

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ
МИРЗО УЛУГБЕКА**

На правах рукописи

ТУРСУНОВ МУРОД ХАМРАКУЛОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И БЕТОНОВ
НА ОСНОВЕ ТОНКОМОЛОТЫХ ВЯЖУЩИХ В УСЛОВИЯХ
СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА**

**Специальность – 5А340501 – «Производство строительных
материалов, изделий и конструкций»**

ДИССЕРТАЦИЯ

Для получения академической степени магистра

Научные руководитель:

**кандидат технических наук,
доцент Юсупов Х.В.**

САМАРКАНД – 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	9
1.1. Влияние сухого жаркого климата на технологию бетона	9
1.2. Модификация структура и свойств бетонных смесей и бетонов в условиях сухого жаркого климата с помощью химических добавок	16
1.3. Особенности свойств бетонных смесей и бетонов на тонкомолотых вяжущих и перспективы их применения в условиях сухого жаркого климата	26
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	35
2.1. Характеристика применяемых материалов	35
2.2. Методы определения свойств бетонной смеси и бетона	39
2.2.1. Основные сведения о принятых методах испытания бетонной смеси и бетона	39
2.2.2. Методика определения удобоукладываемости бетонной смеси по показателю истечения на специальном приборе	42
2.2.3. Методика определения жизнеспособности бетонных смесей при различных повышенных температурах	44
2.2.4. Методика определения коэффициента тиксотропии бетонной смеси	46
2.2.5. Методика определения расслаиваемости бетонных смесей при различных положительных температурах	49
2.2.6. Методика обработки результатов опытов и установления расчетных зависимостей	51

3. ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ТМЦ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА	52
3.1. Исследование влияния состава и температуры на свойства бетонной смеси	52
3.2. Применение математических методов планирования экспери- мента для определения основных зависимостей свойств бетонной смеси от температуры и состава	62
3.3. Определение коэффициента тиксотропии бетонной смеси на ВНВ и ТМЦ	85
3.4. Влияние повышения температуры на жизнеспособность (сохраняемость) бетонной смеси и её водопотери	88
3.5. Влияние температуры на расслаиваемость бетонной смеси	95
4. БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ТМЦ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА	102
4.1. Исследование влияния составов и температуры на прочностные характеристики бетонов	102
4.2. Влияние температуры на кинетику твердения бетонов на ВНВ и ТМЦ, применяемых в различных видах монолитных бетонов	109
Основные выводы	113
Список литературы	115

ВВЕДЕНИЕ.

Важнейшей проблемой строительства является дальнейшее совершенствование технологии бетона и железобетона, главным образом, позиции экономии цемента, снижения стоимостных и энергетических затрат.

Повышение качества и эффективности бетонных и железобетонных изделий в условиях сухого жаркого климата связано, прежде всего, с экономией цемента и со снижением дефектности структуры при учёте влияния среды. В настоящее время накоплен позитивный опыт эффективного применения пластифицирующих гидрофильных и гидрофобных добавок. Если первые особо эффективны при воздействии на бетонную смесь, то вторые способствуют и улучшению первоначального структурообразования бетона, уменьшают его водопотери и миграцию влаги.

В последние годы в результате разработки эффективных добавок, в том числе суперпластификаторов, а также получения способов многокомпонентных вяжущих путем механико-химической активации, включающих домол цемента с тонкомолотыми минеральными добавками и суперпластификаторами, расширяются возможности решения проблемы совершенствования технологии бетонных и железобетонных изделий в условиях сухого жаркого климата на новом уровне.

Свойства бетонной смеси определяются характером и значением сил, действующих между частицами твердой фазы и жидкостью. В бетонной смеси, изготовленной на основе ТМЦ и ВНВ вследствие более высокой удельной поверхности цементных частиц и введения заметного количества суперпластификатора, существенно изменяется баланс действующих сил.

Возрастает сила внутреннего сцепления, но на ее величину в большей мере влияют изменения водосодержания или вибрационные воздействия. Возможно же изменения температуры в меньшей степени

будут проявляться в изменении свойств бетонной смеси, так как достаточное насыщение суперпластификатором будет в известной мере нейтрализовать влияние новообразований цемента. Поскольку увеличение тонкости помола цемента при одновременном увеличении дозировки суперпластификатора по своей физической природе, проявляется наиболее значительно в бетонной смеси, а не в отвердевшем бетоне.

В изменении свойств бетона и в экономии цемента при применении ТМЦ и ВНВ большая доля эффективности (до 70-80%) определяется изменением именно реологических и технических свойств бетонной смеси. Поэтому определение этих свойств с учетом влияния различных факторов имеет большое научное и практическое значение. Изучению этих и других важных для практики свойств бетонных смесей на основе ТМЦ и ВНВ посвящена данная работа.

Одним из способов решения этой проблемы является использование ТМЦ в технологии различных видов бетона, позволяющих сократить расход клинкерной составляющей до 50-70%.

Однако, отсутствие, в настоящее время, обоснованных рекомендаций по применению новых видов вяжущих в технологии бетонных и железобетонных изделий в условиях сухого жаркого климата, требует установления основных закономерных свойств приготовления бетонных смесей на основе ТМЦ.

От температуры и влажности окружающей среды зависит оптимизация состава, строения, вида бетонных и железобетонных изделий с использованием ТМЦ и управление процессами их формирования.

Цель и задача. Основной целью работы является разработка условий эффективного применения ТМЦ в технологии бетонных и железобетонных изделий с учетом влияния сухого жаркого климата.

В связи этим основными задачами являются:

- разработка теоретического положения об изменении структуры и свойств бетонных смесей на основе ТМЦ с учетом особенностей влияния жаркого климата;

- изучение оценки свойств бетонных смесей на основе ТМЦ при различной температуре с учетом их формуемости;

- установка зависимости реологических и технических свойств бетонных смесей на основе ТМЦ от главных факторов при разной температуре;

- изучение свойств бетонных смесей на основе ТМЦ в зависимости от их состава, температуры и условий начального формирования структуры;

Научная новизна. Разработаны теоретические положения о связи формуемости бетонных смесей на основе вяжущих, имеющих более высокую удельную поверхность и повышенное содержание суперпластификаторов с их составом и структурой, реологическими и техническими характеристиками в условиях влияния повышенной температуры и обоснованы характеристики формуемости бетонной смеси на основе ТМЦ и ВНВ при повышенной температуре.

Установлены зависимости подвижности и формуемости бетонных смесей на основе ТМЦ и ВНВ от В/Ц, расхода цемента, доли песка в бетонной смеси, заполнителей и температуры.

Установлены зависимости от водопотребности и температуры бетонных смесей, приготовленных на основе ТМЦ и ВНВ в удобоукладываемости песка и щебня, для корректировки состава бетонных смесей, заданных в технологическом процессе.

Установлена кинетика изменения технических свойств бетонных смесей различного состава с учетом температуры.

Установлена зависимость расслаиваемости литых бетонных смесей от их состава, вида вяжущего, влияния температуры по параметру раствооротделения.

В зависимости от вида и расхода вяжущего, водовяжущего отношения, доли в смеси заполнителей и температуры бетонной смеси получены многофакторные модели прочности бетонов.

Практическая значимость. Разработаны условия получения бетонных и железобетонных изделий требуемого качества на основе ТМЦ и ВНВ, заключающиеся в корректировке состава бетонной смеси с учетом влияния температуры.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены на международной научно-технической конференции «Современные проблемы строительных материалов, конструкций, механики грунтов и сложных реологических систем», (19-20 апреля 2013 г.), книга-1 «Современные проблемы бетоноведения» (стр. 196-198).

Иқтидорли ёшлар ва уларнинг интеллектуал салоҳиятини рўбга чиқариш мавзудаги анъавий X Республика илмий – амалий конференцияси материаллари II қисм (қурилиш, экология, техника ва технологиялар), (2013 йил 7-8 июн).

Особенности поведения бетонных смесей на основе ВНВ в условиях сухого жаркого климата.

Кўп компонентли боғловчилар асосидаги бетонларнинг хусусиятлари (115-117 бет.).

На защиту выносятся:

- теоретические положения о связи формуемости бетонных смесей, на основе ТМЦ и ВНВ с реологическими и техническими свойствами бетонных смесей при содействии повышенной температуры;

- методики оценки формуемости бетонной смеси на основе ТМЦ и ВНВ при изменении температуры;

- зависимости формуемости и водопотребности бетонной смеси на основе ТМЦ и ВНВ от главных факторов с учетом влияния повышенной температуры;

- условия корректировки составов бетонной смеси на основе ТМЦ и ВНВ в производственных условиях при изменении температуры.

Объём диссертации. Диссертация изложена на 108 страницах, состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка использованной литературы и приложения, содержит 23 рисунков, 22 таблиц.

Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.

1.1. Влияние сухого жаркого климата на технологию бетона.

Районы с сухим жарким климатом характеризуются большими перепадами температуры, относительной влажностью воздуха в течение суток, сильным циклическим нагревом в течении дня, для открытых поверхностей строительный конструкций, до 60-80°C, результатом интенсивной солнечной радиации и охлаждением их ночью с суточными перепадами температур 40°C и более, а также наличием суховеев. Под сухой жаркой погодой понимается атмосфера, которая характеризуется, в определенный отрезок времени, температурой воздуха в 13 часов выше +25°C и относительной влажностью воздуха менее 50 %.

Сухая жаркая погода вносит серьезные осложнения в производстве бетонных работ. Поэтому при рассмотрении особенностей технологии бетона в условиях сухого жаркого климата необходимо выделить два аспекта:

во-первых, особенности производства бетонных работ в сухую жаркую погоду,

во-вторых, особенности выбора материалов и назначения составов для бетонных конструкций и сооружений, эксплуатируемых в районах с сухим жарким климатом /67/.

При этом основными климатическими факторами, влияющими на технологию бетона в сухую жаркую погоду, являются высокая температура окружающей среды, её пониженная относительная влажность, а также интенсивная солнечная радиация, отрицательное воздействие которых значительно возрастает по мере увеличения скорости ветра /67/.

Высокая температура окружающей среды, при сильной солнечной радиации, значительно повышает температуру компонентов бетона и бетонной смеси, ускоряет процессы начального структурообразования

цементного теста и бетона., в результате чего увеличивается водопотребность бетонной смеси и снижается ее подвижность, возрастает потеря подвижности во времени, и значительно ухудшается удобоукладываемость бетонной смеси на месте укладки /67/. Это накладывает более строгие ограничения на время транспортирования и укладки бетонной смеси, требует учитывать возможное снижение подвижности смеси к моменту ее укладки при проектировании состава бетона /6/.

Для предотвращения потери влаги из бетонной смеси и свежееуложенного бетона, необходимо организовывать соответствующий уход за бетоном. Продолжительность ухода будет определяться составом бетонной смеси, видом изделия и климатическими условиями /9/.

С развитием процесса гидратации увеличивается количество новообразований и повышается степень связывания воды в бетоне и соответственно затрудняется испарение влаги из бетона. Поэтому особенно важно предохранять от потери влаги бетонную смесь до ее схватывания и до формирования первоначальной структуры бетона, характеризуемой определенной критической прочностью /6/.

Бетон представляет собой неоднородный многокомпонентный материал сложной структуры. Неоднородность бетона проявляется на всех уровнях от микро- до макроструктурного. На нее заметное влияние оказывают климатические условия.

Свойства бетона определяются целым комплексом разнообразных факторов, большинство из которых взаимозависимы и взаимосвязаны. Степень влияния и характер взаимодействия факторов также различны, что обусловлено полиминеральным характером цементного вяжущего, многообразием и сложностью химических и физико-механических процессов, протекающих в бетоне при его твердении в различных климатических условиях.

Свойства бетона формируются как интегральный показатель, зависящий от свойств составляющих материал состава и структуры бетона, условий твердения и эксплуатации.

Последствие сухой жаркой погоды является значительное обезвоживание свежеложенного бетона при отсутствии надлежащего ухода за ним. Так американские нормы /116/ и рекомендации /121/ большое внимание уделяют определению интенсивности испарения воды из бетона в различных погодных- климатических условиях. Неухоженный бетон теряет в первые сутки 50-70% воды затворения, причём основная часть её удаляется в первые 6-7 часов твердения /73/.

Повышение температуры неодинаково влияет на прочность бетона на портландцементных растворах различного состава /126/. Оптимальная температура начального периода твердения для цементов различного состава $+5^{\circ}\dots+13^{\circ}\text{C}$. С повышением температуры ускоряется гидратация цемента, несколько изменяется структура цементного камня и, в результате прочность бетона, твердевшего вначале при высоких температурах отлучается ниже, чем у твердевшего при более низких положительных температурах.

Однако другие исследователи, отмечая снижение прочности бетона в условиях сухого жаркого климата, указывает, что влияние минералогического состава портландцемента на степень снижения прочности бетона незначительно. При небольших колебаниях положительных температур получают новообразования цементного камня одинаковой физико-химической природы /5,6/.

Вследствие ускорения гидратации цемента, твердение приводит к увеличению ранней прочности (которая зависит также от состава и тонкости помола цемента, добавок и т.д.), но в ряде случаев снижает конечную прочность бетона /67/.

Ограниченное число исследований не позволяет достаточно надежно судить о роли отдельных клинкерных минералов в формировании

конечных свойств бетона в условиях сухого и жаркого климата. Исследованиями /44/ установлено, что твердение клинкерных минералов при различных температурах давало снижение прочности цементного камня, твердевшего при температуре 50°C, независимо от степени гидратации.

Деструктивные явления, происходящие в бетоне при твердении в условиях сухого жаркого климата, в частности вследствие значительного колебания температуры днем и ночью, в большей мере, чем прочность понижают долговечность бетона, его коррозионную стойкость, способность сопротивляться динамическим сейсмическим воздействиям. Баженов Ю.М /9/ предложил оценивать влияние сухого и жаркого климата на свойства бетона коэффициентом термостойкости и его изменением в процессе твердения бетона. Существенно сказываются на свойствах твердеющих бетонных изделий температурно-влажностные неравномерные поля, возникающие вследствие значительного нагрева поверхностных слоев бетона. Под их воздействием возникает миграция влаги и некоторое обезвоживание поверхностных слоев, даже если они защищены пленкой или другим способом от испарения влаги. Обезвоживание бетона приводит к замедлению гидратации цемента, повышению усадки и даже появлению микротрещин, так как внутренние слои, более насыщенные влагой, имеют усадку и препятствуют равномерной усадке по толщине изделия. Неравномерность усадки и приводит к появлению микротрещин /6,9/.

Ухудшается и микроструктура бетона, так как плотность бетона возрастает постепенно в результате протекания процесса гидратации цемента (при гидратации возрастает объем цементного камня). Обезвоживание на стадии первоначального твердения, когда структура цементного камня еще весьма пористая и слабая, приводит к ухудшению конечной структуры и свойств бетона, к понижению стойкости от воздействия различных агрессивных факторов в период эксплуатации.

Причем эти процессы протекают в поверхностных слоях изделия и конструкции, защитные свойства которых призваны защищать арматуру от коррозии и определяют в значительной мере долговечность железобетонных изделий /5/. Их повышенная проницаемость способствует увеличению скорости карбонизации защитного слоя и уменьшает гарантированный срок службы конструкции в условиях воздействия агрессивных факторов /6/. Поэтому целесообразно предохранять эти слои от испарения влаги, и от излишнего нагрева, применяя специальные способы ухода.

Для обеспечения надлежащей долговечности бетона необходимо соблюдать комплекс требований: правильный подбор состава, применение не расслаиваемых бетонных смесей заданной подвижности с учетом изменения последней к моменту укладки, хорошее уплотнение бетонной смеси при формовании, обеспечение необходимого ухода за бетоном и соответствующих условий твердения.

Степень отрицательного воздействия сухого жаркого климата зависит от объема и конфигурации или изделия. В большей степени это воздействие может проявиться в тонкостенных конструкциях /7,9/. В изделиях большой массивности, например, гидротехнических сооружениях, может возникнуть значительный разогрев внутреннего объема из-за экзотермии цемента, что вызовет неравномерные температурные поля и в некоторых случаях появление микротрещин в поверхностных слоях бетона /6/.

Увеличение количества факторов влияющих на свойства бетона при производстве работ в условиях сухого и жаркого климата, затрудняет как прогнозирование конечных результатов, так и сравнение данных разных исследователей. В этой связи представляет определенный интерес использование обобщенных характеристик структуры.

Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. разработали методику прогнозирования свойств бетонной смеси с помощью структурных

характеристик /10/. Эта методика применима и для условий сухого жаркого климата, но поправочные коэффициенты, учитывающие особенности этих условий, необходимо предварительно определять опытным путем.

Используя, для прогнозирования поведения бетона в условиях воздействия сухого жаркого климата, структурные характеристики, количество цементного камня в бетоне и его водоцементное отношение в конце периода формирования структуры, Курбанов Т.Ю. /51/ установил, что стойкость бетона находится в прямой зависимости от температурно-влажностных деформаций в разном возрасте /51/. Однако для построения надежной теории прогнозирования необходимо наличие обширных экспериментальных данных по влиянию сухого жаркого климата на свойства бетона и бетонной смеси различных составов, полученных в сравнимых условиях. Этих данных в настоящее время недостаточно. Таким образом, при возведении бетонных и железобетонных сооружений или при изготовлении изделий в сухой жаркой климата требуется строго соблюдать ряд условий, гарантирующий качество конструкций и изделий. При приготовлении бетонной смеси следует предохранять ее от перегрева, если не преследуется цель применения подогретых смесей для ускорения твердения бетона. Необходимо защищать бетонную смесь от потери влаги: при транспортировании и в момент укладки. Применять не расслаиваемые и более жизнеспособные бетонные смеси, правильно назначая состав бетона и применяя модификаторы свойств бетонной смеси и бетона, например, различные пластификаторы и комплексные химические добавки; назначать требования к формовочным свойствам смеси с учетом снижения ее подвижности за период от приготовления и укладки; применять хорошо организованный уход за бетоном в период первоначального твердения; обеспечивать надлежащие условия для твердения бетона, используя те возможности, которые создает повышенная температура и солнечная радиация для ускорения твердения бетона.

Соблюдение комплекса мер может не только полностью компенсировать отрицательное влияние сухого и жаркого климата, но в ряде случаев добиться положительного эффекта—значительного ускорения и удешевления изготовления бетонных и железобетонных изделий и конструкций.

1.2. Модификация структура и свойств бетонных смесей и бетонов в условиях сухого жаркого климата с помощью химических добавок

Жаркая сухая погода вносит серьёзные осложнения в технологию бетонных работ, вызывая увеличение водопоглощения бетонной смеси при повышении её температуры; быструю потерю подвижности смеси в процессе её транспортировки или выдерживания до укладки; интенсивное обезвоживание свежеложенного бетона; большую пластическую усадку бетона; значительно растрескивание твердеющего бетона; трудности в регулировании содержания вовлечённого воздуха в бетонных смесях, имеющих различную температуру; формирование неравномерного температурного поля в конструкциях под действием солнечной радиации; усложнение условий производства бетонных работ, повышение в ряде случаев их стоимости и другие негативные последствия /67,68,74/.

Свежеложенная бетонная смесь наиболее уязвима при воздействии неблагоприятных факторов сухого и жаркого климата и ухудшение её структуры при этом воздействии может значительно отразиться на конечных свойствах бетона, особенно его долговечности. Вот почему необходимо уделять особое внимание к бетонной смеси при разработке технологии бетона в условиях сухого жаркого климата.

