации по обеспечению требуемой удобоукладываемости бетонной смеси к моменту укладки в опалубку,

- разработана эффективная технология выдерживания свежесуложенного монолитного бетона на ранней стадии его твердения в переменных температурно-влажностных условиях влажного жаркого климата Вьетнама

**Научная новизна работы:**

- определено влияние технологических и климатических факторов на начальную подвижность бетонной смеси и изменение ее в процессе транспортирования и установлен коэффициент потери подвижности бетонной смеси,

- комплексными исследованиями установлено влияние переменных температурно-влажностных условий жаркого влажного климата на формирование температуры бетона монолитных конструкций,

- выявлена зависимость основных физических процессов, протекающих в бетоне монолитных конструкций на ранней стадии его твердения, от параметров окружающей среды,

- установлены зависимости твердения бетона и нарастания его прочности от параметров окружающей среды и условий выдерживания,

- определена оптимальная величина прочности бетона, позволяющая прекратить уход за твердеющим бетоном,

- разработаны рекомендации по обеспечению требуемой удобоукладываемости бетонной смеси, приготавливаемой и транспортируемой в условиях жаркого влажного климата,

- разработана эффективная технология выдерживания бетона монолитных конструкций, возводимых в переменных температурно-влажностных условиях среды, позволяющая сократить продолжительность ухода за бетоном с 4-6 суток до 1-2 суток

**Практическая ценность работы:**

- разработаны способы получения и сохранения до момента укладки в опалубку заданной подвижности бетонной смеси, приготавливаемой и транспортируемой в переменных температурно-влажностных условиях окружающей среды, без перерасхода цемента,

- определены рациональные условия выдерживания бетона монолитных конструкций на ранней стадии твердения, обеспечивающие повышение качества и долговечности материала за счет уменьшения усадочных деформаций в процессе дальнейшего твердения,

- разработаны эффективные способы, рациональные параметры и условия выдерживания бетона монолитных конструкций, возводимых в переменных температурно-влажностных условиях окружающей среды, позволяющие сократить продолжительность ухода за бетоном, уменьшить трудозатраты и снизить стоимость производства работ,

- произведена производственная апробация предложенной технологии, подтвердившая технологическую и экономическую эффективность

#### **Внедрение результатов исследований:**

Разработанные рекомендации и технологии были применены при устройстве монолитных железобетонных конструкций перекрытия и покрытия объекта «Столовая и буфет» мотостроительного завода MABUCHI-MOTOR в городе Дананг, Вьетнам. Практическое внедрение позволило сократить продолжительность выдерживания бетона до распалубливания с 7-9 суток до 3 суток, снизить себестоимость 1 м<sup>3</sup> готового бетона монолитных конструкций на 126000 VND (≈ 210 руб) и трудозатраты на 0,045 ч-дн.

#### **Апробация:**

Основные положения работы были доложены и обсуждены на Юбилейной научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава Института строительства и архитектуры МГСУ в 2006 г.

В целом диссертационная работа докладывалась и обсуждалась на заседании кафедры «Технология строительного производства» Московского государственного строительного университета «4» апреля 2007 г.

#### **На защиту выносятся:**

- результаты исследований изменения подвижности бетонной смеси, приготовления и транспортируемой в условиях жаркого влажного климата,

- результаты исследований изменения температуры твердеющего бетона в зависимости от комплексного влияния температуры и влажности окружающей среды,

- результаты исследований влагопотерь и деформаций твердеющего бетона в зависимости от параметров окружающей среды, условий выдерживания и состава бетона,

- результаты исследований нарастания прочности бетона, выдержанного в различных условиях массообмена с окружающей средой,

- рекомендации по обеспечению требуемой удобоукладываемости бетонной смеси, приготовляемой и транспортируемой в условиях жаркого влажного климата,

- эффективная технология выдерживания свежееуложенного монолитного бетона на ранней стадии его твердения в переменных температурно-влажностных условиях влажного жаркого климата Вьетнама

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав с выводами, общих выводов, списка использованной литературы из 139 наименований и приложений. Она изложена на 179 страниц машинописного текста, содержит 43 рисунок и 21 таблиц.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертации, определена цель работы, ее научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе дается краткий анализ состояния применения бетона и железобетона для возведения зданий и сооружений во Вьетнаме. Интенсивное развитие промышленности во Вьетнаме и необходимость создания населению нормальных жилищных условий потребовали увеличения объема строительства. Учитывая условия Вьетнама и специфику его народного хозяйства, приоритетным материалом при строительстве является монолитный железобетон. И объемы его применения постоянно возрастают.

Особенностью климата Вьетнама является широкий диапазон изменения температуры и влажности окружающей среды не только в течение года, но и в течение суток и составляющий в пределах  $6 - 15^{\circ}\text{C}$  и  $40 - 50\%$ , высокая интенсивность солнечной энергии –  $1500 - 4000 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч}$ . В зимний сезон температура среды находится в пределах  $15 - 25^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность –  $65 - 100\%$ , за исключением сухого цикла, когда под действием сухих континентальных ветров и солнечной энергии температура в середине дня повышается до  $28 - 30^{\circ}\text{C}$ , а относительная влажность понижается до  $40 - 45\%$ .

В жаркий сезон, под влиянием высокой интенсивности солнечной энергии, до середины дня температура среды повышается с  $25 - 30^{\circ}\text{C}$  до  $35 - 45^{\circ}\text{C}$ , а относительная влажность понижается с  $85 - 95\%$  до  $35 - 45\%$ .

Выявлено, что параметры жаркого влажного климата, в первую очередь температура и относительная влажность окружающей среды, оказывают существенное влияние на возведение монолитных бетонных и железобетонных конструкций на всех стадиях производства. Основными из них являются влияние на обеспечение требуемой подвижности бетонной смеси к моменту укладки в опалубку после транспортирования и влияние на формирование структуры и свойств бетона в процессе выдерживания его после укладки.

Проблему изменения удобоукладываемости бетонной смеси и ее сохранения в процессе транспортирования изучали А.А. Афанасьев, Ю.М. Баженов, П.И. Барыкин, В.Д. Копылов, Е.И. Малинский, С.А. Миронов, А.Д. Осипов, Е.С. Темкин и другие. Разработаны способы и методы сохранения удобоукладываемости бетонной смеси, такие как применение специальных добавок, транспортирование смесей с пониженной температурой, доставка смеси в автобетоносмесителях, перевозка сухих смесей и другие. В то же время, как влияют переменные температурно-влажностные условия жаркого влажного климата, что характерно для Вьетнама, на изменение подвижности бетонной смеси в процессе приготвления и транспортирования до сих пор не изучено.