Наиболее важным свойством бетонной смеси является удобоукладываемость или формуемость, т.е. способность смеси растекаться и

принимать заданную форму, сохраняя при этом монолитность и однородность /14/.

Поведение бетонной смеси в различных условиях определяют её реологические характеристики: предельное напряжение сдвига, вязкость и период релаксации. Для определения этих свойств меняют вискозиметры /6/.

Особенность бетонной смеси состоит в постоянном изменении её свойств от начала приготовления до затвердевания, что обуславливается сложными физико-химическими процессами, протекающими в бетонной смеси и бетоне.

Основное влияние на эти свойства будет оказывать количество и качество цементного теста, так как именно цементное тесто, являясь дисперсной системой, имеет высокоразвитую поверхность раздела твердой жидкой фаз, что способствует развитию сил молекулярного сцепления связности системы /14/.

Миронов С.А. и Малинский Е.Н. отмечают, что при работах в условиях сухого жаркого климата повышение температуры бетонной смеси на 10°С увеличивает водосодержащие смеси в среднем на 5-7%. Существенное значение имеет продолжительность периода между приготовлением и укладкой бетонной смеси /68/. Увеличение продолжительности ведет к повышению водопотребности смеси.

Исследованиям Крылова Б.А., Лукичёва Р.А. установлено, что предварительный электроразогрев бетонной смеси приводит к увеличению водосодержания смеси на 5-6% на каждые 10°С /47/.

В результате получение подвижных и удобоукладываемых смесей в условиях сухого жаркого климата затрудняется и поэтому целесообразно введение в состав бетонной смеси поверхностно-активных веществ, способствующих понижению пластической вязкости цементного теста и повышению удобоукладываемости бетонной смеси при её постоянном водосодержании /60/.

С помощью пластифицирующих добавок можно избежать увеличение водопотребности бетонной смеси при повышенной температуры без перерасхода цемента, уменьшить или предотвратить появление трещин вследствие бетона, повысить трещиностойкость изделий при влажностной усадке и улучшить, таким образом, качество бетонных изделий и конструкций.

Перед выбором вида добавок и назначения их оптимального содержания в бетоне устанавливается их эффективность в зависимости от поставленной задачи по следующим признакам:

- по степени пластификации при неизменной В/Ц или по проценту снижения расхода воды и цемента в бетоне при сохранении заданной подвижности бетонной смеси в момент укладки и обеспечении при этом требуемой прочности бетона в различные сроки твердения;

- по увеличению продолжительности сохранения требуемой подвижности бетонной смеси;

- по сокращению продолжительности ухода за твердеющим бетоном.

По своей химической природе большинство пластификаторов является поверхностно-активными веществами (ПАВ), многие из них получают переработкой и модификацией вторичных продуктов и отходов химической промышленности /13/. Молекулы ПАВ имеют сложное строение и, как правило, включают гидрофильные группы и гидрофобные углеводородные радикалы. Характер воздействия ПАВ на бетонную смесь определяется строением их молекулы и соотношением гидрофильных гидрофобных частей молекулы ПАВ.

Батраков В.Г. /16/ использовал для оценки воздействия ПАВ на бетонную смесь понятие об гидрофильно-липофильном балансе (ГЛБ) которой определяется по виду дисперсии вещества в воде. При ГЛБ=1...4 вещество не диспергируется и имеет явно выраженные гидрофобные свойства, при ГЛБ= 9-12 вещество хорошо диспергируется и имеет хорошие гидрофильные свойства, при ГЛБ 13 получается прозрачный

раствор. ПАВ адсорбируются на поверхности твердой фазы бетонной смеси и участвуют в образовании пространственных коагуляционных структур, изменяя тем самым реологические и технологические свойства бетонной смеси.

В условиях сухого и жаркого климата эффективно применение как пластифицирующих гидрофильных, так и гидрофобных добавок. Если первые особо эффективны при воздействии на бетонную смесь, то вторые способствуют улучшению первоначального структурообразования бетона, уменьшая водопотери и миграцию влаги.

Из пластификаторов большое распространение получила сульфатно-дрожжевая бражка и ее различные модификации. В Средней Азии применяют местные пластификаторы из отходов химической промышленности: ВРП, П-20 и другие /6,8,21/. В последние годы особое место в модификации свойств бетонной смеси заняли суперпластификаторы и комплексные добавки на их основе. Суперпластификаторы в большинстве случаев представляют собой анионактивные органические вещества коллоидного размера (молекулярная масса > 200000) с большим количеством полярных групп в цепи. Адсорбируясь на поверхности твердой фазы бетонной смеси суперпластификаторы создают утолщенную оболочку со значительным отрицательным потенциалом и тем самым повышает эффект диспергации и отталкивания частиц цемента и подвижности бетонной смеси. Для обеспечения хорошего взаимодействия с поверхностью твердой фазы требуется интенсивное перемешивание или предварительное перемешивание цемента или бетонной смеси в присутствии добавок /6/.

Как показывают исследования эффективности различных суперпластификаторов отечественного производства и полученных в ФРГ, США, Япония, Болгарии, при дозировке 1% добавки для получения равно подвижных бетонных смесей (при постоянном расходе цемента), расход

воды снижается от 24% до 27% /8/. Высокой эффективностью в условиях сухого и жаркого климата обладает добавка /11-20/ .

В СНГ наибольшее распространение получил суперпластификатор С-3 и комплексные добавки на его основе. Высокой эффективностью в условиях сухого жаркого климата обладает добавка 11-20 /59/, которая помимо повышения подвижности бетонной смеси способствует ускорению гидратации цемента в начальные сроки твердения.

Поскольку бетонные смеси с суперпластификаторами быстро теряют свою подвижность, особенно при повышенных температурах, целесообразно вводить одновременно в бетонную смесь замедлители гидратации цемента, например, СДБ. Можно также в условиях сухого жаркого климата использовать повышенные дозировки суперпластификаторов, что обеспечивает в ряде случаев двойной эффект: повышение подвижности бетонной смеси и увеличение ее жизнеспособности. Эти приемы были использованы Баженовым Ю.М. при бетонировании объектов атомной электростанции на Кубе.

Введение суперпластификаторов с оставшейся частью воды затворения после кратковременного перемешивания цемента или бетонной смеси с частью воды, когда в системе начинаются реакции гидратации и образование этрингита, повышает также пластифицирующий их эффект /20/.

При формировании изделий следует учитывать, что цементное тесто, растворная и бетонная смеси с пластифицирующими и комплексными добавками при пониженном водосодержании, обладая одинаковой подвижностью со смесями без добавок, характеризуются лучшей удобоукладываемостью, что справедливо в широком диапазоне значений подвижности и водоцементных отношений /25/.

Исследователями установлено, что резкое возрастание жесткости цементного теста, как с химическими добавками, так и не содержащего их, происходит при водоцементных отношениях меньших показателя его

нормальной густоты. Поэтому наиболее качественно, с меньшими энергетическими затратами должны уплотняться растворные и бетонные смеси, у которых истинное значение В/Ц больше его нормальной густоты. При введении пластифицирующих и комплексных добавок удаётся сдвинуть границу качественного уплотнения в область более низких значений В/Ц /25/.

При применении бетонных смесей, высокой подвижности необходимо использовать формы, имеющие большую герметичность, чтобы избежать вытекания цементного молока.

При внесении тех или иных коррективов в технологии бетона необходимо одновременно учитывать и влияние сухого жаркого климата. Это требует, наряду с расширением наших знаний о роли пластифицирующих добавок и суперпластификаторов в этих условиях, применение новых методов испытаний, которые позволяют более всесторонне и точно оценить влияние добавок на свойства бетонной смеси и первоначальное структурообразование. Необходимость учета многих факторов требует применения математических методов планирования эксперимента и, обработки его результатов. Применение компьютеров позволяет успешно использовать получаемые зависимости для управления производством и качеством бетона.

Вместе с тем, многофакторность, характерная для технологии бетона с химическими добавками в условиях сухого жаркого климата, требует поиска обобщенных критериев для оценки свойств бетонной смеси, бетона и используемых материалов. В этих условиях структурные характеристики: объемная концентрация цементного теста в бетонной смеси и его истинное В/Ц, складывающаяся к концу периода формирования структуры, т.е. в момент перехода бетонной смеси в бетон, являются сравнительно надежными аргументами для прогнозирования свойств бетонной смеси и затвердевшего бетона /9/.

Эти характеристики позволяют более точно определить сроки схватывания бетонной смеси, пластифицирующий эффект добавок, пределы составов, обеспечивающие нерасслаиваемость бетонной смеси и решить ряд других технологических задач /7, 8/.

В бетоне с малым расходом цемента при введении воздухововлекающих добавок способы приготовления, транспортирования и укладки бетонной смеси должны обеспечивать оптимальное содержание воздуха в свежесделанном бетоне /10/.

В бетоне выделяют три структурных элемента /28/: цементный камень, заполнитель и контактный слой между ними.

Цементный камень, являющийся минеральным клеем, скрепляющим зёрна заполнителя, должен обладать достаточной собственной прочностью и хорошо сцепляться с зёрнами заполнителя.

Заполнитель, связывая часть воды затворения, влияет на реологические и технологические свойства бетонной смеси, а следовательно на технологию формирования и структуру бетона. Кроме того, в процессе твердения бетона вода, смачивающая зёрна заполнителей, участвует как в перераспределении пористости цементного камня в бетоне, так и в создании пористости контактной зоны между камнем и заполнителем /81/.

Бетонные смеси с пластифицирующими добавками обладают пониженной водопотребностью и нерасслаиваемостью, что особенно важно при использовании заполнителей с повышенной водопотребностью. Рациональное использование в пластифицированных бетонных смесях заполнителей различных видов позволяет расширить их сырьевую базу, экономно расходовать цемент и повысить качество и долговечность железобетонных конструкций /52/.

Независимо от вида применяемой химической добавки прочность бетона при постоянном начальном водосодержании возрастает с уменьшением В/Ц, а при постоянном водоцементном отношении – с

уменьшением начального водосодержания. При выдерживании под полимерными плёнками в условиях активной физико-химические процессы в твердеющем бетоне, в том числе с пластифицирующими добавками, происходят в первые трое суток /85/.

Химические добавки, способствуя модификации микроструктуры цементного камня и формированию начальной структуры раствора и бетона с различным содержанием воздуха и плотности, должны привести и к изменению их пористости. Наравне с этим, к изменению пористости также приводят и иные приемы технологического воздействия: различные температурно-влажностные условия и длительность твердения, а также начальное водосодержание смеси /60/. Правильная организация технологии бетона с учетом условий сухого жаркого климата должна учитывать особенности формирования первоначальной структуры бетона и ее дальнейшее упрочнение в этих условиях.

Для этого необходимо знать зависимость тех или иных свойств от различных технологических и климатических факторов. Многие из этих зависимостей нуждаются в уточнении с учетом новых материалов и методов испытаний.

1.3. Особенности свойств бетонных смесей и бетонов на тонкомолотых вяжущих и перспективы их применения в условиях сухого жаркого климата

Исследование свойств и технологий многокомпонентных цементов проводились в 30-х, а затем в 50-х годах.

Были разработаны составы вяжущих, позволяющие получать бетоны с удовлетворительными физико-химическими характеристиками при замене 30% и более клинкерной части вяжущих. Однако, долгое время у нас в стране эти разработки не находили широкого промышленного

применения, ввиду некоторых технических трудностей, связанных с необходимостью более тонкого помола многокомпонентных вяжущих.

В последние годы в результате разработки эффективных добавок, в том числе суперпластификаторов /16/, а также с учетом возрастающего дефицита портландцемента, проблема исследования и применения многокомпонентных цементов приобрела особую актуальность. Механохимическая активация вяжущего, включающая домел цемента с тонкомолотыми минеральными добавками и применение суперпластификаторов (СП) расширяет возможности для решения проблемы экономии цемента на новом уровне.

Многолетний опыт применения заполнителей в цементных композициях показывает, что эффективность их использования может быть значительно повышена на счет оптимизации рецептурных и технологических параметров /45/.

В последнее время, в связи с появлением высокоэффективных суперпластификаторов и совершенствования технологии производства цемента начался новый этап в исследованиях, посвященных экономии цемента, так как введение суперпластификаторов позволяет значительно снизить материалов, энерго и трудоёмкость производства, экономить цемент, получать высокопрочные бетоны на рядовых марках цемента, за счет снижения водоцементного отношения, повышать качество и долговечность конструкций.

Для повышения эффективности бетонов с тонкомолотыми добавками и суперпластификаторами целесообразно производить предварительный помол цемента с добавками. Поверхностно-активные вещества способствует помолу смешанного вяжущего, резкому возрастанию его активности. При этом необходимо увеличивать дозировку суперпластификатора с повышением тонкости помола, чтобы получить надёжное распределение суперпластификатора по поверхности зерен вяжущего. В этом случае можно добиться получения вяжущего,

обеспечивающего высокую подвижность и жизнеспособность бетонной смеси /5/.

Способность тонкомолотых вяжущих удерживать повышенное количество суперпластификатора и высокая тонкость помола вяжущего улучшают пластические свойства цементного теста, а нормальная густота вяжущего снижается. Его эффективность подтверждается на примере совместного помола портландцементного клинкера и шкала в присутствии суперпластификатора /90/.

Введение суперпластификатора уменьшает агрегацию цементных и тонкомолотых частиц и как бы увеличивает действительную эффективную поверхность вяжущего в воде. При этом возрастает текучесть смеси, улучшаются свойства бетона /91/.

Известно, что подвижность бетонной смеси, достигнутая непосредственно после изготовления, быстро уменьшается с течением времени вследствие протекания физико-технических процессов взаимодействия воды и цемента. Потеря подвижности возрастает с увеличением тонкости помола цемента и при введении структурообразующих тонкомолотых добавок. Соответственно сокращаются сроки схватывания цемента /90/.

Эти процессы особенно заметно проявляются при производстве работ в сухом жарком климате. Для уменьшения их отрицательного воздействия, целесообразно не столько увеличивать расход цемента и воды, как это имеет место в традиционной технологии, а использовать химические модификаторы, позволяющие повысить жизнеспособность смеси, и приближать пост приготвление бетонной смеси к месту укладки. Последний прием позволяет обеспечить качественную укладку бетонной смеси и быстрое твердение бетона /5, 6/.

При домело цемента с суперпластификатором резко уменьшается нормальная густота цемента и водопотребность бетонной смеси, и в 1,5-6 раза возрастает прочность бетона, приготовленного из смесей равной

подвижности. Граница нерасплаиваемых смесей сдвигается в область низких водоцементных отношений и поэтому становится затруднительно получать бетоны низкой и средней прочности, которые имеют большое распространение, особенно для малоэтажного строительства, развиваемого в настоящее время /6,14/.

Введение в вяжущее тонкомолотых наполнителей экономит цементный клинкер, пропорционально содержанию добавки, снижает прочность цемента и тем самым позволяет получать бетоны разной прочности.

Суперпластификаторы, адсорбируясь на поверхности тонкомолотых заполнителей, улучшают пластические свойства многокомпонентного вяжущего и в результате бетонные смеси, приготовленные с использованием этих вяжущих, высокой подвижностью и удобоукладываемостью /10/.

В нашей стране разработаны и начинают применяться в строительстве многокомпонентные вяжущие низкой водопотребности ВНВ и ТМЦ. Эти вяжущие различаются по способу введения суперпластификатора: в ВНВ сухой суперпластификатор вводится при помоле, а при применении ТМЦ жидкий суперпластификатор вводится непосредственно в бетонную смесь. Поскольку совместный помол цемента с сухим суперпластификатором обеспечивает лучшее взаимодействие суперпластификатора с твердой фазой, то соответственно эффективность ВНВ в бетонной смеси оказывается несколько более высокой.

Повышение тонкости помола клинкера цемента и введение суперпластификатора обуславливают возможность введения в цемент большего количества тонкомолотых добавок. В ВНВ и ТМЦ можно вводить до 70% тонкомолотого шкала, песка, золы и других минеральных материалов с малой водопотребностью /25,26/.

При введении 50% тонкомолотых добавок и повышенных дозировок суперпластификатора получают ВНВ-50 той же марки, что и исходный портландцемент /16,18/.

Однако при использовании ВНВ и ТМЦ необходимо уделить должное внимание долговечности бетона и железобетона, что особенно важно для изделий и конструкций, эксплуатирующихся в условиях сухого жаркого климата. Исследования НИИЖБа показали, что для железобетонных конструкций не следует применять ВНВ-70 и ТМЦ-70, так как в этом случае не обеспечивается должная защита арматуры от коррозии. В других случаях необходимо, чтобы расход клинкерной части многокомпонентного вяжущего в бетоне был более 180 кг/м^3 /16/.

Большое влияние на свойства и долговечность бетона оказывает его начальное структурообразование. Пластическая усадка бетона в условиях сухого жаркого климата значительно выше аналогичной деформации бетона, твердевшего в нормальных условиях. Это обусловлено резкой сменой температуры, увлажнением и высыханием свежееуложенного бетона.

По данным Малинского Е.Н. /55/ пластическая усадка свежееотформованного бетона развивается до определенного момента, независимо от величины водопотери. Одной из важнейших проблем бетонирования в условиях сухого жаркого климата является всемерное ограничение и ликвидация различных физических деструктивных процессов, протекающих в бетонах в начальный период твердения. Особое место среди них занимает пластическая усадка, оказывающая заметное влияние на растрескивание бетона при неблагоприятных условиях его твердения. Введение специальных добавок и применение ВНВ и ТМЦ позволяют существенно уменьшить пластическую усадку.

На свойства бетона большое влияние оказывает его структура и в первую очередь структура цементного камня, где под последним понимается затвердевшее тесто многокомпонентного вяжущего.

Фазовый состав цементного камня зависит от химико-минералогического состава портландцемента природы тонкомолотой добавки, водоцементного отношения, температуры твердения и вводимых добавок.

Удельная поверхность твердой фазы затвердевшего цемента оказывает огромное влияние на его свойства так как клеящая способность гидратных новообразований возрастает с увеличением их дисперсности. Дисперсность твердой фазы влияет также на устойчивость ряда соединений, входящих в состав цементного камня, в частности при эксплуатации конструкций в условиях сухого жаркого климата.

Изменение дисперсности структуры новообразований влияет и на пористость цементного камня. В бетонах на ВНВ и ТМЦ объем пористости и величина пор уменьшаются, особенно с возрастом бетона. Это также способствует их стойкости в условиях сухого жаркого климата. Особенности структурообразования бетона по ВНВ и ТМЦ влияют на кинетику роста его прочности в условиях повышенных температур. После определенного периода стабилизации, после приготовления бетонной смеси на основе ВНВ и ТМЦ происходит резкая потеря её подвижности, в дальнейшем сопровождающаяся интенсивным нарастанием (через 6...8 часов) прочности бетона. Через 16 часов нормального твердения бетоны на основе ВНВ имеют кубковую прочность 15...20 МПа, а в возрасте 1 суток – 20...60 МПа. ВНВ представляет собой композиционное вяжущее множества модификаций, свойства которого зависят от состава и количественного соотношения исходных составляющих и технологии их помола. Бетоны на различных модификациях ВНВ могут по разному пластифицироваться снижать водопотребность /14/. Совместный помол клинкера, различных видов минеральных добавок, разных типов высокоактивных водопонизителей, в первую очередь, суперпластификаторов, или комплексных добавок на их основе позволяет получить ВНВ с широким диапазоном прочностных показателей.

Опытнo-промышленное внедрение ВНВ на заводах сборного железобетона показало, что за счет их высокой активности удаётся снизить расход вяжущего в пределах до 30-35% при обеспечении заданной марки бетона в изделиях и конструкциях. Кроме того, показано возможность в ряде случаев полного отказа от термообработки бетона на ТВО при использовании ВНВ-50. Последнее особенно актуально для районов с сухим жарким климатом.

Таким образом, проведенные исследования и опытнo-промышленная проверка показали, что применение механикохимии и современных представлений о механизме действия высокоэффективных химических добавок, в первую очередь, суперпластификаторов и тонкомолотых добавок решает проблему создания модифицированных вяжущих веществ (ВНВ и ТМЦ), обеспечивающих получение «высококонцентрированных и компактных структур с низкой вязкостью при относительно низком водосодержании и позволяет перейти в ту область технологии получения цементных композиций высокой плотности, прочности, однородности, которая до последнего времени считалась практически недостижимой».

Современная эффективная технология сборного и монолитного бетона и железобетона предполагает применения многокомпонентных вяжущих (ВНВ, ТМЦ и других), включающих суперпластификаторы или комплексные добавки на их основе и тонкомолотые добавки, на поверхности раздела твердой и жидкой фаз, что способствует развитию сил молекулярного сцепления и повышению связности системы /14/.

Миронов С,А., Малинский Е,Н. и другие /58,64,65,68,71,73,74/ отмечают, что в условиях сухого и жаркого климата полезно применять высокопрочные и быстротвердеющие цементы и бетоны, позволяющие существенно сократить время ухода за бетоном и продолжительность твердения до достижения бетоном критической прочности, после чего отрицательное влияние на структуру и свойства бетона повышенной температуры воздуха при низкой влажности среды и солнечной радиации

заметно уменьшается. В связи с изложенным можно ожидать, что применение в условиях сухого и жаркого климата ВНВ и ТМЦ, в которых возможности пластификации смеси и интенсификации твердения бетона приближаются к максимально возможному эффекту, окажется весьма перспективным.

Однако в технологии приготовления бетонных смесей на основе ВНВ и ТМЦ влияние повышенной температуры на технологические и реологические свойства бетонной смеси и бетона практически не изучено. Не изучено также влияние на изменения свойств бетонной смеси при повышенной температуре вида и количества, заполнителей, водоцементного отношения, состава бетона.

Отсутствуют методики проведения исследований по влиянию повышенной температуры и составов бетонной смеси на основе ВНВ и ТМЦ на технологические и реологические свойства смеси и бетона. Также отсутствуют рекомендации по рациональным областям применения бетонных смесей и бетонов на основе ВНВ и ТМЦ для бетонных и железобетонных изделий в жарком сухом климате и определение технического регламента их производства.

Для обоснованного применения бетонов на многокомпонентных вяжущих тонкомолотого цемента необходимо установить эффективность влияния этих вяжущих на свойства бетонной смеси, ее нерасслаиваемость и жизнеспособность применительно к условиям бетонирования при повышенных температурах, так как в этих условиях свойства бетонной смеси и первоначальное структурообразование бетона оказывают большое, если не определяющее, влияние на конечные свойства бетона.

Цель и задачи. Основной целью работы является разработка условий эффективного применения ТМЦ в технологии бетонных и железобетонных изделий с учетом влияния сухого жаркого климата.

В связи с этим основными задачами являются:

- разработка теоретических положений об изменении структуры и свойств бетонных смесей на основе ТМЦ с учетом особенностей влияния жаркого климата;

- изучение оценки свойств бетонных смесей на основе ТМЦ при различной температуре с учетом их формуемости;

- установление зависимости реологических и технических свойств бетонных смесей на основе ТМЦ от главных факторов при разной температуре;

- изучение свойства бетонов на основе ТМЦ в зависимости от их состава, температуры смеси и условий начального формирования структуры;

Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

2.1. Характеристика применяемых материалов.

При выполнении исследования для сопоставления результатов при определении свойств бетонных смесей и бетонов в работе использованы цементы промышленного выпуска Навоинского и Кизилкумского цементного заводов М-400. В качестве многокомпонентного вяжущего использовали ТМЦ-50 опытно – промышленного выпуска Навоинского цементного завода со шлаковым наполнителем и суперпластификатором С-3. Суперпластификатор в ТМЦ вводился при помоле в количестве 3% от массы цементной составляющей.

Также применялся ТМЦ на основе Навоинского цементного завода с вяжущим двух составов:

Р2-1: клинкер; шлак; барханный песок; гипс - 55:20:20:5

Р3: клинкер; зола; песок; гипс - 55:25:15:5.

Химический и минералогический составы цементов приведены в *таблицах 2.1.1., 2.1.2.,* соответственно физико-механические характеристики данных цементов в *таблице 2.1.3.* В качестве пластифицирующей добавки использовали С-3. Добавка вводилась в бетонную смесь с водой затворения (1% от массы цементной составляющей при применении ТМЦ).

В качестве мелкого заполнителя для приготовления бетона применяли кварцевый песок Зарафшанского карьера с модулем крупности 2,04.

Физико-механические характеристики мелкого заполнителя кварцевого песка для бетонов, были определены по ГОСТ 8736-96. Основные показатели и гранулометрический состав используемого песка приведены в *таблице 2.1.4.*

Таблица 2.1.1.

Химический состав цементов (вяжущих), в %

Вид вяжущего цемента	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO	п.п.п
Навоинский П/Ц – 400	19,5	5,45	4,78	63,72	3,84	1,08	0,26
Кизилкумский П/Ц – 400	22,17	4,81	4,77	67,0	0,44	0,03	-

Таблица 2.1.2.

Минералогический состав цементов, в %

Вид вяжущего цемента	Минералогический состав					Вид минеральной добавки	Среднее количество добавки, %
	S ₃ A	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaO своб, %		
Навоинский П/Ц – 400	59	12	7	14	-	Трепел	9,5
Кизилкумский П/Ц – 400	64	15	3	15	0,26	шлак	20

Таблица 2.1.3.

Свойства ПЦ, ВНВ, ТМЦВ

Основные показатели по ГОСТ 310.1-81, ГОСТ 310.2-82, ГОСТ 310.2-81.	Добавка С-3 в % от цем. или вяжущего	ПЦ-400	ВНВ-50	ТМЦВ	
				Р2-1	Р-3
Нормальная густота в %	-	27,0	17,5	27,5	28,0
	1	16,8		18,5	20,0
Расплав конуса, см (тесто)	-	15	15	15	15,5
	1	15		15	15
Прочность мПа, при изгибе сжатии	-	6	7	5,9	6
	1	6,8		6,9	6,3
	-	44	55	40,7	38
	1	47		50,5	47,1
Сроки схватывания, час. мин. начало конец	-	2-50	2-50	2-15	2-30
	1	3-15		2-40	2-40
	-	4-10	8-00	4-50	4-30
	1	8-05		8-00	9-05
Насыпная плотность кг/м ³ -	1150	1115	1120	1100	
Удельная поверхность см/г -	2800	5500	5200	5200	
Водоцементное или водовязущее отношение	-	0,45	0,45	0,44	0,45
	1	0,38		0,35	0,36
Расплав конуса, см (раствор)	-	13	13	12,8	13
Плотность, г/м ³	-	3,08	2,90	2,95	2,83

Таблица 2.1.4.

Основные показатели и гранулометрический состав песка

Наименование	Гранулометрический состав, % по размерам сит							Насыпная плотность, кг/м ³	Истинная плотность, г/см ³	Пустот- ность, %	Водопот- ребность, %	Модуль круп- ности
	5	2,5	1,25	0,63	0,314	0,14	0,14					
Песок Зараф- шанского карьера	частные остатки											
	-	2	14	22	26	19	17	1595	2,65	45,6	7,2	2,04
	полные остатки											
	-	2	16	32	64	83	100					

Таблица 2.1.5.

Основные показатели и фракционный состав щебня

Наименование	Содержание заполнителя, % фракций, мм				Насыпная плотность, кг/м ³	Истинная плотность, кг/м ³	Пустот- ность, %	Водопотреб- ность, %
	5	5-10	10-20	20				
Щебень гранитный	4,2	42,5	43	10	1,45	2,69	45,7	3,63

В качестве крупного заполнителя для приготовления бетона применяли гранитный щебень фракций 5...20мм. Физико-механические характеристически крупного заполнителя – щебня, определены по ГОСТ 8296-2000, показатели фракционного состава используемого щебня приведены в *таблице 2.1.5.*

2.2. Методы определения свойств бетонной смеси и бетона.

2.2.1. Основные сведения о принятых методах испытания бетонной смеси и бетона

Для производства работ и обеспечения высокого качества бетона необходимо, чтобы бетонная смесь имела консистенцию, соответствующую условиям её укладки в формы. Для оценки консистенции бетонной смеси и её технологических свойств, определяющих способность заполнять данную форму и уплотняться в процессе укладки, в данной работе определяли показатели подвижности и жесткости смеси, расслаиваемость, коэффициент тиксотропии и другие свойства.

Бетонные смеси на основе ТМЦ различных модификаций могут по разному пластифицироваться и снижать свою водопотребность, меняя кинетику твердения, структуру и состав цементирующий новообразований, что влияет на свойства бетона, особенно учитывая технологию производства бетонных работ и влияние специфических условий районов сухого жаркого климата.

Экспериментальная часть работы выполнена с применением ряда стандартных методов. Для определения технологических свойств бетонных смесей, при различных температурах, проводился эксперимент следующим образом.

Смесь объемом 7 дм^3 получали виброперемешиванием до стандартной консистенции, закладывали в специальный прибор (рис. 2.2.1.) объемом 6 дм^3 , а затем с помощью электроразогрева нагревали бетонную смесь до фиксированной температуры.

Закладывали смесь в стандартные конуса или в технический вискозиметр, с тремя равными слоями, при уплотнении каждого слоя 25-кратным стыкованием металлическими стержнями $d = 16 \text{ мм}$ и длиной 60 мм с округленными концами. Для приготовления бетонной смеси использовали сухие материалы, дозированные по массе, воду – по объему. Пластифицирующие добавки в смесь вводились с водой затворения. Перемещение смеси осуществляли ручным и механическим способом (виброперемешивание). Уплотнение образцов бетонной смеси производили на лабораторной виброплощадке с частотой колебаний $50 \pm 0,05 \text{ мм}$. Образцы после формования хранились до момента испытаний в нормальных температурно-влажностных условиях или в условиях с различными фиксированными температурами. Определение прочностных характеристик образцов проводили по стандартным методикам. Так как при введении СП в смеси на основе ТМЦВ разных составов наблюдается тиксотропное разжижение, к бетонным смесям на ВНВ и ТМЦ разного состава применяется очень энергичное перемешивание и механическое (вибрационное) воздействие, с целью более быстрого проявления тиксотропного эффекта разжижения, проявление этого эффекта ускоряется во время виброперемешивания. Вместе с тем, отмечены значительные изменения показаний подвижности при незначительном изменении В/Ц, что затрудняется сравнительные оценки. Целесообразно для данных исследований с целью получения сравнительных результатов проводить более глубокою гомогенизацию бетонных смесей. Это можно осуществить виброперемешиванием, которое позволит также проводить измерения технологических характеристик бетонной смеси в процессе вибрирования.

Бетонные смеси на основе ВНВ и ТМЦ обладают некоторыми особенностями механических и реологических свойств. Более глубокое изучение свойств бетонных смесей на основе ВНВ и ТМЦ осуществлялось с помощью новых приборов, позволяющих определить:

- истечения и уплотнение бетонных смесей при различных температурах;
- коэффициент тиксотропии бетонных смесей;
- расслаиваемость бетонных смесей при различных температурах;
- отношение сопротивление сдвигу уплотнённых структур при статических нагрузках и сопротивлению на сдвиг предельно напряженной структуры при различных температурах под воздействием вибрации.

Применение новых методов, по сравнению с традиционными для определения подвижности по осадке конуса (ОК) и жесткости по техническому вибровискозиметру позволяет более точно оценить особенности свойств структуры бетонных смесей на основе ВНВ и ТМЦ и получить рабочие зависимости от влияния составов бетонных смесей и их температур на укладываемость (формуемость) бетонных смесей и установить граничные условия, гарантирующие получение нераслаиваемых и качественных бетонных смесей;

- жизнеспособность или водопотери бетонных смесей.

Исследования проводили при фиксированных температурах $T=25^{\circ}\text{C}$; $T=35^{\circ}\text{C}$; $T=45^{\circ}\text{C}$, на бетонных смесях различного состава.

Для более всесторонней оценки поведения бетона и бетонной смеси в условиях сухого жаркого климата необходимо наряду со стандартными методами испытаний использовать методики и приборы, позволяющие получить количественные показатели особенностей поведения материала в этих условиях. Это в первую очередь касается бетонной смеси, так как на ее свойствах условия сухого жаркого климата сказываются в большей мере.

2.2.2. Методика определения удобоукладываемости бетонной смеси по показателю истечения на специальном приборе.

Удобоукладываемость по истечению бетонных смесей определяли на специальном приборе (рис. 2.2.1), удобоукладываемость характеризовалась временем истечения смеси через калиброванное отверстие прибора, определяемым в секундах. Прибор позволяет производить быстрый разогрев бетонной смеси до температуры испытания с помощью электрического тока.

Прибор (рис. 2.2.1) состоит из пластмассового цилиндра высотой 450 мм и диаметром 132 мм (1), в котором имеется в нижней части отверстие 100x100 мм, для истечения смеси, с плотно закрывающимся шибером (2), следящего устройства (3), показывающего уровень бетонной смеси. Подача напряжения для электроразогрева смеси до нужной температуры осуществляется с помощью подвижного диска, выполненного в виде штока имеющим 6 отверстий до 10 мм (4) и основания (5), величина напряжения регулируется патроном. Термометр (8) измеряет температуру смеси. Основание надежно изолировано (6), и жестко закреплено на виброплощадке с помощью магнитного устройства (7).

Методика проведения испытаний при различных положительных температурах (удобоукладываемости по истечению бетонной смеси) с помощью прибора заключается в следующем. Бетонную смесь с зёрнами заполнителя наибольшей крупности до 40 мм загружают тремя равными слоями в цилиндр прибора объемом 6 дм³ с закрытым шибером, при уплотнении каждого слоя 25 – кратным штыкованием металлическими стержнями 16 мм при их длине 600 мм с округлёнными концами. Затем устанавливают диск следящего устройства (если необходимо, с помощью электроразогрева нагружают бетонную смесь до фиксированной температуры) и включают виброплощадку.

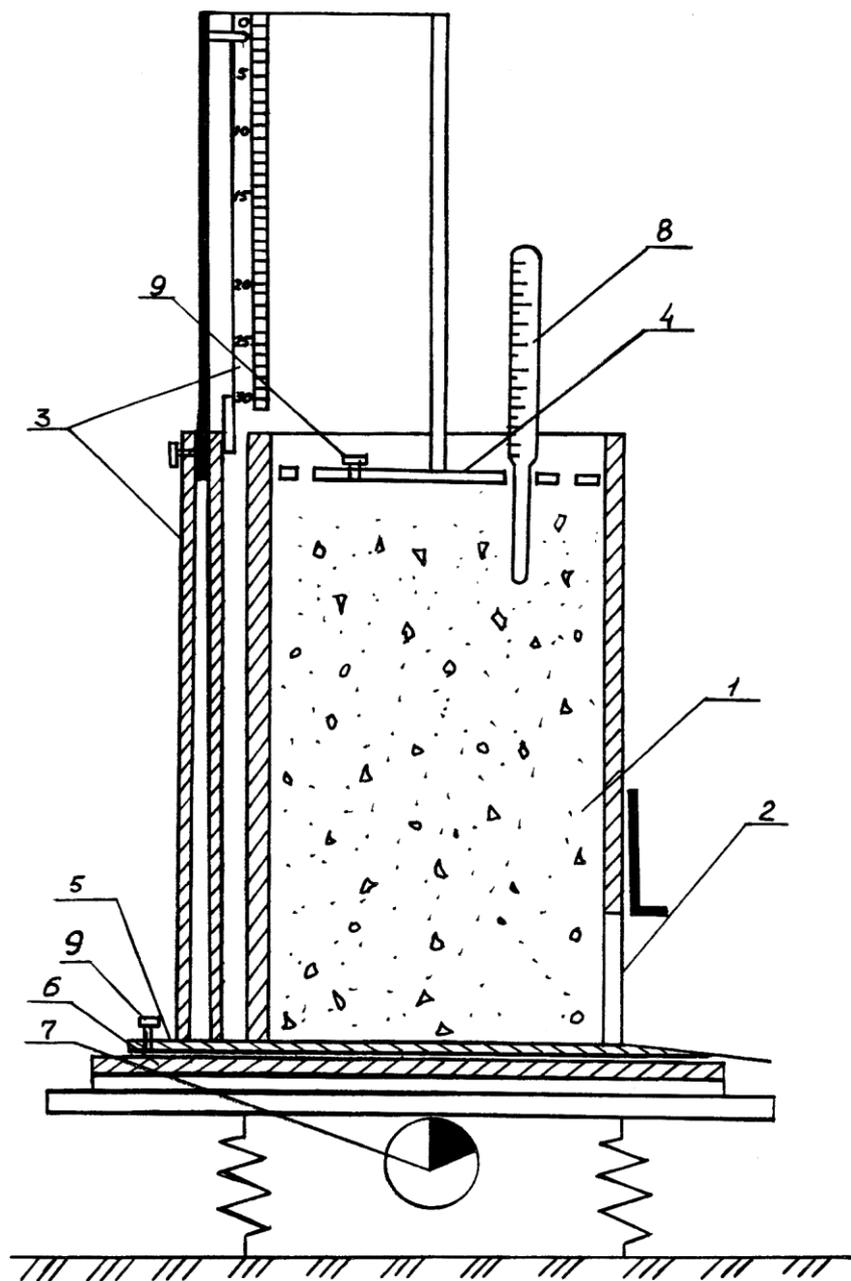


Рис. 2.2.1. *Прибор для определения время истечения бетонной смеси.*

- | | |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1. Пластмассовой цилиндр | 6. Изолирующ. основания |
| 2. Отверстие для истечения смеси | 7. Виброплощадка |
| 3. Следящее устройство | 8. Термометр |
| 4. Шток с диском | 9. Клеммы |
| 5. Основания | |

Уплотненные бетонной смеси фиксируют по появлению цементного теста в 3х и 4х из 6-ти отверстий диска. При этом на штативе замеряют высоту бетонной смеси (H_1). Затем открывают шибер и замеряют секундомером время истечения смеси до момента, когда диск опустится до фиксированной отметки $H_2=190$ мм (рис.. 2.2.2).

После каждого испытания по стандартным методикам измеряется подвижность и жесткость бетонных смеси. Смеси, прошедшие все испытания заформовываются.

Образцы после формования хранили до момента испытаний в нормальных условиях или при разных положительных температурах в климатической камере (в камере создают сухие и влажные условия).

2.2.3. Методика определения жизнеспособности бетонных смесей при различных повышенных температурах.