Поведение бетона в процессе выдерживания и уход за ним в условиях жаркого сухого климата изучали Д.А. Абдуллоев, Ю.М. Баженов, Г.А. Бужевич, И.Б. Заседателев, В.Д. Копылов, Б.А. Крылов, Л.А. Малинина, Е.Н. Малинский, С.А. Миронов, А.Д. Осипов, Н.И. Подгорнов, В.А. Пунагин, В.А. Шмидт и другие.

Достижения науки и практические исследования в области технологии бетона в условиях жаркого сухого климата, характеризующегося высокой температурой и низкой относительной влажностью, могут служить основой для дальнейшего изучения и развития технологии бетона в близких по параметрам экстремальных климатических условиях, в том числе, в условиях жаркого влажного климата.

Следует отметить, что в ряде выполненных во Вьетнаме работ изучались отдельные вопросы возведения монолитных бетонных конструкций в условиях жаркого влажного климата, связанные, главным образом, с формированием структуры и свойств твердеющего бетона. Эксперименты в основном были проведены в лабораторных условиях. В естественных условиях эксперименты были проведены в условиях среды, параметры которой полностью не отражают переменный характер климата Вьетнама.

Результаты ранее проведенных исследований не позволяют установить полный характер и сущность физических процессов и деструктивных изменений, протекающих в монолитном бетоне. Отсутствие системного анализа влияния всего комплекса основных технологических факторов и климатических параметров окружающей среды на свойства бетонной смеси и бетона, выдержанного в переменных температурно-влажностных условиях жаркого влажного климата, не позволяет дать аргументированные рекомендации эффективных технологий и способов производства работ.

На основе проведенного анализа сформулированы основные цели и задачи диссертационной работы.

**Вторая глава** посвящена изучению зависимости начальной подвижности бетонной смеси от ее температуры и изменения подвижности бетонной смеси в процессе транспортирования в условиях жаркого влажного климата в зависимости от условий транспортирования, вида транспортных средств, технологических факторов и основных параметров окружающей среды.

Выявлено, что при постоянном водоцементном отношении и водосодержании с повышением температуры смеси ее начальная подвижность уменьшается. Однозначная зависимость начальной подвижности бетонной смеси от ее температуры (точнее температуры компонентов, обуславливающей температуру смеси) объясняется, на наш взгляд, физико-химическими процессами, протекающими в ней с начала затворения водой.

Определенное влияние на изменение подвижности оказывает водоцементное отношение. С его понижением интенсивность уменьшения подвижности возрастает.

Установлена зависимость водопотребности бетонной смеси для обеспечения одинаковой подвижности от ее температуры. Так, при увеличении температуры смеси на  $5^{\circ}\text{C}$  ее водопотребность возрастает на 4% при В/Ц = 0,4 и на 3,5% - при В/Ц = 0,6.

Эксперименты по изучению изменения подвижности бетонной смеси были проведены в естественных условиях. Начальная температура смеси составляла 17, 20, 25 и  $30^{\circ}\text{C}$ . Параметры окружающей среды соответствовали 5 климатическим циклам Вьетнама, приведенным в табл. 1. Бетонную смесь транспортировали в автосамосвалах емкостью 1,5 и  $3\text{ м}^3$  (высота слоя смеси по борту составляла соответственно 20 и 40 см) в условиях ограниченно свободного массообмена с окружающей средой (автосамосвал не укрывали), в условиях исключенного массообмена (автосамосвал укрывали влагонизоляционным материалом) и в автобетоносмесителях емкостью  $6\text{ м}^3$ . Бетонная смесь имела начальную подвижность 6 и 14 см ОК. Продолжительность транспортирования составляла 30 мин и 60 мин.

Существенное влияние на уменьшение подвижности бетонной смеси оказывает продолжительность транспортирования. В зависимости от температурных условий транспортирование смеси с начальной подвижностью 6 см ОК в открытом автосамосвале в течение 30 минут вызывает уменьшение подвижности до 2–4 см, а в течение 60 мин – до 0–2 см, при начальной подвижности 14 см ОК уменьшение подвижности происходит, соответственно, до 6–11 см и 2–9 см. Транспортирование в автобетоносмесителе несколько уменьшает потери подвижности бетонной смеси. Подвижность смеси с начальной 6 см ОК за 30 мин транспортирования снижается до 3–5 см, а за 60 мин – до 1–4 см, подвижность смеси с начальной 14 см ОК, соответственно, до 8,5–12 см и 5–10 см.

Оказывает значительное влияние на снижение подвижности смеси ее температура. Увеличение начальной температуры смеси на 10–13°C (с 17–20°C до 30°C) вызывает возрастание потери подвижности за 30–60 мин транспортирования в открытом автосамосвале смесями с начальной подвижностью 6 см ОК на 1–3 см, а смесями с начальной подвижностью 14 см ОК – на 3–5 см, при транспортировании в автобетоносмесителе – на 1–1,5 см и 2,5–4 см (рис 1).

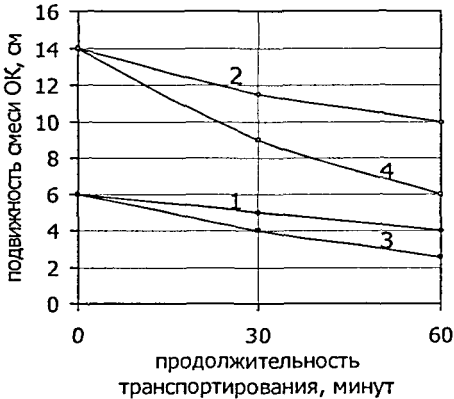


Рис 1. Изменение подвижности бетонной смеси в зависимости от ее начальной температуры в процессе транспортирования автобетоносмесителем ( $t_{cp} = 20-22^{\circ}\text{C}$  и  $W_{cp} = 54-60\%$ ).

1, 2 – начальная температура смеси  $17^{\circ}\text{C}$ ,  
3, 4 – тоже,  $30^{\circ}\text{C}$

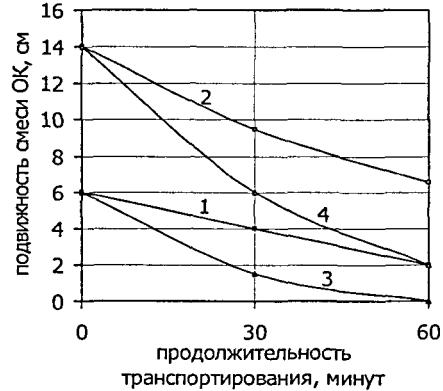


Рис 2. Изменение подвижности бетонной смеси в зависимости от температуры окружающей среды в процессе транспортирования в открытом автосамосвале с объемом смеси  $3\text{ м}^3$ .