Методика заключается в следующем: подготавливается бетонная смесь объемом 6 дм³, перемешивание производится в вибросмесителе до стандартной консистенции бетонной смеси, соответствующей условиям её укладки. Затем определяют ее подвижность (осадку конуса) по стандартной методике.

После этого смесь загружают в цилиндр электронагревающей установки и нагревают до фиксированной температуры. После того, как смесь нагрелась, она выдерживается в цилиндре при заданной фиксированной температуре в течении 15 минут.

Затем снова определяется осадка конуса и время истечения. После этого процедура повторяется при той же температуре и в течении того же времени до тех пор, пока осадка конуса смеси не будет равна нулю. После этого определяется время истечения еще в течении 2,5 – 3 часа. После проведенных испытаний определяется плотность бетонной смеси.

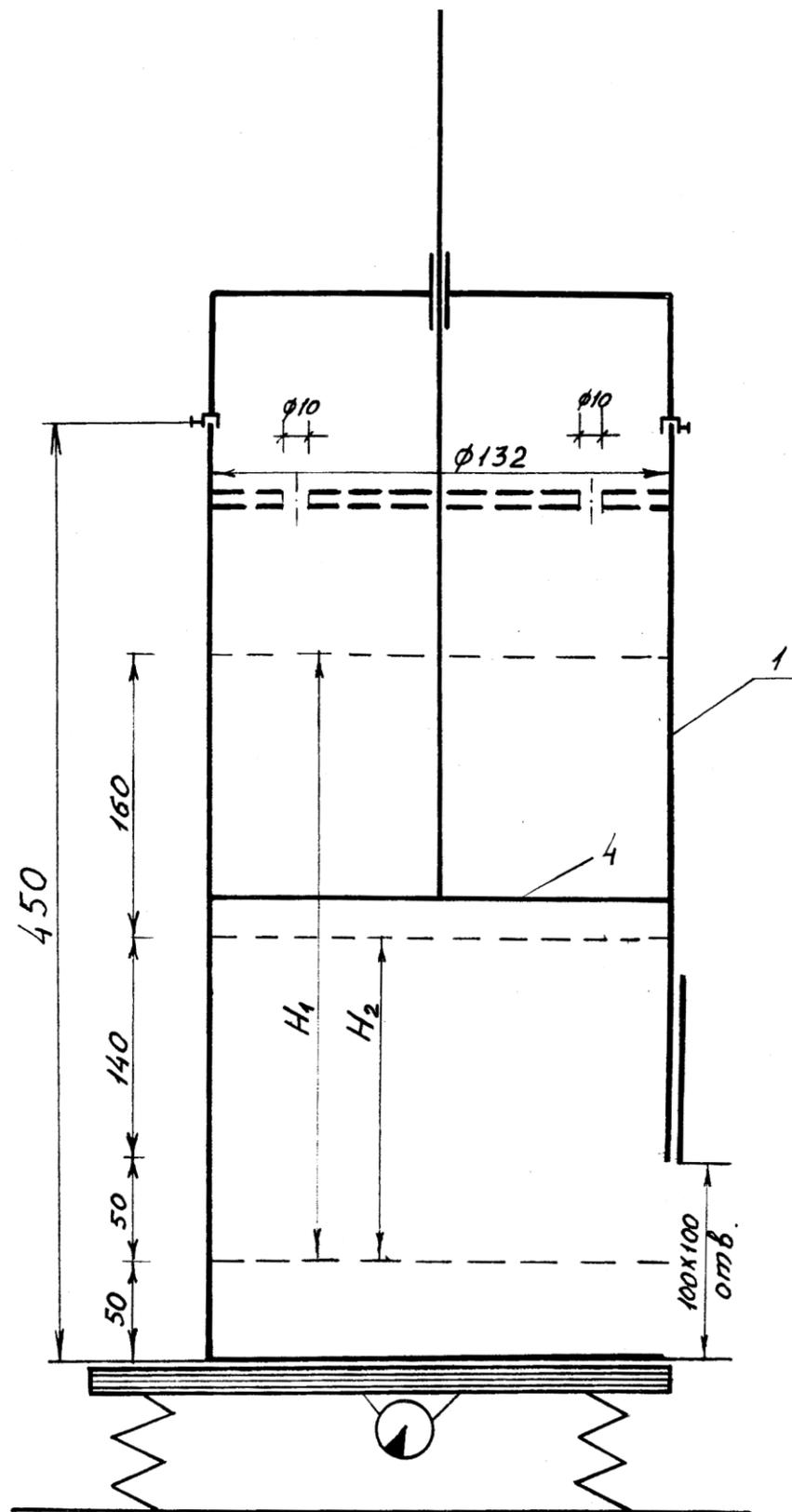


Рис. 2.2.2. Схема прибора.

Данная методика применяется для определения жизнеспособности бетонных смесей при различных фиксированных температурах $T = 25^{\circ}\text{C}$, 35°C и 45°C . Все полученные в ходе опыта результаты заносятся в таблицу и по данным строятся графические зависимости.

2.2.4. Методика определения коэффициента тиксотропии бетонной смеси

Для исследования тиксотропии бетонных смесей на основе ВНВ и ТМЦ определяли сопротивление выдерживанию стержня с шариком из бетонной смеси: определено сопротивление сдвигу уплотнённой структуры при статических условиях и при воздействии вибрации (для предельно разрушенной структуры) при различных температурах. Для этого использовали специальный прибор (рис. 2.2.3) и методику испытания.

Прибор для определения усилия выдерживания состоит из бункера для хранения и высыпания дроби (1), заслонки с магнитным управлением (2), потенциометра КСП – 1 (3) для регистрации показаний перемещения стержня в бетонной смеси, пластмассового цилиндра объемом 6 литров (4), в верхней и нижней части которого расположены металлические диски (5,6) и к которым подводится напряжение через ЛАТР.

Металлическое основание надёжно изолирована (7) от виброплощадки (9), цилиндр и изолирующее основание прикреплены к металлической пластинке (8), которая закрепляется на виброплощадке при помощи магнитного устройства. На раме закреплены горизонтально 2 ролика (10), через которые проходит трос 3 мм (11).

С одного конца к тросу прикрепляется ёмкость (15), с другого – закрепляется стержень (13) с шариком на конце 50 мм. На трос одета конусообразная втулка (12), с помощью которой производят отключение прибора посредством регулятор (концевика) (14).

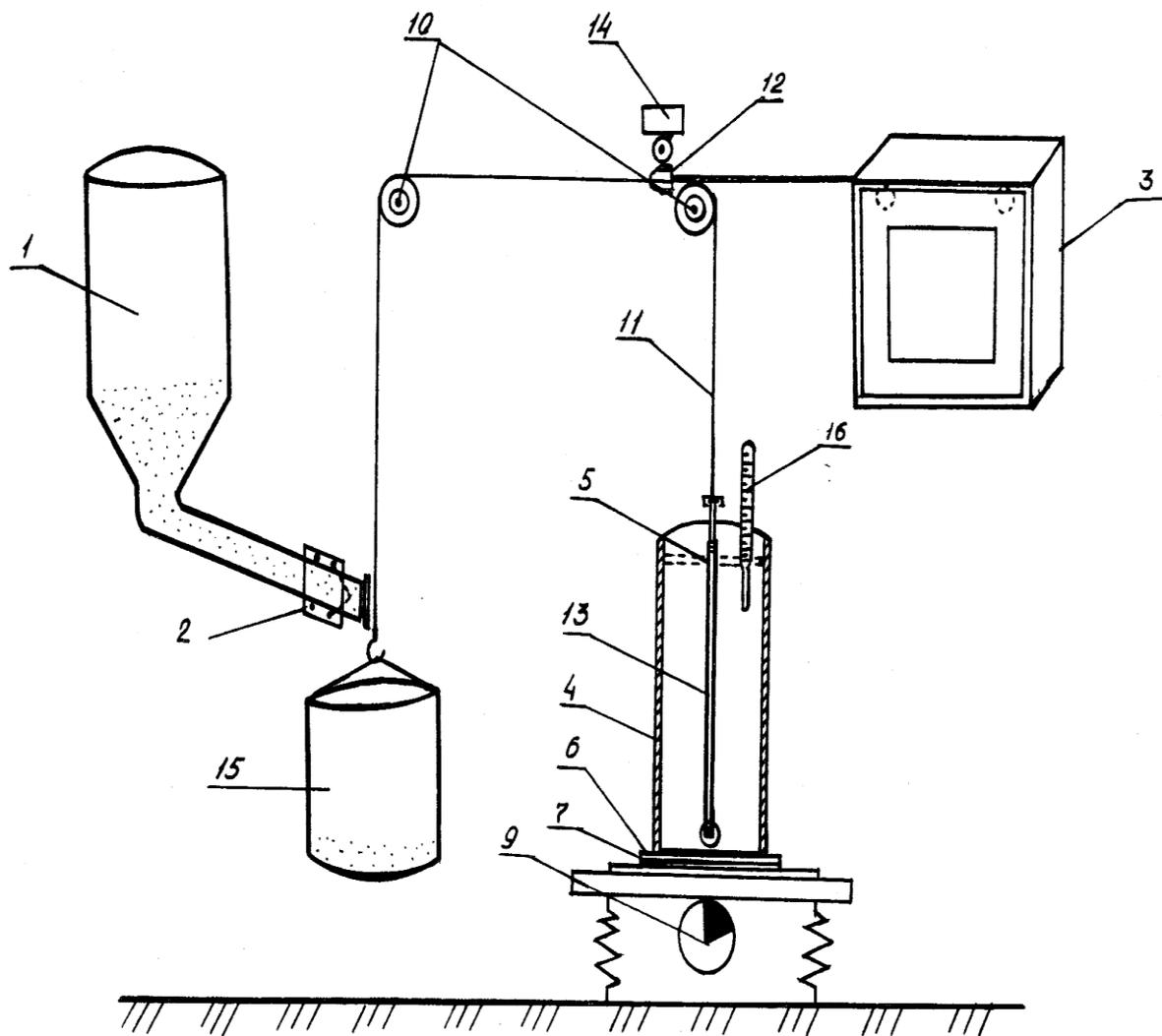


Рис. 2.2.3. *Прибор для определения усилия выдергивания бетонной смеси.*

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| 1. Бункер | 9. Виброплощадка |
| 2. Заслонка | 10. Ролики |
| 3. Потенциометр | 11. Трос |
| 4. Пластмассовый цилиндр | 12. Втулка |
| 5. Подвижный диск | 13. Стержень с шариком |
| 6. Основания | 14. Регулятор |
| 7. Изолирующ. основания | 15. Емкость |
| 8. Закрепляющ. устройство | 16. Термометр. |

При начальном перемещении стержня в бетонной смеси, одновременно закрывается магнитная заслонка (2) подачи дробы в ёмкость (15). Для контроля температуры в бетонную смесь используют термометр (16). Методика заключается в следующем: перед загрузкой бетонной смеси в цилиндрическую форму (1), в центре цилиндра устанавливают стержень (13) центровка стержня осуществляется с помощью направляющей втулки (14). Бетонную смесь с наибольшей крупностью зёрен заполнителя 40 мм загружает в цилиндрическую форму тремя равными слоями с уплотнением каждого 25-ти кратным стыкованием. После заполнения формы объемом 6 дм³ бетонной смесью, её закрепляют на виброплощадке (9) с помощью магнитного устройства. Затем, если необходимо, бетонную смесь нагревают до фиксированной температуры с помощью электроразогрева в течение 2-3 минут. После этого подают дробь в ёмкость (15). По мере возрастания нагрузки (масса дробы в ёмкости) стержень начинает перемещаться, при этом отключается система подачи дробы в ёмкость (т.е. прекращается возрастание нагрузки) и фиксируется с помощью потенциометра перемещение стержня. Усилие выдёргивания стержня определяется по массе дробы в ёмкости (15).

Аналогично определяют перемещение стержня в бетонной смеси и величину усилия выдёргивания при виброуплотнении.

Предельное напряжение сдвига условно можно определить по формуле:

$$\tau_{пред} = \frac{F}{S} \quad (МПа) \quad (1)$$

где F – усилие выдёргиванию, МПа S - площадь поверхности шара-с стержня, равная 78,6 см².

Для характеристики тиксотропных свойств бетонных смесей достаточно определить коэффициент тиксотропии K_t , как отношение

усилия выдергивания шарика из предельно уплотненной структуры (Y_1) и усилию выдергивания шарика из предельно разрушенной структуры (Y_2), возникающей при длительной вибрации.

2.2.5. Методика определения расслаиваемости бетонных смесей при различных положительных температурах.

Применение способов снижения расслаиваемости бетонных смесей на основе ВНВ и ТМЦ (в условиях сухого жаркого климата) при различных положительных температурах путём подбора состава, введения химических и пластифицирующих добавок, введения наполнителей – не позволяет в полном объеме предотвратить расслоение литых и жестких бетонных смесей, обеспечить высокие физико-механические свойства бетонов смесей (ГОСТ 10196 – 2000) не применим для жестких бетонных смесей на ВНВ и ТМЦ.

Новый прибор и методика определения расслаиваемости смесей при различных положительных температурах для условий сухого жаркого климата повышает точность определения расслаиваемости, сокращает сроки и трудоёмкость проведения испытаний. Устройство для определения расслаиваемости при различных положительных температурах бетонной смеси с помощью вибропросева (рис. 2.2.4) через сетку, состоит из пластмассового цилиндра объемом 4 дм³ (1), в котором имеется отверстие в нижней части размером 100x100 мм (2), и плотно закрепленной сетки с ячейками 5 см (3) для просева растворной части бетонной смеси. Электроразогрев бетонной смеси до нужной температуры осуществляется с помощью электродов. Используется также подвижный диск (4) и плита основания (5). Напряжение регулируется через латр; термометром (8) измеряется температура смеси. Основание надежно изолировано и жестко закреплено (6) на виброплощадке с помощью магнитного устройства (7). Для измерения температуры смеси используется термометр (8).

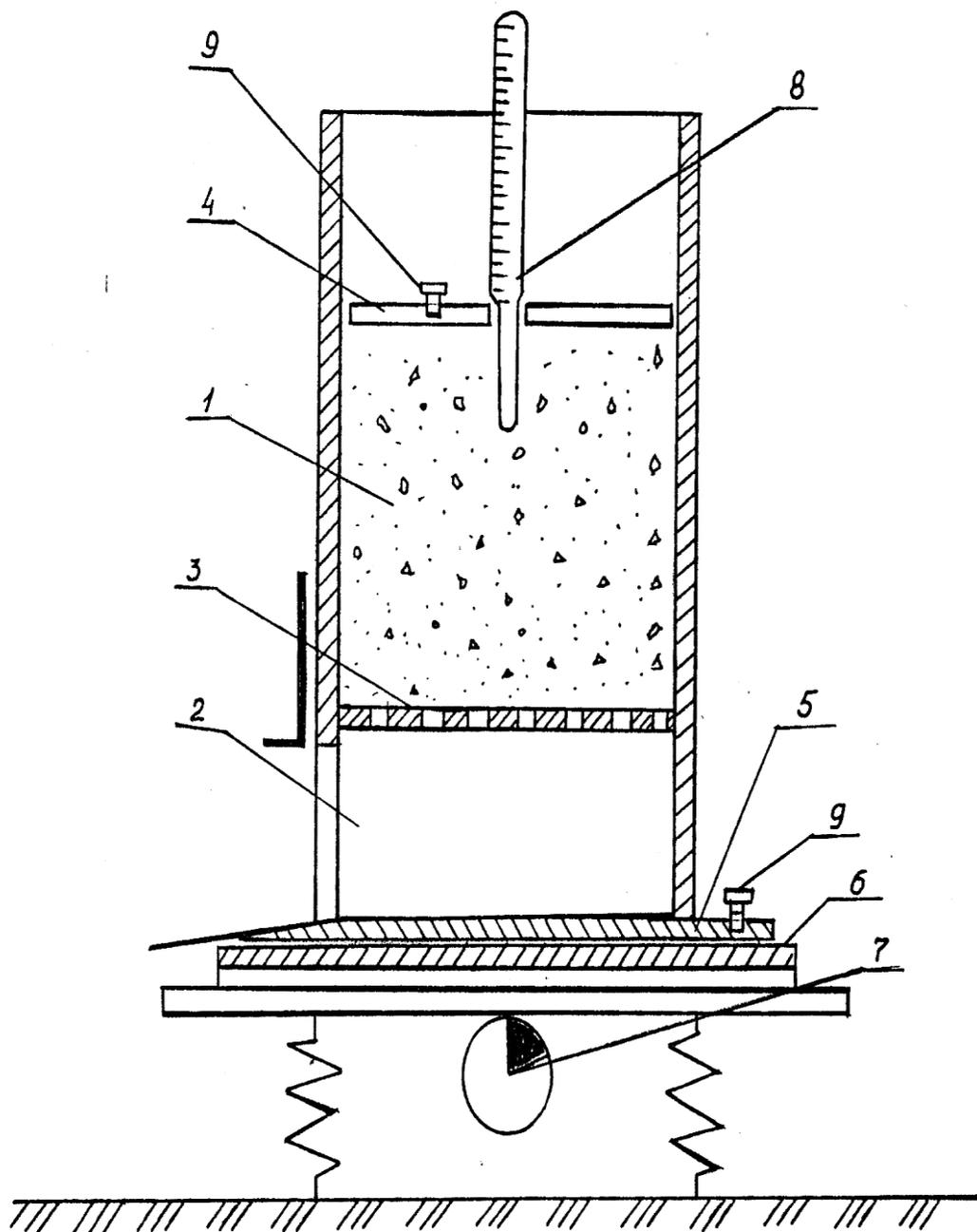


Рис. 2.2.4. Прибор для определения раслаиваемости бетонной смеси.

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| 1. Пластмассовый цилиндр | 6. Изолирующие основания |
| 2. Отверстия | 7. Виброплощадка |
| 3. Сетка | 8. Термометр |
| 4. Подвижной диск | 9. Клены. |
| 5. Основания | |

Устройство работает следующим образом: цилиндрическая ёмкость (1). Предварительно протёртая внутри влажной тканью, цилиндрическая ёмкость заполняется бетонной смесью объемом 4 дм³, уплотняется штыкованием. Смесь с помощью электроразогрева нагревается до определенной фиксированной температуры, затем включается виброплощадка. Время отделения раствора фиксируется секундомером в течение 3-х минут, отделившийся за это время раствор отбирается через нижнее отверстие в мерный сосуд и взвешивается на лабораторных весах.

По величине объема и массы отделившегося раствора можно оценить расслаиваемость бетонной смеси и определить условия, при которых расслаиваемость смеси будет минимальной.

2.2.6. Методика обработки результатов опытов и установления расчетных зависимостей.

Для проектирования состава бетона и управления качеством материала на производстве необходимо иметь зависимости свойств бетонной смеси от ее состава, использованных материалов, условий приготовления и уплотнения, а также от температуры.

Поскольку в опытах приходится учитывать влияние на свойства бетонной смеси и бетона многих факторов, то в диссертации для получения расчетных зависимостей использован метод математического планирования эксперимента с последующей обработкой полученных опытных данных по специальной программе на персональных компьютерах.

Конкретные результаты рассмотрены в соответствующих главах.

Глава III. ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ТМЦ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА

3.1. Исследование влияния состава и температуры на свойства бетонной смеси.