1, 2 – при температуре окружающей среды  $20-22^{\circ}\text{C}$ ,  
3, 4 – тоже,  $32-36^{\circ}\text{C}$

Неблагоприятное влияние на изменение подвижности бетонной смеси в процессе транспортирования оказывает температура окружающей среды. При ее повышении возрастает температура смеси и, соответственно, интенсифицируется уменьшение подвижности смеси. Повышение температуры окружающей среды с  $20-22^{\circ}\text{C}$  до  $32-36^{\circ}\text{C}$  вызывает уменьшение потери подвижности за 30–60 мин транспортирования в открытом автосамосвале смесями с начальной подвижностью 6 см ОК на 2–2,5 см, а смесями с начальной подвижностью 14



см ОК – на 3,5 4,5 см (рис 2), при транспортировании в автобетоносмесителе – на 1,5 2 см и 3 4 см

Условия транспортирования и вид транспортных средств не оказывают существенного влияния на изменение подвижности смеси в процессе транспортирования. Бетонная смесь с начальной подвижностью 6 см ОК через 30–60 мин транспортирования в различных транспортных средствах имеет разницу в подвижности всего в 1–2 см. У бетонной смеси с начальной подвижностью 14 см ОК разница в подвижности составляет 1,5–3 см.

Укрытие автосамосвалов влагоизоляционным материалом позволяет уменьшить потерю подвижности бетонной смеси с ОК 14 см за 60 мин транспортирования при температуре среды 32–36<sup>0</sup>С всего на 1 см (с 2 до 3 см).

Экспериментально определен коэффициент потери подвижности смеси за время транспортирования ( $\eta$ ), величина которого зависит от начальной температуры смеси, температуры окружающей среды, условий и продолжительности транспортирования. В зависимости от требуемой подвижности ОК<sub>тр</sub> и коэффициента потери подвижности  $\eta$ , отпускная подвижность ОК<sub>оп</sub>, которую должна иметь бетонная смесь при ее приготовлении, определяется по формуле

$$ОК_{оп} = ОК_{тр} / \eta$$

Основной причиной потери подвижности бетонной смесью является, на наш взгляд, ускорение химического связывания воды и увеличение количества физически связанной воды, вследствие интенсификации процессов схватывания и адсорбции воды.

Сохранение начальной подвижности бетонной смеси и обеспечение заданной удобоукладываемости к моменту укладки ее в опалубку при возведении монолитных конструкций в условиях переменных температурно-влажностных параметров среды возможны путем уменьшения начальной температуры смеси, сокращения продолжительности транспортирования смеси, транспортирования смеси в автобетоносмесителях и использования эффективных пластифицирующих добавок.

**В третьей главе** приведены результаты экспериментальных исследований основных физических процессов, протекающих на ранней стадии твердения бетона в переменных температурно-влажностных условиях среды. В процессе экспериментов одновременно производили измерения температуры, влагопотерь и деформаций твердеющего бетона.

С целью выявления степени влияния условий массообмена с окружающей средой на физические процессы, образцы выдерживали в условиях свободного массообмена с окружающей средой (неопалубленные поверхности были открыты на протяжении всего эксперимента), в условиях исключенного массообмена с окружающей средой (неопалубленные поверхности сразу после формирования укрывали влагоизоляционным материалом), в комбинированных условиях (в течение первых 4-х часов - в открытом состоянии, затем – укрывали влагоизоляционным материалом).

Испытуемые образцы изготавливали из бетонных смесей с В/Ц = 0,6 и 0,4 и подвижностью 6–8 и 14–16 см. Начальная температура смесей составляла 20–22<sup>0</sup>С и 29–31<sup>0</sup>С.

Эксперименты проводили в естественных условиях, соответствующих 5-и циклам климата Вьетнама (табл 1).

Результаты экспериментов позволили установить характер изменения температуры бетона на ранней стадии твердения в зависимости от комплексного влияния температуры и влажности окружающей среды

В среде с  $t_{cp} = 28 \dots 35^\circ\text{C}$  через 4–6 часов выдерживания температура в центре образца достигает  $36 \dots 37^\circ\text{C}$ , в среде с  $t_{cp} = 28 \dots 40^\circ\text{C}$  –  $48 \dots 50^\circ\text{C}$ . В ночное время, когда температура среды уменьшается до  $25 \dots 28^\circ\text{C}$ , температура в бетоне тоже постепенно снижается до минимальной величины, приближающейся к температуре воздуха

Таблица 1

Параметры окружающей среды

Циклы климата	Параметры окружающей среды в первые 12 часов выдерживания бетона	Параметры окружающей среды в первые 72 часа выдерживания бетона
влажный цикл зимнего сезона	$t_{cp} = 18 \dots 25^\circ\text{C}$ $W_{cp} = 85 \dots 100\%$ , $Q_c = 500 \dots 1000 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч}$	$t_{cp} = 15 \dots 25^\circ\text{C}$ $W_{cp} = 85 \dots 100\%$
умеренный цикл зимнего сезона	$t_{cp} = 18 \dots 25^\circ\text{C}$ $W_{cp} = 65 \dots 85\%$ , $Q_c = 500 \dots 1500 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч}$	$t_{cp} = 15 \dots 25^\circ\text{C}$ $W_{cp} = 65 \dots 90\%$
сухой цикл зимнего сезона	$t_{cp} = 18 \dots 30^\circ\text{C}$ $W_{cp} = 40 \dots 65\%$ , $Q_c = 1000 \dots 2000 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч}$	$t_{cp} = 15 \dots 30^\circ\text{C}$ $W_{cp} = 40 \dots 80\%$
жаркий влажный цикл	$t_{cp} = 28 \dots 35^\circ\text{C}$ $W_{cp} = 65 \dots 85\%$ , $Q_c = 1500 \dots 3000 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч}$	$t_{cp} = 25 \dots 35^\circ\text{C}$ $W_{cp} = 65 \dots 95\%$
жаркий солнечный цикл	$t_{cp} = 28 \dots 40^\circ\text{C}$ $W_{cp} = 40 \dots 65\%$ , $Q_c = 2500 \dots 4000 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч}$	$t_{cp} = 25 \dots 45^\circ\text{C}$ $W_{cp} = 35 \dots 90\%$

Примечание  $t_{cp}$  – температура среды,  $W_{cp}$  – относительная влажность среды,  $Q_c$  – интенсивность солнечной энергии

Укрытие неопалубленной поверхности пароизоляционным материалом (полиэтиленовой пленкой) позволяет уменьшить тепло- и массообмен бетона с окружающей средой. Важным фактом является то, что в укрытом бетоне температура держится на довольно высоком уровне и изменяется более умеренным темпом, чем температура среды. Температура бетона, выдержанного в комбинированных условиях, повышается постепенно и мало отличается от температуры бетона, выдержанного в укрытом состоянии.

Исследования процессов массопереноса и массообмена в бетонах проводились на образцах–кубах с ребром 10 см. Влагопотери определяли путем взвешивания на электронных весах, обеспечивающих точность до 1 г.

Результаты экспериментов позволили выявить механизм и особенности испарения влаги из бетона на начальной стадии его твердения в зависимости от параметров окружающей среды, условий выдерживания и состава бетона.

С увеличением температуры среды и уменьшением ее влажности возрастает интенсивность испарения на ранней стадии и количество испарившейся влаги. Так, при выдерживании в условиях свободного массообмена с окружающей средой в зависимости от ее параметров из бетона разных составов за первые 12 ча-

сов испаряется от 6 до 51% воды, введенной при затворении, за 72 часа – от 20 до 61% (табл 2)

Таблица 2

Влагопотери бетона, твердевшего в жарком влажном климате при различных условиях массообмена с окружающей средой

Параметры окружающей среды в первые 12 часов выдерживания бетона	Параметры окружающей среды в первые 72 часа выдерживания бетона	В/Ц бетона	ОК бетонной смеси, см	Влагопотери бетона, твердевшего в течение 3-х суток при различных условиях массообмена с окружающей средой, %					
				в условиях свободного массообмена		в условиях исключенного массообмена		первые 4 часа в открытом состоянии, затем в укрытом	
				за 12 часов	за 72 часа	за 12 часов	за 72 часа	за 12 часов	за 72 часа
$t_{cp}=18$ 25°C $W_{cp}=85$ 100%	$t_{cp}=15$ 25°C $W_{cp}=85$ 100%	0,6	6 8	7,8	25,9	3,7	8,3	5,1	9,4
			14 16	9,1	27,8	3,3	8,8	6,0	11,4
		0,4	6 8	5,9	19,9	2,5	6,1	3,9	7,8
			14 16	6,8	22,5	2,7	6,9	4,3	8,4
$t_{cp}=18$ 25°C $W_{cp}=65$ 85%	$t_{cp}=15$ 25°C $W_{cp}=65$ 90%	0,6	6 8	23,7	40,1	4,1	10,0	14,8	22,8
			14 16	24,8	46,4	4,6	12,0	15,3	28,2
		0,4	6 8	18,1	32,6	3,0	7,6	10,9	17,5
			14 16	20,4	38,1	3,4	9,7	12,1	20,6
$t_{cp}=18$ 30°C $W_{cp}=40$ 65%	$t_{cp}=15$ 30°C $W_{cp}=40$ 80%	0,6	6 8	37,3	52,4	12,3	16,4	22,7	30,5
			14 16	38,3	55,7	13,9	19,0	24,7	34,6
		0,4	6 8	28,2	39,3	7,7	10,8	18,4	23,2
			14 16	30,2	44,4	9,3	13,2	19,8	26,6
$t_{cp}=28$ 35°C $W_{cp}=65$ 85%	$t_{cp}=25$ 35°C $W_{cp}=65$ 95%	0,6	6 8	29,0	42,5	6,0	11,5	18,6	25,6
			14 16	30,4	48,7	6,5	12,9	20,0	30,8
		0,4	6 8	23,9	33,8	5,8	9,2	16,3	19,5
			14 16	25,2	39,5	6,0	11,7	16,9	23,0
$t_{cp}=28$ 40°C $W_{cp}=40$ 65%	$t_{cp}=25$ 45°C $W_{cp}=35$ 90%	0,6	6 8	50,5	58,8	13,9	17,3	42,1	45,4
			14 16	51,3	60,9	15,1	19,8	40,2	44,4
		0,4	6 8	35,8	43,2	9,3	11,5	26,7	29,6
			14 16	38,1	46,8	10,9	14,2	29,8	32,9

Испарение влаги с поверхности материала создает перепад влагосодержания между последующими слоями и поверхностным слоем, что вызывает обусловленное диффузией перемещение влаги из нижележащих слоев к поверхностным. Наличие температурного градиента внутри материала осложняет механизм переноса влаги. Под влиянием перепада температур на начальной стадии выдерживания (температура поверхности больше температуры центральных слоев), влага стремится переместиться внутрь бетона.

В простейшем случае испарение происходит на поверхности материала, а образующийся пар диффундирует в окружающую среду. В более сложных случаях испарение происходит внутри материала, в определенной его зоне или во всей массе материала, причем перемещение влаги внутри материала происходит как в виде жидкости, так и в виде пара. Скорость перемещения влаги внутри материала зависит от форм связи ее с материалом, поэтому процесс испарения является физико-химическим.

Общий поток влаги внутри материала определяется уравнением

$$J = \alpha_m \rho_0 \nabla u - \alpha_m' \rho_0 \nabla T - K_p \nabla p$$

где  $\alpha_m$  – коэффициент диффузии влаги,  $\alpha_m^t$  – коэффициент термодиффузии влаги,  $\rho_0$  – плотность сухого скелета тела,  $K_p \nabla p$  – молярный перенос влаги под влиянием градиента давления;  $\nabla u$  – градиент влажности,  $\nabla T$  – градиент температуры

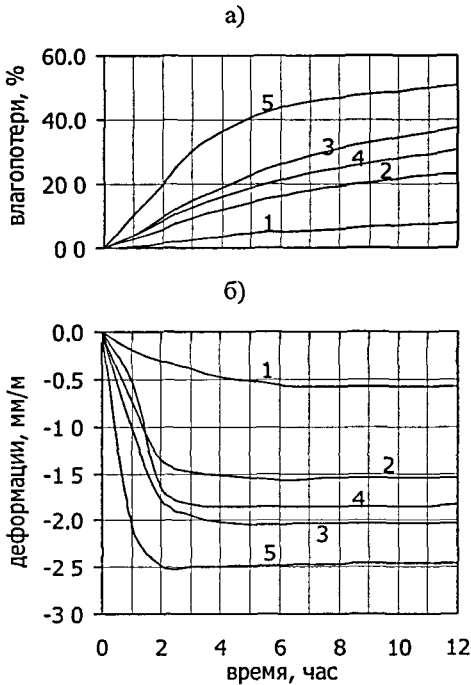


Рис 3 Влагодотери (а) и горизонтальные деформации (б) бетона с В/Ц = 0,5 и ОК = 6 см, выдержанного в открытом состоянии при различных параметрах среды