Из анализа литературных данных (см. гл.1) следует отметить, что большинство авторов считают, что процессы ускорения гидратации вяжущих и испарения влаги при повышении температуры бетонных смесей приводят к определенному ухудшению формовочных свойств бетонных смесей.

Исследования, проводимые с целью определения влияния температуры бетонной смеси в условиях сухого климата на удобоукладываемость смеси показали [79, 87, 88/], что зависимость между температурой смеси и её удобоукладываемостью обратно пропорциональна. Повышение температуры смеси с 15°C до 25°C уже ухудшает удобоукладываемость, а при температуре свыше 30°C наблюдается заметная потеря подвижности бетонной смеси [43, 47, 64, 79, 87, 88/].

Так как повышение температуры смеси приводит к ухудшению её формовочных свойств, то получение требуемой удобоукладываемости за счет увлечения расхода воды и повышения водосодержания смеси приводит к снижению прочности бетона или к повышению расхода цемента.

Учитывая, что основным структурообразующим компонентом бетонной смеси является цементное тесто, а бетона – цементный камень, то изменяя их свойства, а также содержание компонентов, можно регулировать реологические и технологические свойства бетонной смеси в необходимом направлении.

С целью изучения влияния состава и температуры бетонных смесей на основе портландцемента с химическими добавками – пластификаторами

и ВНВ на реологические и технологические свойства, были разработаны методы и приборы для их определения при повышенных температурах ($T=25^{\circ}\text{C}$, $T=35^{\circ}\text{C}$, $T=45^{\circ}\text{C}$).

Параллельно было изучено влияние температуры и составов на технологические и реологические свойства бетонной смеси по стандартным методикам.

Определяли характеристики бетонных смесей исходя из расхода цемента, количества заполнителей, расхода пластифицирующих добавок, которые значительно влияют на удобоукладываемость бетонных смесей.

Исследование проводили на бетонных смесях как жёстких (Ж до 45 с.), так и подвижных ($\text{ОК} = 1 \dots 5$ см и $\text{ОК} = 15 \dots 20$ см) с расходом портландцемента 350 и 450 кг/м^3 при температурах 25°C и 35°C . Доля песка была принята постоянной, равной 0,4.

Составы бетонных смесей и результаты исследований по определению времени истечения через калиброванное отверстие приведены в таблице 3.1.1.

Из данных таблицы следует, что одинаковой удобоукладываемости бетонной смеси, независимо от состава, соответствует примерно одинаковое время истечения.

Например, состав 1 и состав 4 имеют жёсткость 40 и 37 сек. соответственно. При повышении температуры бетонной смеси до 35°C уменьшается удобоукладываемость и увеличивается время истечения.

При введении в бетонную смесь пластифицирующих добавок СДБ и С-3 (см.табл. 3.1.2) в оптимальных количествах при повышении температуры до 40°C потеря подвижности смесей наблюдается, а время истечения изменяется незначительно.

Таким образом, добавки-пластификаторы оказывают влияние на изменение вязкости бетонной смеси при повышении её температуры.

Таблица 3.1.1.

**Влияние составов и температуры бетонной смеси на портландцемент
на время истечения через калиброванное отверстие.**

№ пп	Ц кг/м ³	В/Ц	Истечение смеси при Т=25°С (с.)	ОК (см)	Ж (с.)	Истечение смеси при Т=35°С (с.)	ОК (см)	Ж (с.)
1	350	0,5	30	0	40	37	0	120
2	350	0,6	17	4	-	22	0	28
3	350	0,7	10	20	-	14	5	-
4	450	0,4	17	0	37	40	0	116
5	450	0,5	15	1,5	-	20	0	30
6	450	0,6	5	16	-	12	10	-

Таблица 3.1.2.

**Влияние пластифицирующих добавок и температуры бетонной смеси
на портландцементе на технологические свойства при постоянном
расходе цемента**

№ пп	Расход цемен- та, Ц кг/м ³	В/Ц	Пласти- фициру- ющие добавки (%)		Исте- чение смеси при Т= =25°С (с.)	ОК (см)	Ж техни- ческ. Виско- зи- метра (с.)	Исте- чение смеси при Т= =25°С (с.)	ОК (см)	Ж техни- ческ. Виск о-зи- метра (с.)
			С-3	СДБ						
1	350	0,4	-	0,4	15	0	38	17	0	79
2	350	0,5	-	0,4	12	6	-	10	1,5	-
3	350	0,6	-	0,4	5	18	-	8	4,0	-
4	350	0,4	1,0	-	30	0	40	37	0	84
5	350	0,5	1,0	-	11	5	-	14	-	-
6	350	0,6	1,0	-	9	18	-	11	6	-

В работе изучали влияние соотношения между мелкими и крупными заполнителями, пластифицирующих добавок и температуры на реологические свойства бетонных смесей.

Исследования показали, что увеличение доли песка (ч) в смеси заполнителей от 0,32 до 0,52 (см. рис. 3.1.1) способствует понижению вязкости бетонной смеси, особенно при увеличении доли песка (ч) до 0,42. При введении в бетонную смесь добавки С-3 в количестве 1% от массы цемента влияние доли песка (ч) незначительно.

Такая же зависимость наблюдается и при понижении температуры бетонной смеси до 40°C. Однако, температуры оказывает большее влияние на вязкость бетонной смеси (см. рис. 3.1.2) характер зависимостей сохраняется, а время истечения смесей понижается.

С целью определения граничных значений главных факторов для оптимизации составов бетонных смесей и бетонов, эксплуатируемых в условиях сухого жаркого климата, был проведен эксперимент на наихудшем и наилучшем, по предварительным данным, составам.

Составы бетонов и результаты эксперимента представлены в таблице 3.1.3.

Как следует из данных таблицы, составы с расходом цемента 250 кг/м³ возможно применять в технологии бетона лишь в сочетании с добавкой суперпластификатора при оптимальных значениях В/Ц и Ч. Наилучшие результаты по прочности при всех температурных режимах наблюдаются в составе 2 (расход Ц = 350 кг/м³, В/Ц = 0,5).

При увеличении расхода цемента до 450 кг/м³ (состав 5 и 6) подвижность смеси улучшается и удобоукладываемость по истечению понижается.

Прочность всех серий образцов через 28 суток нормального твердения при повышении температуры бетонной смеси увеличивается на 10-15%, что объясняется ускорением процессов гидратации вяжущих.

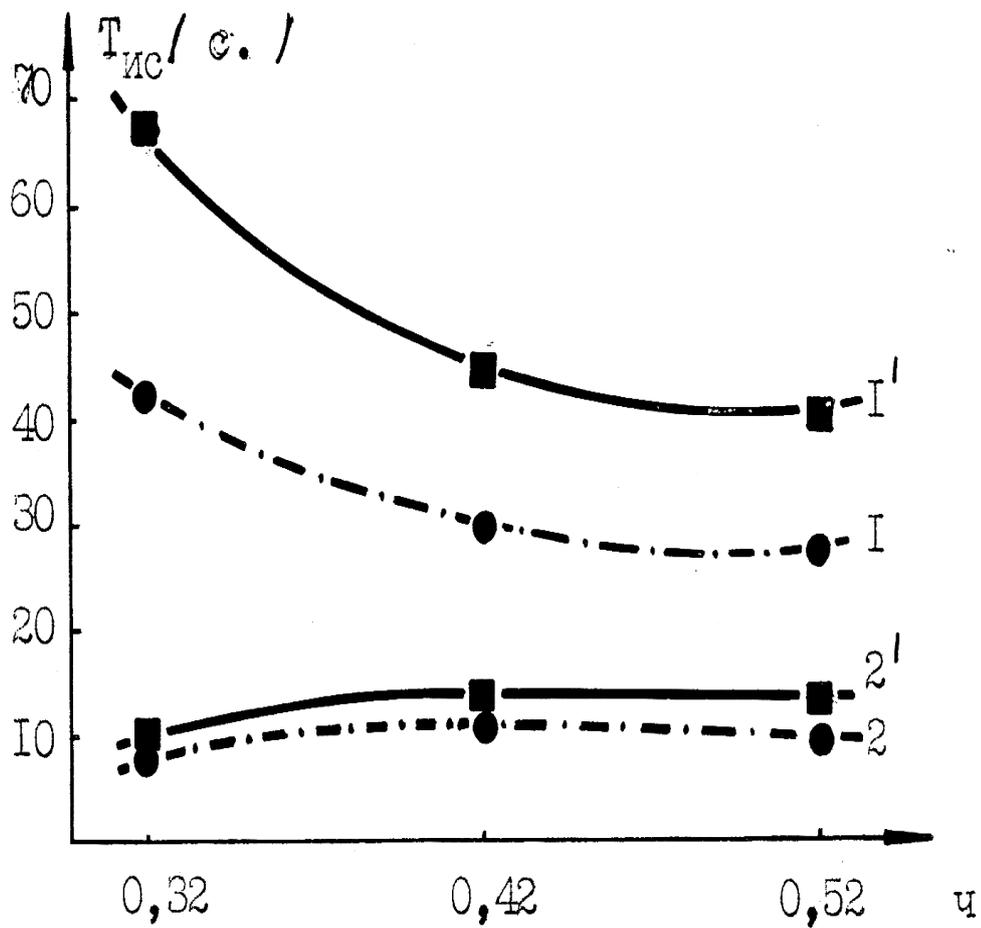


Рис.3.1.1. Зависимость влияния доли песка (ϕ) в смеси заполнителей на удобоукладываемость по истечению бетонной смеси при расходе $\rho = 350 \text{ кг/м}^3$ $B/\rho = 0,5$.

бет. смесь ● - - - - $T=20^\circ\text{C}$

бет. смесь ■ - - - - $T=40^\circ\text{C}$

1. 1' – ПЦ без добавок

2. 2' – ПЦ с $S-3=0,6\%$ от массы цемента.

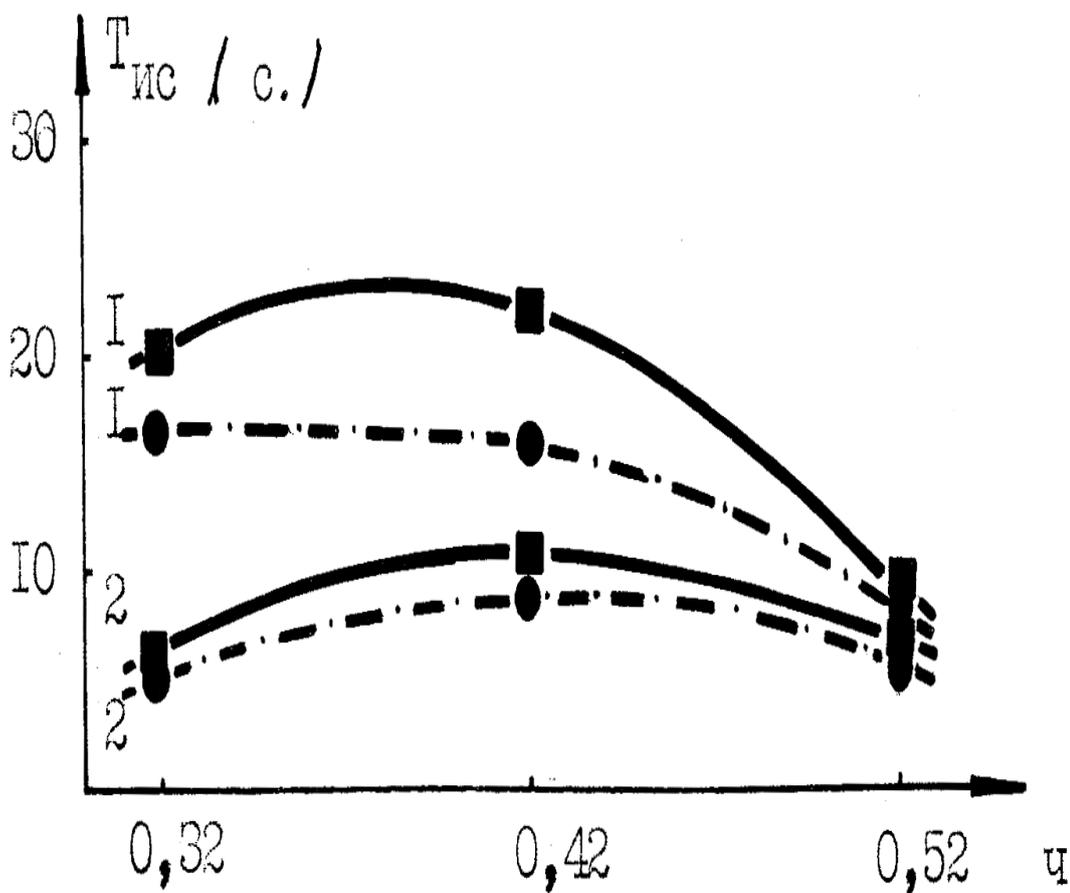


Рис. 3.1.2. Зависимость влияния доли песка q в смеси заполнителей на удобоукладываемость по истечению бетонной смеси при $\rho = 350 \text{ кг/м}^3$, $V/\rho = 0,6$.

1.1¹ – ПЦ без добавок

2.2¹ – ПЦ с $C-3=0, 6\%$ от

массы цемента

—■— T = 40°C

—●— T = 20°C.

Таблица 3.1.3.

Влияние повышенных температур на свойства бетонных смесей и бетонов

№ пп	Расход цемен- та Ц кг/м ³	В\Ц	Доля пес- ка	С-3 в (%) от масс- сы це- мен- та	Плот- ность бетон- ной смеси, кг/м ³	Осадка конуса при температуре, °С			Жесткость (с) бетонной смеси на технич. Вискозиметре при температуре, °С			Время истечения бетонной смеси на вибровис- козиметре (с) при температуре, °С			Прочность бетонов на сжатие, МПа при температуре, °С		
						25	35	45	25	35	45	25	35	45	25	35	45
1	350	0,5	0,42	0,6	2315	1,5	0,5	0	25	40	46	33	38	43	46	48	58
2	350	0,5	0,42	-	2350	0	0	0	31	47	52	40	42	45	48	51	56
3	250	0,4	0,52	-	2020	0	0	0	20	35	40	20	30	40	8	9	10
4	250	0,5	0,42	0,6	2393	0	0	0	190	270	390	30	45	52	28	32	35
5	450	0,6	0,32	1,2	2275	24	20	19	-	-	-	3	4	5	29	35	39
6	450	0,6	0,52	-	2260	20	18	12	-	-	-	7	13	25	23	29	36

* - бетонная смесь неудобоукладываемая

** - здесь даны значения времени высыпания бетонной смеси

В то же время влияние повышенной температуры на свойства бетонных смесей на ВНВ не изучено. Поэтому были проведены исследования свойств бетонных смесей на ВНВ в условиях повышенных температур. Для сравнения определялись удобоукладываемость по истечению подвижных бетонных смесей на портландцементе. Результаты исследований приведены в таблице 3.1.4. и на рис. 3.1.3. и 3.1.4.

Все составы бетонных смесей имели одинаковую начальную удобоукладываемость (подвижность составила 10см).

Как видно из результатов (см. табл. 3.1.4.) и рис. 3.1.3. и 3.1.4., характер изменения вязкости и подвижности бетонных смесей на ПЦ и ВНВ различен. Для бетонных смесей на ПЦ потери подвижности при повышении температуры сопровождается значительным увеличением времени истечения (вязкости).

Использование суперпластификатора С-3 снижает вязкость смеси, но характер зависимости сохраняется, хотя степень потери подвижности уменьшается. В бетонной смеси на ВНВ с повышением температуры заметно снижается подвижность смеси, определяемая осадкой конуса, а время истечения, характеризующее поведение смеси при вибрации изменяется очень незначительно. Тем самым подтверждается ранее выдвинутая гипотеза о положительном влиянии повышенной температуры на свойства бетонных смесей на ВНВ и целесообразности их применения в технологии бетонных и железобетонных изделий и конструкций в условиях сухого жаркого климате.

Проведенные исследования показали, что вид вяжущего, химические модификаторы и состав бетона существенно влияют на изменение свойств бетонной смеси с изменением температуры. Для проектирования состава бетона и управления производством необходимо иметь зависимости свойств бетонной смеси от различных факторов.

Таблица 3.1.4.

**Влияние повышения температуры и вида вяжущего на вязкость
(время истечения) бетонной смеси с осадкой конуса 10 см.**

№ пп	Виды вяжу- щего и расход кг/м ³	В/П или В/Вяз	Доля песка %	Добавка С-3 %	Плот- ность бетон- ной смеси кг/м ³	Темпе- ратура бетон- ной смеси °С	Время истечения бетонной смеси Тис, сек.
1						25	22
2	ПЦ 350	0,53	0,42	0	2318	35	32
3						45	47
4						25	14
5	ПЦ 350	0,48	0,42	0,6	2390	35	19,5
6						45	26,5
7						25	9
8	ВНВ 350	0,42	0,42	-	2430	35	11
9						45	13

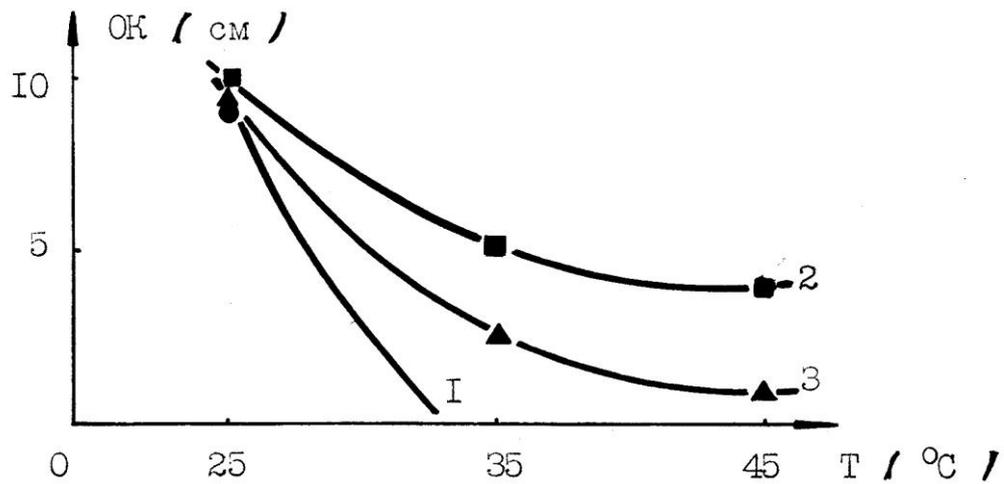


Рис. 3.1.3. Зависимость подвижности бетонной смеси от ее температуры и виды вяжущего при расхода вяжущего 350 кг/м^3 .