- 1 - при  $t_{cp}=18$   $25^{\circ}C$  и  $W_{cp}=85$   $100\%$ ,  $t_6=18^{\circ}C$ ,
- 2 - при  $t_{cp}=18$   $25^{\circ}C$  и  $W_{cp}=65$   $85\%$ ,  $t_6=20^{\circ}C$ ,
- 3 - при  $t_{cp}=18$   $30^{\circ}C$  и  $W_{cp}=40$   $65\%$ ,  $t_6=20^{\circ}C$ ,
- 4 - при  $t_{cp}=28$   $35^{\circ}C$  и  $W_{cp}=65$   $85\%$ ,  $t_6=30^{\circ}C$ ,
- 5 - при  $t_{cp}=28$   $40^{\circ}C$  и  $W_{cp}=40$   $65\%$ ,  $t_6=31^{\circ}C$

72 часа – от 6 до 20% воды (табл 2)

Выдерживание бетона в комбинированных условиях массообмена с окружающей средой приводит к усредненным влагодотерям в зависимости от параметров окружающей среды за первые 12 часов испаряется от 4 до 40%, а за 72 часа – от 8 до 45% воды, введенной при затворении (табл 2)

Изучение деформаций осуществляли на разработанной нами установке, позволяющей измерять деформации в горизонтальном и вертикальном направлениях индикаторами часового типа с точностью 0,01 мм Образцы - призмы размером 10x10x30 см, в торцы и верхние поверхности которых заделывали пластины из жести толщиной 0,8 мм и размером 10x10 см для опирания индикато-

Возрастает испарение при увеличении водоцементного отношения и подвижности бетона Увеличение В/Ц с 0,4 до 0,6 при постоянной подвижности вызывает повышение влагодотерь за первые 12 часов на 20–40% С увеличением подвижности бетонной смеси с 6 до 14 см ОК при постоянном В/Ц потери влаги за 12 часов выдерживания повышаются на 2–16% (табл 2) Бетоны с большим В/Ц имеют более крупные поры и количество их больше, чем у бетонов с малыми В/Ц, и испарение происходит за счет диффузии пара У таких бетонов поверхность, с которой происходит влагодобмен с внешней средой, имеет большее количество и размеры открытых пор, она более ноздревата и имеет большую площадь Поэтому у бетонов с большими В/Ц влагодотдача идет интенсивнее

Установлено, что свободное укрытие неопалубленной поверхности полиэтиленовой пленкой уменьшает количество теряемой воды, но не исключает испарение полностью за 12 часов выдерживания испаряется от 3 до 15%, а за

ров, изготавливали в металлических формах Через 20–30 мин после изготовления боковые стенки снимали, оставляя образцы на поддонах, и помещали их в установки для измерения деформаций, где они находились на протяжении всего эксперимента

Исследования показали, что деформации проявляются сразу после начала выдерживания (рис 3) Их характер и величины зависят от целого ряда факторов: состава бетона, параметров окружающей среды, условий выдерживания, направления измерений

Выявлено, что фиксируемые деформации являются суммарной величиной температурного расширения и контракционной и влажностной усадок, протекающих на ранней стадии твердения бетона Однако при исследованных параметрах среды и начальных температурах бетона преобладающее влияние оказывает усадка

Испарение влаги и связывание воды в процессе гидратации цемента приводят к преобладающему проявлению усадочных деформаций бетона Интенсивная усадка протекает в первые 1–3 часа и достигает своего максимального значения к моменту испарения из бетона 12–20% воды, введенной при затворении и в зависимости от его состава и параметров окружающей среды в горизонтальном направлении достигает величины 0,58–3,52 мм/м Причем, с увеличением интенсивности испарения и величины влагопотерь скорость протеканий усадочных деформаций и их величина возрастают (рис 3, табл 3)

Установлено, что, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении на ранней стадии твердения в условиях жаркого влажного климата в бетоне протекают усадочные деформации Однако величины усадки в горизонтальном направлении в 3–12 раз больше таковых в вертикальном направлении

Экспериментально установлено, что с уменьшением водоцементного отношения при одинаковой подвижности усадка бетона возрастает Также увеличивается усадка бетона с повышением подвижности бетонной смеси при одинаковом водоцементном отношении (табл 3) Указанная зависимость обуславливается увеличением количества цементного теста (цементного камня) в единице объема бетона, уменьшение объема которого в процессе твердения и определяет усадку

Влагопотери на ранней стадии выдерживания способствуют интенсификации усадочных деформаций бетона в период пребывания его в пластичном состоянии, когда они не приводят к образованию трещин Однако излишние потери влаги могут привести к обезвоживанию бетона, что отрицательно скажется на гидратации цемента и твердении бетона

Выдерживание бетона в условиях исключенного массообмена с окружающей средой вызывает уменьшение усадочных деформаций в горизонтальном направлении до 0,19 мм/м, а в вертикальном – до 0,03 мм/м Однако протекание усадочных деформаций будет продолжаться при последующем твердении и может привести к образованию трещин

Выдерживание бетона в комбинированных условиях в течение 4-х часов без укрытия теплолюбивых поверхностей, затем с укрытием их полиэтиленовой пленкой не приводит к уменьшению усадочных деформаций по сравнению с твердением в условиях свободного массообмена

Горизонтальные деформации бетона, твердевшего в жарком влажном климате при различных условиях массообмена с окружающей средой за 12 часов выдерживания

Параметры окружающей среды в первые 12 часов выдерживания бетона	В/Ц бетона	ОК бетонной смеси, см	Максимальное значение усадочной деформации (1) и влагопотеря за 12 часов (2)					
			в условиях свободного массообмена		в условиях исключенного массообмена		первые 4 часа в открытом состоянии, затем в укрытом	
			1	2	1	2	1	2
			мм/м	%	мм/м	%	мм/м	%
$t_{cp}=18$ 25°C $W_{cp}=85$ 100%	0,6	6 8	0,58	7,8	0,19	3,7	0,52	5,1
		14 16	0,67	9,1	0,22	3,3	0,64	6,0
	0,4	6 8	0,75	5,9	0,25	2,5	0,68	3,9
		14 16	0,86	6,8	0,28	2,7	0,82	4,3
$t_{cp}=18$ 25°C $W_{cp}=65$ 85%	0,6	6 8	1,57	23,7	0,27	4,1	1,50	14,8
		14 16	1,83	24,8	0,31	4,6	1,81	15,3
	0,4	6 8	2,07	18,1	0,35	3,0	1,97	10,9
		14 16	2,41	20,4	0,41	3,4	2,36	12,1
$t_{cp}=18$ 30°C $W_{cp}=40$ 65%	0,6	6 8	2,05	37,3	0,48	12,3	1,96	22,7
		14 16	2,43	38,3	0,57	13,9	2,40	24,7
	0,4	6 8	2,73	28,2	0,65	7,7	2,60	18,4
		14 16	3,24	30,2	0,76	9,3	3,19	19,8
$t_{cp}=28$ 35°C $W_{cp}=65$ 85%	0,6	6 8	1,85	29,0	0,25	6,0	1,77	18,6
		14 16	2,12	30,4	0,28	6,5	2,10	20,0
	0,4	6 8	2,34	23,9	0,43	5,8	2,27	16,3
		14 16	2,63	25,2	0,45	6,0	2,60	16,9
$t_{cp}=28$ 40°C $W_{cp}=40$ 65%	0,6	6 8	2,48	50,5	0,37	13,9	2,39	42,1
		14 16	2,71	51,3	0,46	15,1	2,70	40,2
	0,4	6 8	2,95	35,8	0,58	9,3	2,85	26,7
		14 16	3,52	38,1	0,6	10,9	3,44	29,8

С целью уменьшения усадочных деформаций при последующем твердении и исключения опасности образования трещин, при одновременном обеспечении достаточного водосодержания для нормальной последующей гидратации цемента и нарастания прочности бетона, целесообразно выдерживать бетон в условиях свободного массообмена с окружающей средой первые 1–2 часа, а затем – в условиях исключенного массообмена. Потери за это время 10–20% воды не оказывают отрицательного влияния на последующее твердение бетона, но существенно снижают опасность формирования неблагоприятного напряженного состояния и возникновения трещин при последующем твердении.

В четвертой главе изучали твердение бетона и нарастание его прочности в зависимости от параметров окружающей среды и условий выдерживания.

Результаты исследований показали, что выдерживание бетона в условиях свободного массообмена с окружающей средой вызывает недобор прочности, который возрастает с увеличением температуры и уменьшением влажности среды и в 28-суточном возрасте может достигать 40% от  $R_{28}$ . Недобор прочности обуславливается излишними потерями воды вследствие испарения и недостатком ее для гидратации цемента.

Таблица 4

Нарастание прочности бетона в зависимости от длительности последующего ухода при выдерживании в комбинированных условиях (первые 1-2 часа в условиях свободного массообмена с окружающей средой, затем – в условиях исключенного массообмена)

Климатические параметры среды в первые 12 часов выдерживания	В/Ц бет-а	ОК, см	Срок (прод-ть) выдерживания в опр-ом состоянии, час	Влаго-потери бетона за этот срок, %	Усад-ые дефор-и бетона за этот срок, мм/м	Прочность на сжатие, МПа/% от R <sub>28</sub> в зависимости от длительности последующего ухода (в условиях исключенного массообмена), сут						Мар-ая проч-ть, МПа
						1		2		3		
						R <sub>1</sub>	R <sub>1+27</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>2+26</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>3+25</sub>	
t <sub>ср</sub> = 18 25°C W <sub>ср</sub> = 65 85%	0,6	6	2	5,69	1,21	7,9/24,1	29,8/91,5	12,8/39,4	31,8/97,8	16,7/51,2	33,7/103,4	32,6
	0,4	6	2	4,33	1,63	15,5/29,5	49,1/93,6	27,0/51,4	53,8/102,5	33,0/62,9	54,5/103,8	52,5
t <sub>ср</sub> = 18 30°C W <sub>ср</sub> = 40 65%	0,6	6	2	9,69	1,68	8,5/25,1	31,7/93,7	13,9/41,2	33,5/99,2	17,8/52,7	35,3/104,3	33,8
	0,6	14	2	9,95	1,75	8,7/24,5	33,1/93,1	14,1/39,8	34,5/98,2	18,4/51,8	36,8/103,7	35,5
	0,4	6	2	7,39	2,07	16,9/31,5	50,9/94,8	27,9/52,0	55,5/103,4	34,1/63,5	56,1/104,5	53,7
	0,4	14	2	7,74	2,18	15,4/30,5	48,1/95,1	26,9/53,2	52,5/103,8	32,7/64,7	53,1/104,9	50,6
t <sub>ср</sub> = 28 35°C W <sub>ср</sub> = 65 85%	0,6	6	2	8,21	1,5	11,2/36,4	30,4/98,4	17,8/57,7	32,0/103,6	22,5/72,8	32,7/105,8	30,9
	0,6	14	2	8,57	1,56	11,8/36,5	31,4/97,5	18,8/58,5	33,7/104,6	23,5/73,1	34,2/106,2	32,2
	0,4	6	2	6,6	1,94	23,7/42,3	58,0/103,4	36,9/65,7	59,4/105,8	42,7/76,1	62,0/110,5	56,1
	0,4	14	2	6,47	2,12	23,3/42,8	56,6/103,8	36,1/66,2	57,3/105,2	41,9/76,9	59,7/109,6	54,5
t <sub>ср</sub> = 28 40°C W <sub>ср</sub> = 40 65%	0,6	6	1	9,94	1,96	14,8/42,6	35,7/102,5	21,4/61,5	36,1/103,7	25,4/73,1	37,0/106,4	34,8
	0,4	6	1	6,15	2,27	25,5/49,8	52,7/102,8	37,3/72,7	54,2/105,6	42,3/82,5	57,0/111,2	51,3

Свободное укрытие неопалубленных поверхностей монолитного бетона влагоизоляционными материалами обеспечит достижение к 28 суточному возрасту марочной прочности

Комбинированные условия выдерживания (первые 4 часа в условиях свободного массообмена, затем – исключенного массообмена) существенно снижают недобор прочности бетона, который в 28 суточном возрасте составляет около 10% от  $R_{28}$

Сокращение периода выдерживания в условиях свободного массообмена с окружающей средой до 2-х часов исключает недобор прочности и даже обеспечивает получение в 28 суточном возрасте прочности выше марочной

Выполненные комплексные исследования позволили определить благоприятные условия начального и последующего выдерживания бетона при переменных температурно-влажностных параметрах окружающей среды в целях уменьшения усадочных деформаций при дальнейшем твердении и исключения опасности образования трещин при одновременном обеспечении достаточного водосодержания для нормальной дальнейшей гидратации цемента и нарастания прочности бетона. Продолжительность первоначального выдерживания в открытом состоянии устанавливается в зависимости от температурно-влажностных параметров окружающей среды и состава бетона и его прекращение обуславливается окончанием периода интенсивной усадки, когда испаряется около 10–20% воды, введенной при затворении, и составляет, как правило 1–2 часа