1. Портландцемент без добавок
2. Портландцемент с $C-3=0,6\%$ от массы цемента
3. ВНВ – 50

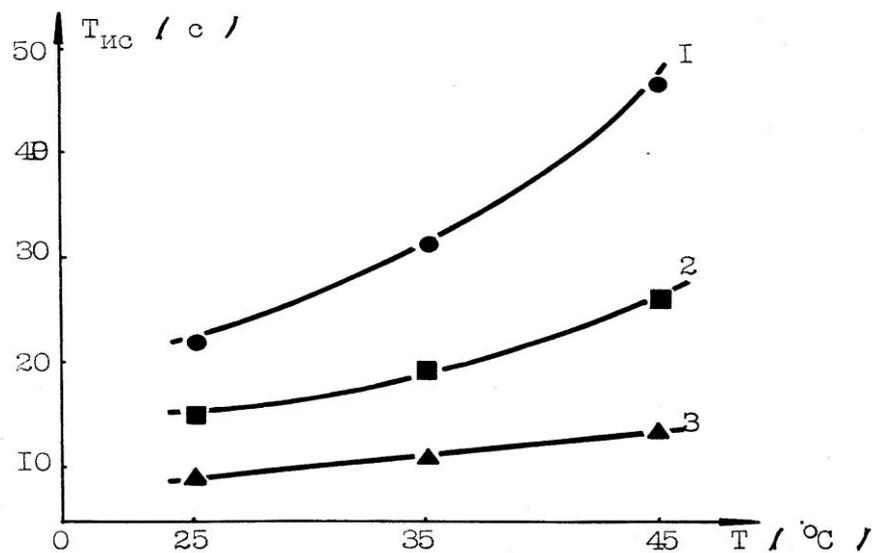


Рис. 3.1.4. Зависимость по истечению бетонной смеси от ее температуры и виды вяжущего при расхода вяжущего 350 кг/м^3 ($OK=10 \text{ см}$).

1. Портландцемент без добавок
2. Портландцемент с $C-3=0,6\%$ от массы цемента
3. ВНВ – 50.

3.2. Применение математических методов планирования эксперимента для определения основных зависимостей свойств бетонной смеси от температуры и состава.

Для экспериментального определения зависимостей свойств бетонной смеси от различных факторов использовали современные методы математического планирования эксперимента. Как известно, решение большинства оптимизационных задач в технологии бетона связано с использованием полиномов второго порядка, параметры которых оценивают опытные данные с помощью регрессионного анализа.

Изучение свойств бетонной смеси на основе ВНВ и портландцемента (П/Ц) проводили в зависимости от 4-х факторов. В качестве главных факторов принимали: расход цемента (вяжущего), водоцементное отношение, соотношение между количеством песка в смеси заполнителей, концентрацию сухого суперпластификатора С-3 и температуру бетонной смеси, интервалы варьирования устанавливали в зависимости от пределов рационального колебания факторов.

В соответствии с требованиями математического планирования эксперимента применяли план Бокса – Бенкина, обладающий, по нашему мнению, оптимальными свойствами с точки зрения объема экспериментальных работ и получаемой информации, а также отвечающей требованиям математической статистики. Теория математического планирования эксперимента позволяет определить порядок проведения экспериментов для получения количественных и качественных аналитических зависимостей между изучаемыми параметрами. Интервалы варьирования П/Ц и ВНВ приняты по предварительно проведенным экспериментам и с учетом литературных данных /11,13,19,26/.

Уровни и интервалы варьирования в 4-х факторной задаче исследования свойств бетонной смеси на портландцементе с пластифицирующей добавкой С-3 приведены в таблице 3.2.1. Доля песка в

смеси заполнителей принята равной 0,42, поскольку предварительные испытания показали, что влияние доли песка на подвижность бетонной смеси незначительно.

Уровни и интервалы варьирования в 4-х факторной задаче исследования свойств бетонной смеси и на ВНВ приведены в таблице 3.2.2.

Поскольку для бетонных смесей на ВНВ влияние доли песка на свойства смеси изучено недостаточно, в качестве одного из факторов эксперимента учитывается доля песка.

Матрица планирования в натуральных значениях переменных факторов и результаты экспериментов приведены в табл. 3.2.3. и табл. 3.2.4. для бетонных смесей на ПЦ и ВНВ соответственно.

Таблица 3.2.1.

Факторы и уровни варьирования

Факторы	Уровень варьирования			Интервалы варьирования
	-1	0	+1	
Расход цемента, Ц, кг/м ³ (X ₁)	250	350	450	100
В/Ц (X ₂)	0,4	0,5	0,6	0,1
Содержание добавки С-3, % от массы цемента (X ₃)	0	0,6	1,2	0,6
Температура смеси, Т, °С (X ₄)	25	35	45	10

Таблица 3.2.2.

Факторы и уровни варьирования

Факторы	Уровень варьирования			Интервалы варьирования
	-1	0	+1	
Расход ВНВ, кг/м ³ (X ₁)	250	350	450	100
В/Вяж (X ₂)	0,3	0,35	0,4	0,05
Доля песка, Ч (X ₃)	0,32	0,42	1,52	0,1
Температура смеси, Т, °С (X ₄)	25	35	45	10

В результате обработки данных экспериментов методом математической статистики были получены полиномиальные математические модели свойств бетонных смесей. После исключения незначимых коэффициентов регрессии и проверки на адекватность получены следующие уравнения, описывающие зависимость свойств бетонных смесей от исследуемых факторов:

$$T_{ис}^{ПЦ} = 1417,74 - 716,048 * Ц - 1642,41 * В / Ц - 182,351 * Д + 0,338799 * Т + 127,522 * Ц^2 + 592,608 * В / Ц^2 + 8,72 * Д^2 + 0,0436914 * Т^2 + 294,108 * Ц * В / Ц + 65,83 * В / Ц * Д - 1,42 * Ц * Т + 79,11 * В / Ц * Т - 1,157 * В / Ц * Т - 0,069 * Д * Т \quad (3.2.1)$$

$$T_{ис}^{ВНВ} = 2441,4 - 2,25 * ВНВ * 9892,5 * В / Вяж - 1441,4 * Ч^2 + 8 * Т + 0,001 * ВНВ^2 + 11354,4 * В / Вяж^2 + 737,1 * Ч^2 - 0,008 * Т^2 + 2,2 * ВНВ * В / Вяж + 1,3 * ВНВ * Ч + 0,00286 * ВНВ * Т + 2221,5 * ВНВ * Т - 3,6 * В / Вяж * Т - 0,001 * Ч * Т \quad (3.2.2)$$

где: T – температура смеси;

$Д$ – количество добавки С-3 в % от массы вяжущего.

Эти зависимости в графическом виде представлены на рис. 3.2.1 – 3.2.5.

Таблица 3.2.3.

**Матрица планирования и результаты эксперимента
в 4-х факторной задаче исследования свойств бетонной смеси на портландцементе**

Точки плана	Кодовые значения				Натуральные значения				Результаты эксперимента	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Ц, кг В/Ц	В/Ц	Содержание добавки С-3 %	Температура смеси Т, °С	ОК (см)	Время стечения смеси, Тис (с.)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	+1	+1	+1	+1	450	0,6	1,2	45	20	10
2	+1	+1	+1	-1	450	0,6	1,2	25	21	7
3	+1	+1	-1	+1	450	0,6	-	45	12	15
4	+1	+1	-1	-1	450	0,6	-	25	21	8
5	+1	-1	+1	+1	450	0,4	1,2	45	8	20
6	+1	-1	+1	-1	450	0,4	1,2	25	15	13
7	+1	-1	-1	+1	450	0,4	-	45	0	39
8	+1	-1	-1	-1	450	0,4	-	25	0	27
9	-1	+1	+1	+1	250	0,6	1,2	45	0	62
10	-1	+1	+1	-1	250	0,6	1,2	25	0	51
11	-1	+1	-1	+1	250	0,6	-	45	0	96
12	-1	+1	-1	-1	250	0,6	-	25	0	76

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	-1	-1	+1	+1	250	0,4	1,2	45	0	100
14	-1	-1	+1	-1	250	0,4	1,2	25	0	65
15	-1	-1	-1	+1	250	0,4	-	45	0	236
16	-1	-1	-1	-1	250	0,4	-	25	0	210
17	+1	0	0	0	450	0,5	1,6	35	9	18
18	-1	0	0	0	250	0,5	1,6	35	3	36
19	0	+1	0	0	350	0,6	1,6	35	17	11
20	0	-1	0	0	350	0,4	1,6	35	0	70
21	0	0	+1	0	350	0,5	1,2	35	11	15
22	0	0	+1	0	350	0,5	-	35	0	35
23	0	0	0	+1	350	0,5	1,6	45	,5	27
24	0	0	0	-1	350	0,5	1,6	25	11,5	15
25	0	0	0	0	350	0,5	1,6	35	7	23

Таблица 3.2.4.

**Матрица планирования и результаты эксперимента
в 4-х факторной задаче исследования свойств бетонной смеси на ВНВ – 50**

Точки плана	Кодовые значения				Натуральные значения				Результаты эксперимента	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Ц, кг В/Ц	В/Ц	Содержание добавки С-3 %	Температура смеси Т, °С	ОК (см)	Время сте - чения сме - си, Тис (с.)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	+1	+1	+1	+1	450	0,4	0,52	45	17,5	7
2	+1	+1	+1	-1	450	0,4	0,52	25	19	5
3	+1	+1	-1	+1	450	0,4	0,32	45	14	10
4	+1	+1	-1	-1	450	0,4	0,32	25	15	6
5	+1	-1	+1	+1	450	0,3	0,52	45	8	14
6	+1	-1	+1	-1	450	0,3	0,52	25	11	9
7	+1	-1	-1	+1	450	0,3	0,32	45	2	27
8	+1	-1	-1	-1	450	0,3	0,32	25	4	19
9	-1	+1	+1	+1	250	0,4	0,52	45	0	43
10	-1	+1	+1	-1	250	0,4	0,52	25	0	35
11	-1	+1	-1	+1	250	0,4	0,32	45	0	67
12	-1	+1	-1	-1	250	0,4	0,32	25	0	52

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	-1	-1	+1	+1	250	0,3	0,52	45	0	70
14	-1	-1	+1	-1	250	0,3	0,52	25	0	45
15	-1	-1	-1	+1	250	0,3	0,32	45	0	165
16	-1	-1	-1	-1	250	0,3	0,32	25	0	147
17	+1	0	0	0	450	0,35	0,42	35	7	13
18	-1	0	0	0	250	0,35	0,42	35	2,5	25
19	0	+1	0	0	350	0,4	0,42	35	13	8
20	0	-1	0	0	350	0,3	0,42	35	0	49
21	0	0	+1	0	350	0,35	0,52	35	11	10
22	0	0	+1	0	350	0,35	0,32	35	2,5	25
23	0	0	0	+1	350	0,35	0,42	45	3,5	19
24	0	0	0	-1	350	0,35	0,42	25	13	11
25	0	0	0	0	350	0,35	0,42	35	6	16

На графиках показано влияние на свойства бетонных смесей на портландцементе с пластифицирующими добавками на ВНВ состава смеси и температуры приготовления.

С помощью этих зависимостей можно реализовать задачу рационального выбора параметров для получения бетонных смесей для массового применения в строительстве в условиях сухого жаркого климата.

Как следует из данных табл. 3.2.3., 3.2.4., повышение температуры снижает удобоукладываемость бетонных смесей на портландцементе и на ВНВ – 50.

В бетонных смесях на портландцементе при повышении температуры снижается подвижность и повышается жесткость смеси. Введение суперпластификатора С-3 позволяет получать подвижные смеси при В/Ц = 0,5 и более и расходе цемента более 300 кг/м³.

Из рис. 3.2.1. следует, что на время истечения бетонной смеси, определяемой на специальном приборе (см.гл.2), оказывает влияние те же факторы. С повышением температуры при расходе вяжущего 350 кг/м³ и более время истечения смеси заметно увеличивается.

Повышение температуры увеличивает время истечения, однако введение добавки С-3 в количестве 0,6% и 1,2% от массы цемента несколько компенсирует отрицательное влияние температуры (рис. 3.2.4.).

В бетонных смесях на ВНВ удобоукладываемость, определяемая по времени истечения при повышении температуры изменяется в меньшей степени, чем в бетонных смесях на портландцементе и на портландцементе с добавкой суперпластификатора С-3.

Из рис. 3.2.1. видно, что при одинаковой подвижности бетонной смеси имеет место разное время истечения. При 45°С время истечения смесей на ВНВ в 2 раза меньше, чем смеси на ПЦ.

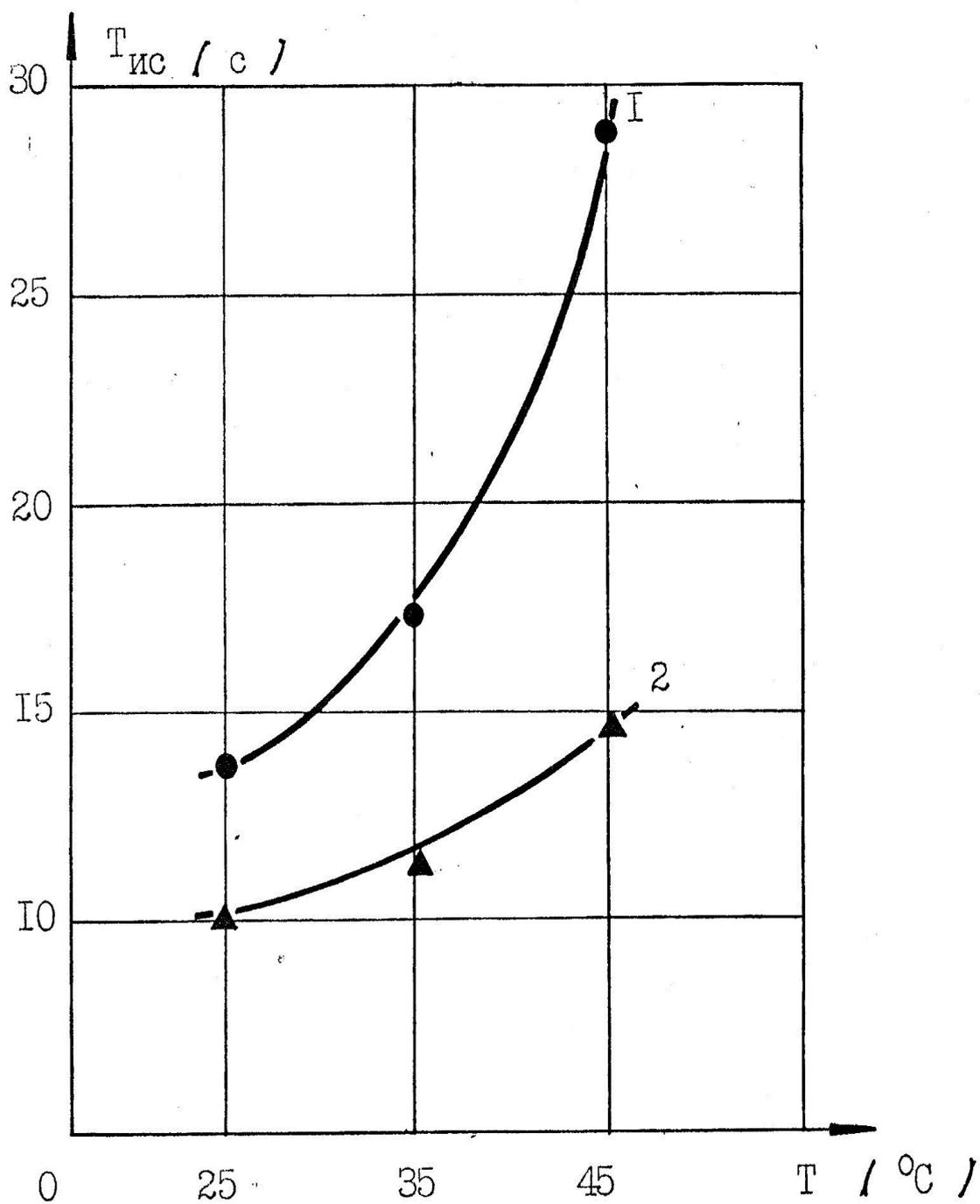


Рис. 3.2.1. Зависимость времени истечения бетонной смеси от ее температуры (расход вяжущего 350 кг/м^3 , $\mu=0,42$.)

1. Портландцемент с $S-3=0,6\%$ от массы цемента.
2. ВНВ – 50

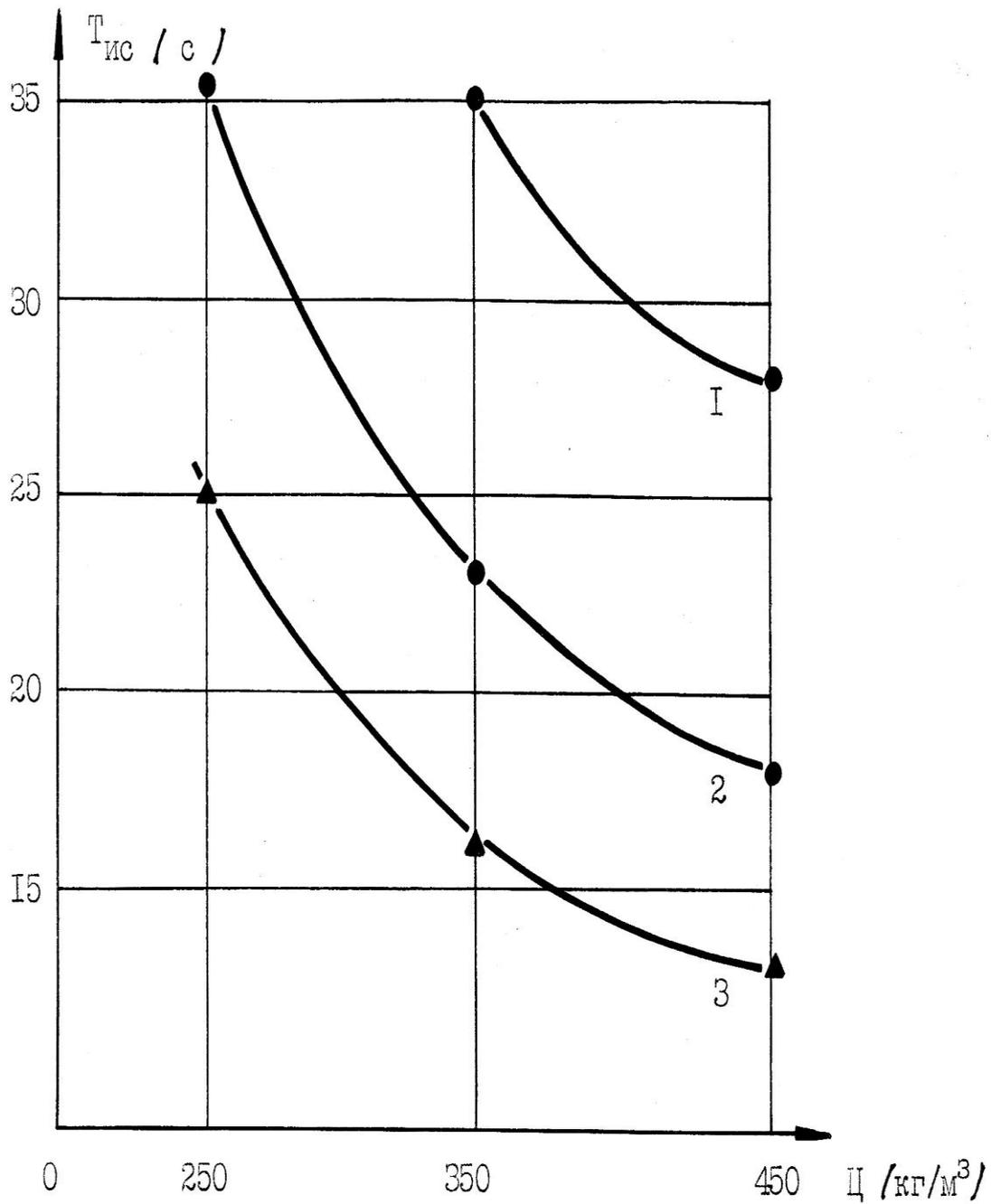


Рис. 3.2.2. Зависимость времени истечения бетонной смеси от расход вяжущего ($T=35^{\circ}\text{C}$; $w=0,42$.)