Продолжительность последующего ухода за бетоном (выдерживание в условиях исключенного массообмена с окружающей средой) устанавливается в зависимости от состава бетона, параметров среды и составляет, как правило, от 1 до 2-х суток и должна обеспечить получение к концу этого периода бетоном прочности не менее 40% от  $R_{28}$ . После достижения этой прочности возможно окончание ухода за бетоном (табл. 4)

Выявлено влияние снижения подвижности бетонной смеси в процессе транспортирования на прочность бетона. В результате уменьшения удобоукладываемости бетонной смеси за 60 мин транспортирования в автосамосвалах прочность бетона в 28 суточном возрасте уменьшается на 11–46% от  $R_{28}$ . Причем, недобор прочности бетонов, выдержанных в укрытом состоянии, составляет 13–18%, выдержанных в открытом состоянии – 39–46%, выдержанных в комбинированных условиях – 11–13%

При транспортировании смеси в автобетоносмесителях в течение того же времени недобор прочности бетонов, выдержанных в комбинированных условиях, в 28 суточном возрасте, уменьшается до 4–5% от  $R_{28}$

В пятой главе приводятся разработанные рекомендации по обеспечению требуемой удобоукладываемости бетонной смеси, приготавливаемой и транспортируемой в условиях жаркого влажного климата

Начальная подвижность бетонной смеси должна корректироваться в зависимости от ее начальной температуры и коэффициента потери подвижности в процессе транспортирования  $\eta$ . В условиях повышенных температур окружающей среды ( $t_{\text{ср}} > 30^{\circ}\text{C}$ ) в целях обеспечения требуемой подвижности бетонной смеси при приготовлении целесообразно снижать температуру бетонной смеси



за счет уменьшения температуры компонентов, в том числе, путем замены части воды затворения льдом, и применять эффективные пластифицирующие добавки

В целях сохранения подвижности бетонной смеси в процессе транспортирования целесообразно сократить до возможного минимума ее продолжительность, предохранять смесь от нагрева в процессе транспортирования, транспортировать смесь в автобетоносмесителях

Продолжительность транспортирования бетонной смеси может увеличиться при условии снижения начальной температуры смеси, увеличения начальной ее подвижности или за счет применения эффективных пластифицирующих добавок

Рекомендуемая максимальная продолжительность транспортирования бетонной смеси в условиях жаркого влажного климата приводится в табл 5

Таблица 5

Рекомендуемая максимальная продолжительность транспортирования бетонной смеси в условиях жаркого влажного климата

Температура окружающей среды	Максимально допустимая продолжительность транспортирования, мин	
	в автосамосвале	в автобетоносмесителе
больше 30°C	-	30
25 30°C	-	45
20 25°C	30	60
10 20°C	45	90

В главе излагается также сущность разработанной технологии выдерживания бетона монолитных конструкций, устраиваемых в переменных температурно-влажностных условиях жаркого влажного климата. Выдерживание бетона в комбинированных условиях включает в себя начальное выдерживание в открытом состоянии и последующее выдерживание в укрытом состоянии (рис 4)

Продолжительность выдерживания в открытом состоянии определяется строительной лабораторией в зависимости от состава бетона и параметров окружающей среды

- в среде с  $t_{cp} = 18 \text{ } 25^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{cp} = 85 \text{ } 100\%$  можно выдерживать бетон в открытом состоянии без ограничения времени,

- в среде с  $t_{cp} = 18 \text{ } 25^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{cp} = 65 \text{ } 85\%$ ,  $t_{cp} = 18 \text{ } 30^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{cp} = 40 \text{ } 65\%$ ,  $t_{cp} = 28 \text{ } 35^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{cp} = 65 \text{ } 85\%$  продолжительность выдерживания в открытом состоянии составляет 2 часа для бетонов любых составов,

- в среде с  $t_{cp} = 28 \text{ } 40^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{cp} = 40 \text{ } 65\%$  - 1 час для бетонов любых составов

Минимальная продолжительность последующего выдерживания бетона в укрытом состоянии, обеспечивающая дальнейшее нормальное твердение, устанавливается в зависимости от состава бетона и параметров окружающей среды и рекомендуется

- в среде с  $t_{cp} = 18 \text{ } 25^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{cp} = 65 \text{ } 85\%$  и  $t_{cp} = 18 \text{ } 30^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{cp} = 40 \text{ } 65\%$  - 2 суток для бетонов любых составов,

- в среде с  $t_{cp} = 28 \text{ } 35^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{cp} = 65 \text{ } 85\%$  и  $t_{cp} = 28 \text{ } 40^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{cp} = 40 \text{ } 65\%$  - 1 сутки для бетонов любых составов,

Установлена наибольшая эффективность разработанной технологии для

устройства немассивных и среднемассивных монолитных конструкций

Определены особенности технологических процессов при непрерывном бетонировании конструкции, при послойной укладке бетонной смеси как без образования рабочих швов, так и с образованием последних

При устройстве массивных конструкций (например, фундаментных плит большой толщины) параметры и условия выдерживания необходимо скорректировать с учетом интенсификации экзотермического тепловыделения, которое может оказать влияние на массообмен и деформации бетона

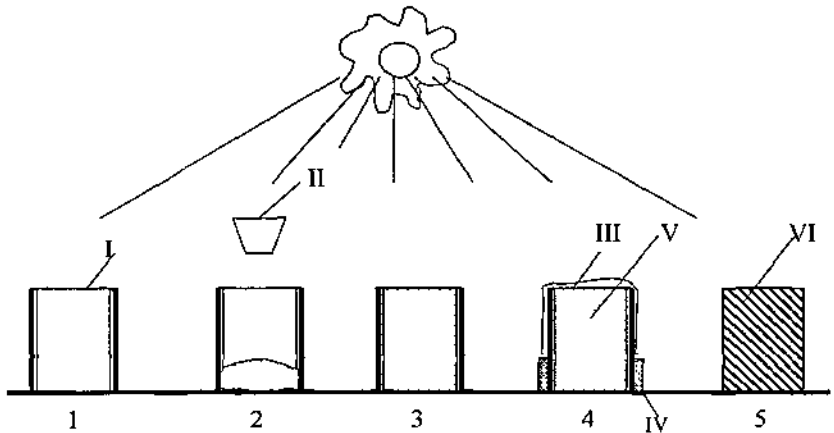


Рис 4 Технологическая схема выдерживания бетона в комбинированных условиях при устройстве монолитных конструкций в жарком влажном климате Вьетнама 1 – установка опалубки, 2 – укладка бетонной смеси, 3 – выдерживание бетона в условиях свободного массообмена с окружающей средой (с открытой неопалубленной поверхностью) в течение 1–2 часов, 4 – укрытие неопалубленной поверхности влагоизоляционным материалом и выдерживание бетона в условиях исключенного массообмена с окружающей средой, 5 – распалубливание конструкции