1. Портландцемент

2. Портландцемент с С-3=0,6% от массы цемента.

3. ВНВ – 50

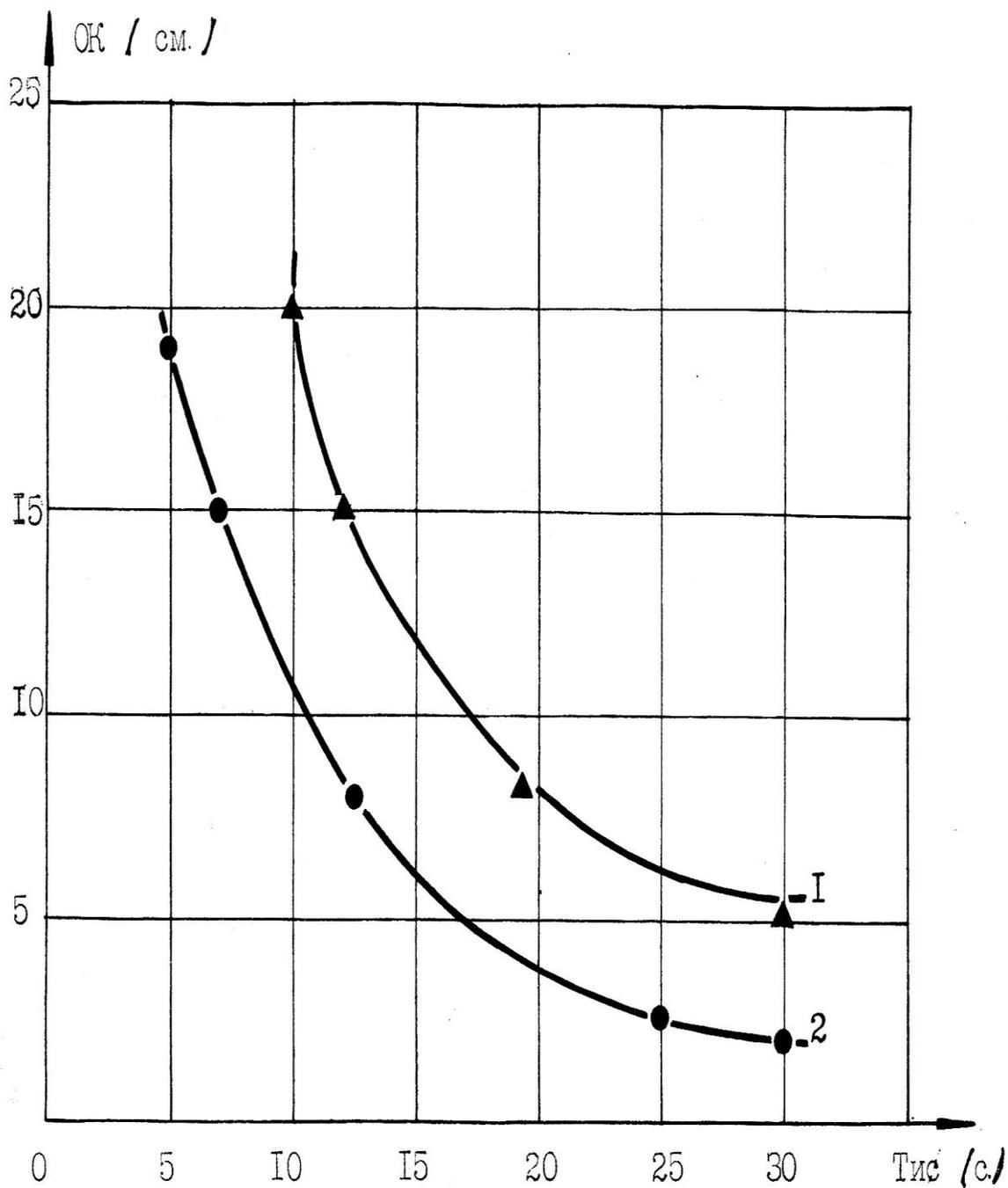


Рис. 3.2.3. Зависимость времени истечения бетонной смеси на ВНВ от времени истечения ($VNB=450 \text{ кг/м}^3$, $\mu=0,42$).

1. Портландцемент с $C-3=0,6\%$ от массы цемента.
2. ВНВ.

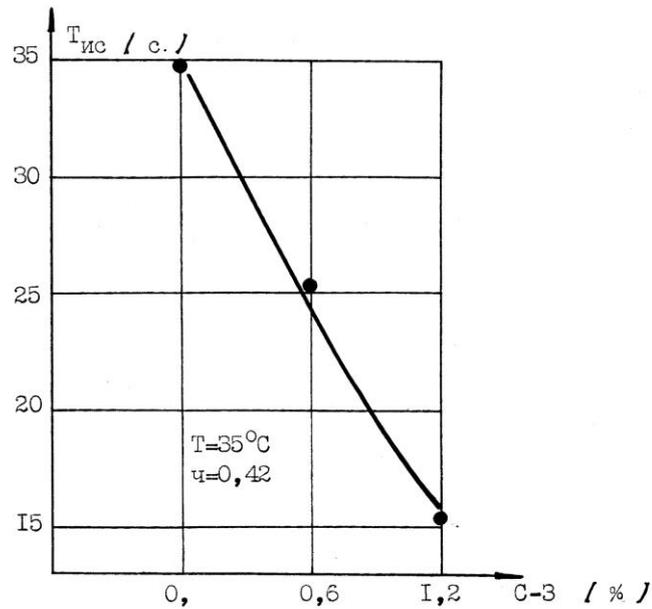


Рис. 3.2.4. Зависимость времени истечения бетонной смеси на ПЦ от расхода добавки С-3 ($\rho = 350 \text{ кг/м}^3$).

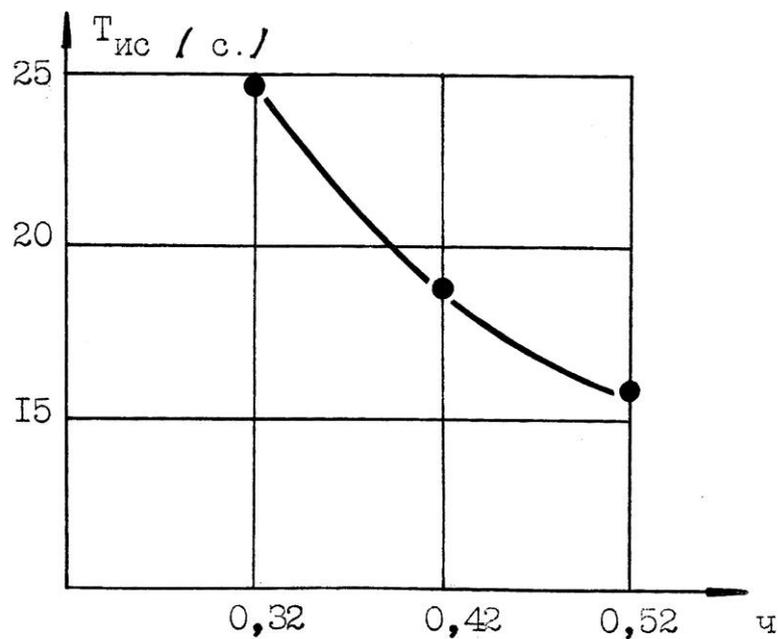


Рис. 3.2.5. Зависимость времени истечения бетонной смеси на ВНВ – 50 от доли песка ($\rho = 350 \text{ кг/м}^3$, $T = 35^\circ\text{C}$).

Как видно из рис. 3.2.2. и 3.2.3. с увеличением расхода вяжущего при постоянном В/Ц улучшается удобоукладываемость бетонной смеси и уменьшается время истечения. С повышением температуры бетонной смеси до 45°С не зависимо от состава, существенно увеличивается соотношение между изменением осадки конуса и вязкостью смеси (временем истечения). Как показано на рис. 3.2.5. с увеличением доли песка в заполнителе (Ч) от 0,32 до 0,42 происходит понижение вязкости бетонной смеси; дальнейшее увеличение Ч, до 0,52 изменяет показатели истечения в меньшей степени. Таким образом, подтверждается вывод, сделанный ранее (рис. 3.2.1.), что более полно поведение бетонной смеси на ВНВ при формовании изделий при различных температурах определяется по времени истечения через калиброванное отверстие специального прибора (рис. 2.2.1.).

3.3. Определение коэффициента тиксотропии бетонной смеси на ВНВ и ТМЦ.

При соединении цемента и заполнителя с водой возникают силы взаимодействия между разделочными частицами твердой фазы, которые придают бетонной смеси определенную связанность и определяют ее подвижность. Силы взаимодействия зависят как от размеров частиц твердой фазы, так и от объема жидкой фазы, ее природы, наличия в ней ионов других веществ, величины поверхностного натяжения (6). Эти силы подразделяют на механические для частиц 1... 40 мм, коллопиллярные – 0,1 ... 1 мм, флокуляционные – $2 \cdot 10^{-4}$...0,1 мм и коллоидные – 10^{-6} ... $2 \cdot 10^{-4}$ мм. Баланс сил и их величина определяют подвижность и удобоукладываемость бетонной смеси.

Структура бетонной смеси и силы внутреннего сцепления могут претерпевать значительные изменения при воздействии внешних сил, например, вибрации. Под ее действием нарушаются внутренние связи, ослабевает внутреннее сцепление и бетонная смесь приобретает

способность растекаться, как тяжелая жидкость. Это явление получило название тиксотропия. Оно широко используется в технологии бетона при формировании бетонных и железобетонных изделий и конструкций. Бетонные смеси на разных вяжущих, разного состава и особенно в присутствии различных пластификаторов проявляют разную степень тиксотропии. Обычно с тиксотропии бетонной смеси можно судить по ее реологической кривой. Однако получение этой кривой требует применения специальных методик и приборов (рис. 3.3.1.).

Нами был предложен упрощенный способ определения тиксотропии, когда сравниваются усилия выдергивания стержня с шариком на конце стержня из бетонной смеси с ненарушенной структурой (P_{B1} в кгс/см²) и из бетонной смеси с предельно разрушенной в результате воздействия вибрации структурой (P_{B2}). Условный коэффициент тиксотропии $K_{\text{тик}} = P_{B1}/P_{B2}$ будет ориентировочно характеризовать поведение бетонной смеси при воздействии вибрации. Чем он выше, тем выше эффективность вибрационного воздействия.

В табл. 3.3.1. приведены результаты опытов по влиянию на коэффициент тиксотропии вида вяжущего и температуры бетонной смеси. Эти результаты показывают, что бетонные смеси на ВНВ и ТМЦ имеют повышенное внутреннее сцепление в первоначальной ненарушенной структуре.

При воздействии вибрации эти смеси резко теряют внутреннее сцепление, проявляя повышенную тиксотропию, что подтверждает высказанную рабочую гипотезу. В результате эти смеси достаточно хорошо укладываются и уплотняются при вибрационном воздействии. Температура в меньшей мере влияет на внутреннее сцепление бетонных смесей на ВНВ и ТМЦ по сравнению с бетонными смесями на портландцементе.

Эти свойства бетонных смесей на ВНВ и ТМЦ подтверждают их высокую пригодность к применению в условиях сухого жаркого климата.

Таблица 3.3.1.

Влияние на коэффициент тиксотропии вида вяжущего и температуры бетонной смеси

Вид вяжущего расход кг/м ³	В/Вяз	Добавка С-3 в %	Ок (см)	Усилия выдергивания в кгс/см ² при температуры °С			Условный коэффициент тиксотропии Ктик, при температуре, °С		
				25	35	45	25	35	45
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПЦ-400	0,61	-	11	$\frac{12,4}{0,77}$	$\frac{23,8}{0,95}$	$\frac{36,1}{0,95}$	16,1	27,3	38
350	0,52	0,6	10	$\frac{21,1}{0,75}$	$\frac{36,8}{0,85}$	$\frac{43,3}{0,98}$	28,1	43,3	44,2
ВНВ-50 350	0,39	-	12	$\frac{26,7}{0,43}$	$\frac{44,1}{0,41}$	$\frac{47,4}{0,45}$	62,1	107,5	108,3
ТМЦ-50 350	0,53	-	10	$\frac{13,2}{0,55}$	$\frac{17,5}{0,59}$	$\frac{32,6}{0,61}$	24	29,6	53
	0,43	1	12	$\frac{21,5}{0,47}$	$\frac{31,1}{0,49}$	$\frac{36,2}{0,51}$	45,7	63,5	71

R_{B1} – усилия выдергивания без вибрации;

R_{B2} – усилия выдергивания с вибрацией.

3.4. Влияние повышения температуры на жизнеспособность (сохраняемость) бетонной смеси и её водопотери.

Исследование сохраняемости бетонных смесей осуществлялось в специальной установке. Приготовленная бетонная смесь перегружалась в специальный цилиндр, в котором поддерживалась фиксированная температура 25°C, 35°C и 45°C при относительной влажности наружного воздуха 45-60%.

Удобоукладываемость бетонной смеси в течение 2-3^x часов определялась через каждые 15 мин, что при начальной удобоукладываемости соответственно (ОК=10см).

Бетонные смеси на ВНВ-50 с расходом вяжущего 350 кг/м³ сохраняют удобоукладываемость в течение от 1,5 до 1,75 часов. За это время бетонная смесь на основе ВНВ-50 снижает показатель удобоукладываемости на 30%.

Такому же снижению (30%) соответствует выдерживание бетонной смеси на основе П/Ц в течение 45 минут с одинаковыми начальными показателями ОК.

Исследовалась сохраняемость бетонных смесей при их выдерживании в открытых поддонах при относительной влажности 60-70% и температуре 25°C, 35°C и 45°C, а также при постоянном виброперемешивании.

Оценка удобоукладываемости, определяемая по величине осадки конуса и методом истечения производилась непосредственно после приготовления и выгрузки смеси, т.е. без дополнительного выдерживания и последующего перемешивания, и далее через определенные промежутки времени при выдерживании в соответствующих фиксированных повышенных температурных условиях. Водопотери бетонных смесей определялись весовым методом.

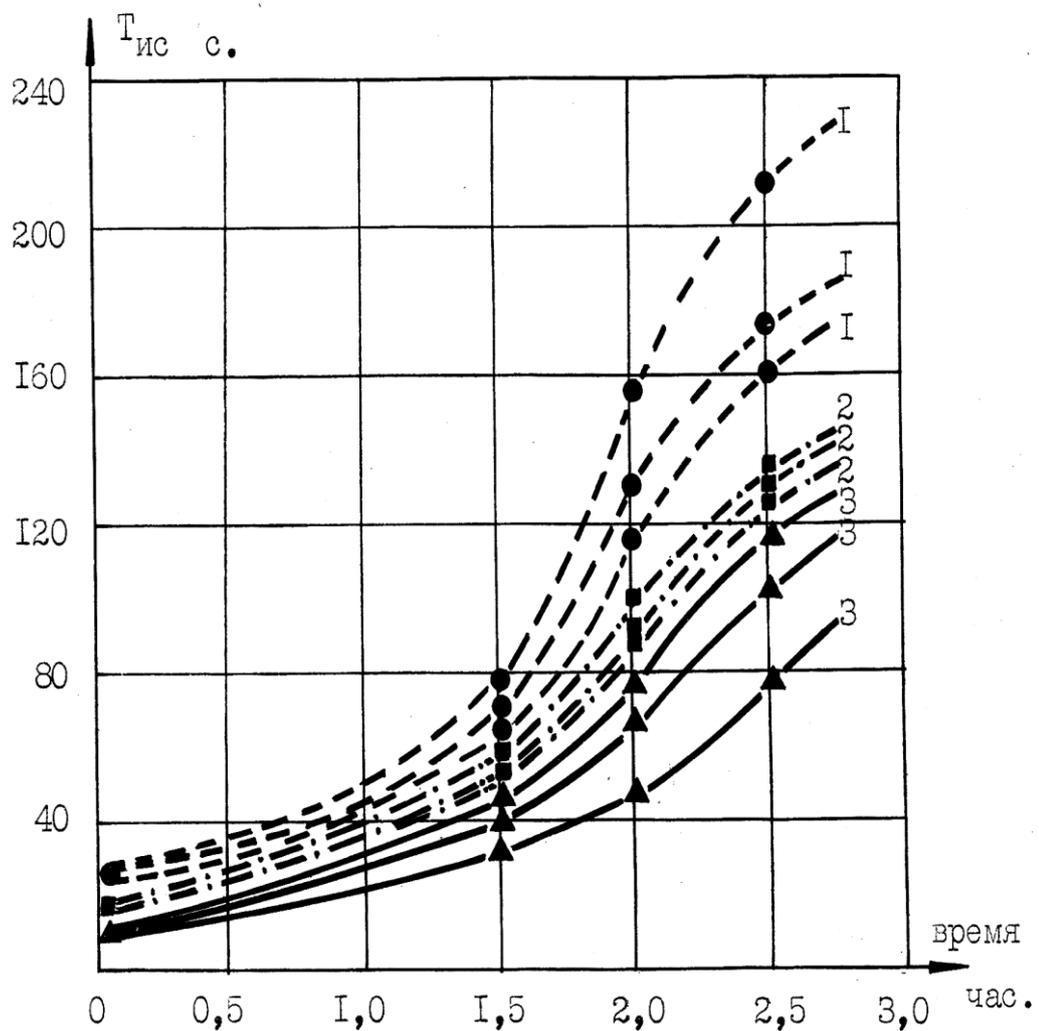


Рис. 3.4.1. Зависимость изменение удобоукладываемости бетонной смеси во время испытания $OK = 10$ см.

1, 2, 3 – бетонная смеси при $T=25^{\circ}C$

1, 2, 3 – бетонная смеси при $T=35^{\circ}C$

1, 2, 3 – бетонная смеси при $T=45^{\circ}C$

составы:

ПЦ, 1:2, 2:3, 04 с С-3=0,6% от массы цемента

ТМЦ, 1:2, 3:3, 17 с С-3=1% от массы цемента

ВНВ, 1:2, 33:3, 27.

Результаты эксперимента с бетонными смесями на ВНВ – 50 опытно промышленных партий и на основе здобуновского портландцемента показывают, что интенсивность снижения подвижности бетонных смесей на ВНВ незначительно зависит от начальной осадки конуса: темпы снижения подвижности у смесей на ВНВ и портландцементе с пластифицирующими добавками практически одинаковы, что свидетельствует о снижении роли седиментационных процессов.

Выдерживание смесей при повышенной температуре закономерно увеличивает темп снижения подвижности. при постоянном виброперемешивании наблюдается аналогичный эффект, установленный по величине времени истечения смесей (рис. 3.4.2.).

Таблица 3.4.1.