*I – опалубка, II – бадья, III – влагоизоляционный материал, IV – закрепляющий брус, V – монолитный бетон, VI – бетон после распалубливания*

В целях ускорения твердения бетона для сокращения сроков распалубливания конструкции, целесообразно увеличивать продолжительность последующего выдерживания бетона в среде с  $t_{cp} = 28-35^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{cp} = 65-85\%$  и  $t_{cp} = 28-40^{\circ}\text{C}$ ,  $W_{cp} = 40-65\%$  до 3 суток, за этот срок бетон может достигать прочности больше 70% от  $R_{28}$

Апробация разработанной технологии в производственных условиях была осуществлена при устройстве монолитных железобетонных конструкций перекрытия и покрытия объекта «Столовая и буфет» мотостроительного завода МАВУСН-МОТОР в городе Дананг, Вьетнам

Применение предлагаемой технологии обеспечило сокращение продолжительности выдерживания бетона до снятия несущих элементов опалубки монолитных конструкций перекрытия и покрытия с 7–9 суток (в соответствии с про-

ектом производства работ при обычном влажностном уходе) до 3 суток. Кроме того, применение разработанных предложений при устройстве монолитных железобетонных конструкций на данном объекте позволило

- сохранить реологические свойства бетонной смеси к моменту укладки в опалубку,
- улучшить структуру и свойства бетона монолитных конструкций,
- повысить качество монолитных конструкций (исключить растрескивание поверхности бетона от интенсивного обезвоживания бетона)

Экономический эффект от применения разработанной технологии составил 148718000 VND ( $\approx$  248000 руб). Практическое внедрение результатов исследований позволило снизить себестоимость  $1 \text{ м}^3$  готового бетона монолитных конструкций на 126000 VND ( $\approx$  210 руб) и трудозатраты на 0,045 ч-дн, соответственно снизить себестоимость  $1 \text{ м}^2$  площади монолитных конструкций на 32000 VND ( $\approx$  53 руб) и трудозатраты на 0,011 ч-дн.

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1 Существующие данные не позволяют выявить комплексное влияние основных технологических и климатических факторов на свойства бетонной смеси и бетона монолитных конструкций, возводимых в переменных температурно-влажностных условиях жаркого влажного климата Вьетнама.

2 Установлены качественные и количественные характеристики изменения удобоукладываемости бетонной смеси в процессе приготовления и транспортирования в зависимости от ее температуры, параметров окружающей среды, средств и условий транспортирования.

3 С целью обеспечения бетонной смеси к моменту укладки в опалубку заданной подвижности без дополнительного расхода цемента предложено снижать ее температуру при приготовлении, предохранять смесь от нагрева в процессе транспортирования, устанавливать продолжительность транспортирования в зависимости от параметров среды и начальной подвижности смеси.

Консервирование подвижности бетонной смеси можно осуществлять путем применения пластифицирующих добавок. При этом следует учитывать, что их использование вызывает снижение темпа роста прочности бетона на ранней стадии его твердения.

В целях лучшего сохранения консистенции и однородности смеси, исключения потерь влаги, создания благоприятных условий, с точки зрения потери подвижности, и повышения прочности бетона, целесообразно транспортировать смесь в автобетоносмесителях.

4 Установлены процессы формирования температурного поля в монолитных бетонных конструкциях, возводимых в переменных температурно-влажностных условиях. Температура бетона формируется под влиянием температуры окружающей среды и экзотермического тепловыделения и может превышать температуру среды на  $5 - 10^\circ\text{C}$  и выше.

5 Определено влияние технологических и климатических факторов на основные физические процессы (влагопотери и деформации), протекающие в бетоне на ранней стадии его твердения. Повышение температуры среды интенсифицирует влагопотери, а увеличение влажности – снижает интенсивность испарения.

Деформации бетона (главным образом, усадка) находятся в прямой зависимости от влагопотерь. Причем, усадка в горизонтальном направлении существенно (в 3–12 раз) превышает таковую в вертикальном направлении. Установлены причины этого явления.

Экспериментально выявлено, что интенсивность усадки резко снижается после испарения из бетона 10–20% воды, введенной при затворении.

6 Установлено влияние технологических факторов, параметров окружающей среды и условий выдерживания на формирование структуры и свойств бетона.

На основании полученных результатов предложены комбинированные условия выдерживания бетона на ранней стадии: первые 1–2 часа в условиях свободного массообмена с окружающей средой, а последующее выдерживание в условиях исключенного массообмена до приобретения бетоном прочности равной 40% от  $R_{28}$ . После этого уход за бетоном можно прекращать. Продолжительность последующего этапа составляет 1–2 суток. Продолжительность каждого периода уточняется строительной лабораторией в зависимости от параметров среды и водоцементного отношения бетона.

7 Разработаны режимы и параметры эффективной технологии устройства монолитных бетонных конструкций в переменных температурно-влажностных условиях окружающей среды на всех этапах приготовления, транспортирования и выдерживания.

Предложенная технология позволяет сократить продолжительность ухода за бетоном с 4–6 суток (в соответствии с действующими нормативными документами Вьетнама) до 1–2 суток, при условии минимизации усадочных деформаций в процессе дальнейшего твердения бетона и эксплуатации конструкций и получения материала с заданными свойствами.

8 Апробация предложенной технологии в производственных условиях показала ее эффективность, как с технико-технологической, так и экономической точек зрения.

Ее применение позволило сократить продолжительности выдерживания бетона до снятия несущих элементов опалубки монолитных конструкций, возводимых в переменных температурно-влажностных условиях жаркого влажного климата Вьетнама с 7–9 сут (по проекту производства работ при обычном влажностном уходе) до 3 суток, уменьшить трудозатраты на 0,045 ч-дн и снизить себестоимость на 126000 VND ( $\approx$  210 руб) на 1 м<sup>3</sup> готового бетона.

### **Основное содержание диссертации опубликовано в работах**

1 Копылов В Д, Хо Нгок Кхоа. Влияние условий транспортирования на свойства бетонной смеси и бетона //Сборник докладов юбилейной научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава Института строительства и архитектуры –М, МГСУ, 2006, с 128-132

2 Копылов В Д, Хо Нгок Кхоа. Деформации бетона, твердеющего в условиях влажного жаркого климата //Промышленное и гражданское строительство, 2007, № 3, с 51-52

КОПИ – ЦЕНТР св 7 07 10429 тираж 100 экз  
Тел 185-79-54

Г Москва м Бабушкинская ул Енисейская 36 комната №1