Изменение удобоукладываемости бетонных смесей во времени на ВНВ и портландцементе с пластифицирующими добавками

№ пп	Вяжущее	Время, мин.	Ок (см) при температуре выдерживания смеси, °С		Время истечения смеси (с), при температуре выдерживания смеси, °С	
			20	35	20	35
1	Здолбуновс- кий портланд- цемент	0	8,0	8,5	10	14
2		30	5,5	5,0	19	26
3		60	3,5	1,5	24	30
4		90	2,5	0	39	61
5		120	1,2	0	102	137
6	ВНВ – 50	0	18,0	19,5	7	19
7		30	7,5	5,0	12	30,0
8		60	0,5	0	17	43,0

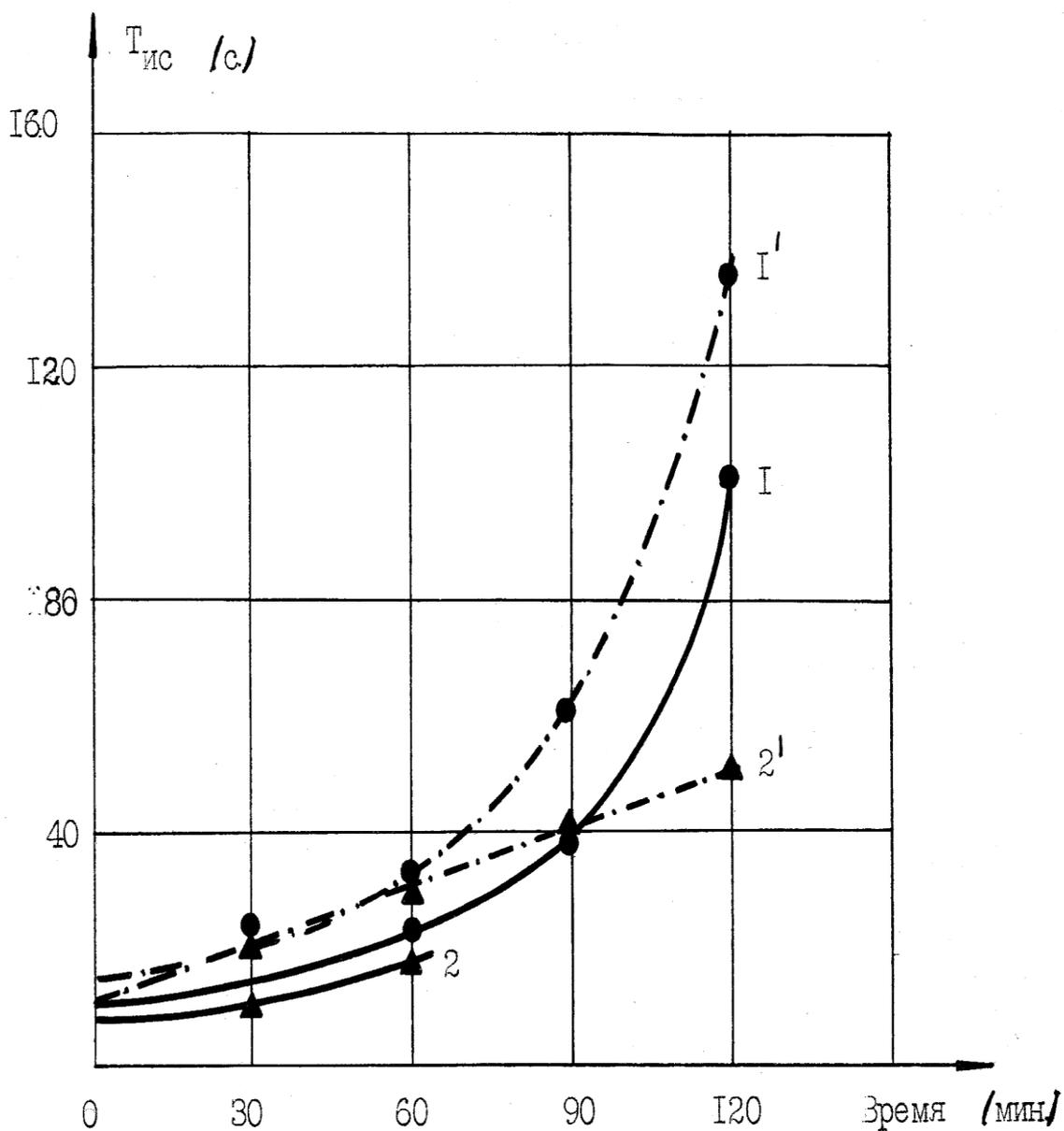


Рис.3.4.2. Зависимость изменения удобоукладываемости бетонных смесей от времени выдерживания.

1 – бетонная смесь на ПЦ при $T=25^{\circ}\text{C}$

1' – бетонная смесь на ПЦ при $T=35^{\circ}\text{C}$

2 – бетонная смесь на ВНВ при $T=25^{\circ}\text{C}$

2' – бетонная смесь на ВНВ при $T=35^{\circ}\text{C}$.

Результаты исследований бетонных смесей на ВНВ и портландцемента с пластифицирующими добавками показывают (табл. 3.4.1.), что потеря (подвижность) удобоукладываемости ускоряется с повышением температуры смеси в соответствии с ускорением времени начала схватывания ВНВ – 50 и ПЦ – 400. Однако смеси на ВНВ – 50 и портландцементе (рис. 3.4.3) характеризуются существенным отличием потери воды затворения по времени.

Исходя из этого можно предположить, что отмечаемое в данном случае ускорение потери удобоукладываемости (подвижности) бетонных смесей на ВНВ обусловлена не только сокращенными сроками их схватывания, но и особенностями гидратации и формированием первичной структуры бетона, в частности, характером связи воды в бетоне.

Из приведенных в таблице 3.4.2. данных следует, что наименьшими водопотерями (Δw), сопоставимыми с водопотерями смесей на портландцементе, характеризуется смесь на ВНВ при 20°C, что соответствует его высокой сохранности (рис. 3.4.4).

Таблица 3.4.2.

**Влагопотери бетонных смесей
при различных температурных выдерживаниях.**

№ пп	Вяжущее	Время, мин.	T = 20°C		T = 35°C	
			ΔW , г/л	$\Delta W/W$, %	ΔW , г/л	$\Delta W/W$, %
1	Навоинский портланд- цемент	35	3,2	1,7	6,4	3,2
2		65	3,6	1,8	12,8	6,5
3		90	4,7	2,4	19,2	9,8
4		120	6,5	3,3	27,8	14,1
5		35	4,4	2,7	5,2	3,2
6	ВНВ – 50	65	-	-	10,3	6,3
7		95	40,5	6,4	17,7	10,8
8		135	11,5	7,0	26,7	16,3

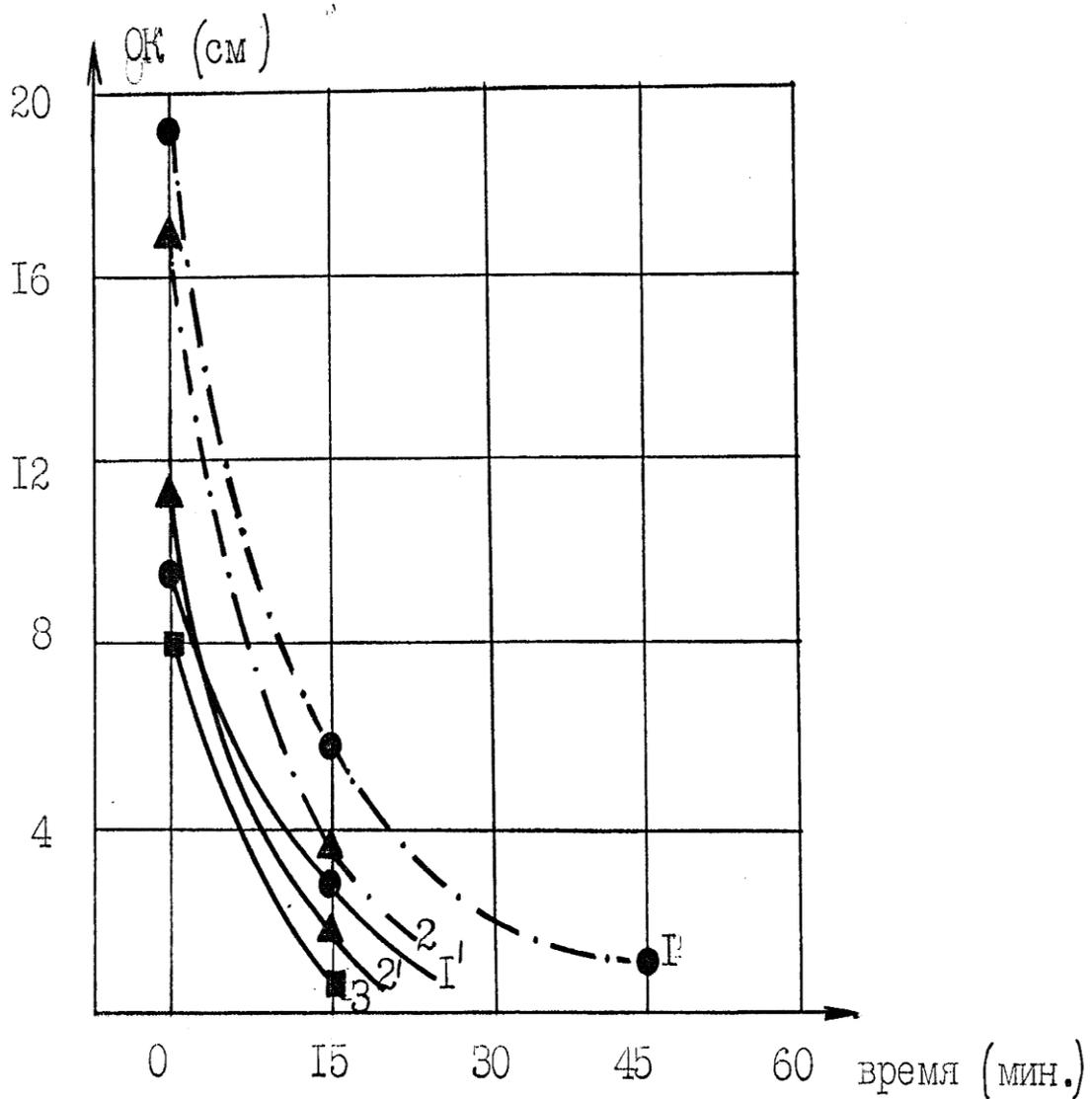


Рис. 3.4.3. Зависимость изменения подвижности бетонных смесей от условия выдерживания.

1, 1' – бетонная смесь на ПЦ с $C-3=0,6\%$ массы цемент

2, 2' – бетонная смесь на ВНВ – 50

3 – бетонная смесь на ВНВ – 50 при постоянном перемешивании.

— — — — — бетонная смесь при $T=25^{\circ}C$

————— бетонная смесь при $T=35^{\circ}C$.

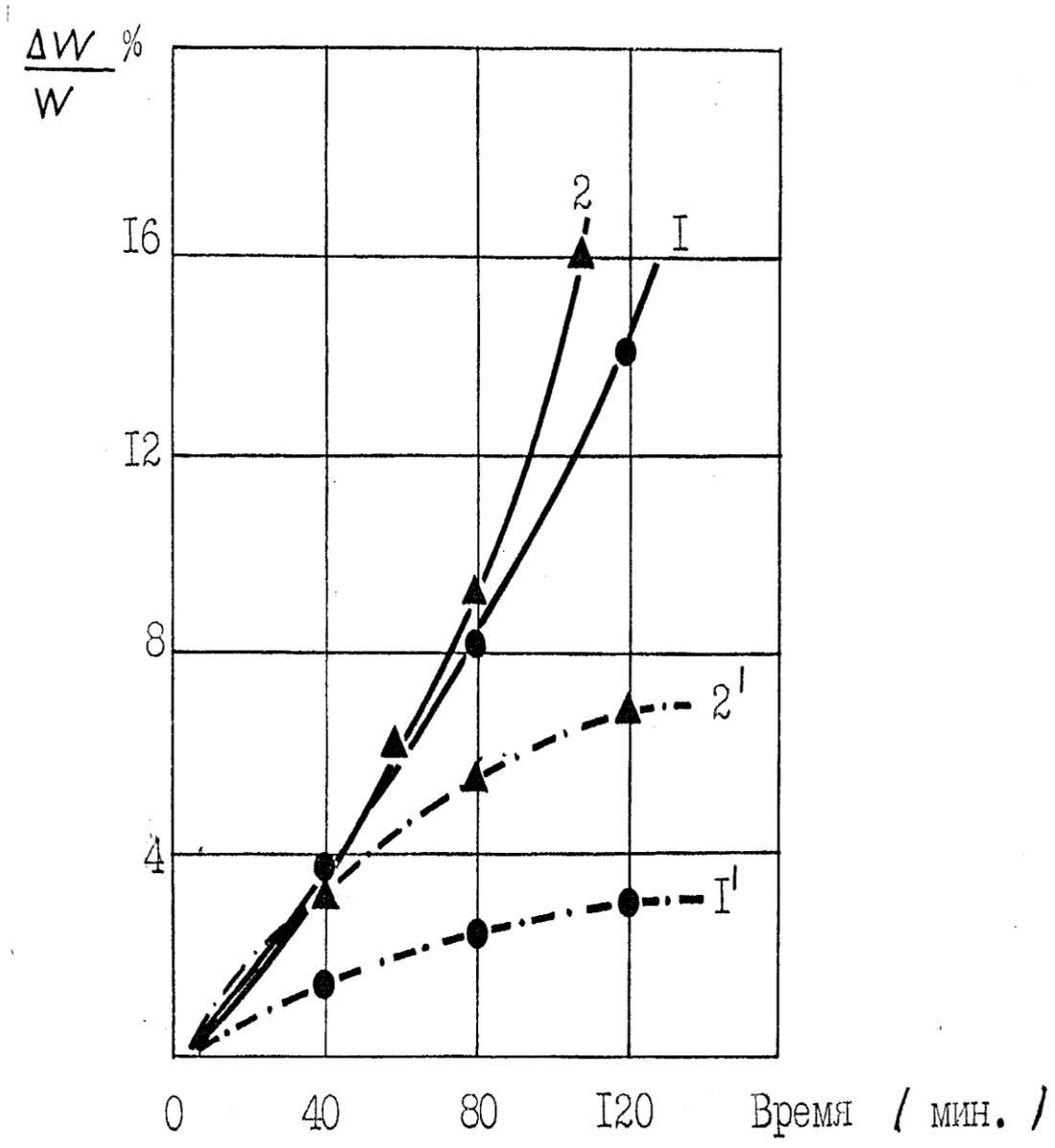


Рис. 3.4.4. Зависимость потери бетонной смеси воды затворения по времени в зависимости от температуры и вида вяжущего.

- — — — — бетонная смесь при $T=20^{\circ}\text{C}$
- бетонная смесь при $T=35^{\circ}\text{C}$
- 1, 1' — бетонная смесь на ПЦ
- 2, 2' — бетонная смесь на ВНВ

3.5. Влияние температуры на расслаиваемость бетонной смеси.

В соответствии с (31), чем больше вязкость растворной части и чем меньше крупность зерен, тем меньше вероятность расслаивания. Для выявления условий нераслаиваемости смеси преклонена зависимость:

$$Q_1 \leq Q_2 \quad (3.5.1)$$

где

Q_1 – сила, перемещающая зерно, кгс;

Q_2 – сила, препятствующая перемещению зерна, кгс;

$$Q_1 = \frac{\pi}{6} \cdot D^3 \cdot (\gamma_{ср.кр} - \gamma_{ср.р}) \quad (3.5.2)$$

$$Q_2 = \varphi \pi D^2 \cdot \tau_{пред} \quad (3.5.3)$$

где

D – усредненный диаметр зерна щебня, см;

$\varphi_{ср.кр}$; $\varphi_{ср.р}$ – средняя плотность соответственно крупного заполнителя и раствора, кг/см²

φ – коэффициент формы;

$\tau_{пред}$ – предельное напряжение сдвига раствора.

Весьма эффективным мероприятием для уменьшения расслоения бетонной смеси является тщательный подбор состава смеси заполнителей (щебень, гравий, песок) с целью максимального уменьшения размеров пространств, в которых может происходить седиментация цементной пасты между частицами заполнителя.

Как в пластифицированных, так и не пластифицированных литых смесях доля песка в смеси заполнителей выбирается более высокой, чем в

обычных бетонах и уменьшается по мере увеличения содержания цемента (98).

Большое влияние на водоудерживающую способность бетонной смеси оказывают вид применяемого цемента. Использование цементов с пониженной нормальной плотностью увеличивает расслаиваемость бетонных смесей.

С увеличением тонкости помола цемента водоудерживающая способность смеси возрастает.

Изучить закономерности расслаивания бетонных смесей возможно только при условии разработки объективных способов оценки протекания процесса.

Широко известны методы косвенного определения расслаиваемости цементных смесей по определению их водоудерживающей способности. Из них наиболее распространенными являются методы стационарного отстаивания смесей в вертикальных емкостях.

В соответствии с /30/, водоотделение бетонной смеси, характеризующее ее связность в состоянии покоя, определяют после отстаивания в цилиндрическом сосуде. Отделившуюся воду собирают пипеткой в стакан и взвешивают. Водоотделение характеризуют массой воды в граммах, отделившейся за 1,5 часа, отнесенной к объему сосуда в литрах.

Все применяемые способы определения расслаиваемых цементных композиций при наличии определенных преимуществ имеют ряд существенных недостатков.

Так, например, способы определения водоотделения путем стационарного отстаивания в вертикальных емкостях, а также способы наблюдения за датчиками, помещенными в исследуемую смесь, характеризуются отсутствием оперативности в проведении испытания и не позволяют наблюдать процессы перераспределения влаги, протекающие до достижения верхней границы водоудерживающей способности.

Способы, основанные на определении водоудерживающей способности цементных смесей, как правило, требуют длительных испытаний, не обеспечивают высокой степени точности из-за возможных потерь отделившейся воды в окружающую среду.

Методы послойного отбора проб, обеспечивая возможность проведения широкого анализа, вместе с тем весьма трудоемки. Испытания, основанные на констатации изменения физических свойств, на высоте расслаивающегося образца, приемлемы только для исследования бетонных смесей с высокой степенью раствор отделения.

По классификации Ребиндера П.А. /23/ пластификаторы представляют собой третий вид поверхностно-активных веществ - диспергаторы-стабилизаторы, образующие в результате адсорбции на поверхности раздела твердой и жидкой фаз структурированную пленку. Одновременно добавки-пластификаторы, разрушая пространственную сетку, снижают количество жидкой среды, не связанной молекулярными силами, но механически удерживаемой в ячейках структуры /89/.

Таким образом, разжижающий эффект, обусловленный СП приводит к существенному снижению толщины сольватных оболочек и образованию дополнительного количества свободной воды.

В связи с этим, исследование было направлено на разработку эффективной технологии для применения бетонных смесей в условиях сухого жаркого климата, и приготовления литых бетонных смесей на основе ВНВ и ТМЦ-8 с повышенной стойкостью к расслаиванию.

Очевидно, имеется необходимость разработки новых более совершенных способов исследования процессов расслаивания в различных многокомпонентных тонкомолотых вяжущих композициях.

Для определения расслаиваемой при различных температурах бетонных смесей с повышенной точностью, применялось специально разработанное устройство, представляющее собой цилиндрическую ёмкость.

Раствор отделение производилось одновременно виброуплотнителем исследуемой бетонной смеси путем просева бетонных смесей, уложенных на сито с ячейками размером 50 мм, определение показателя раствор отделения определялось путем измерения объема массы отделившихся растворов из бетонной смеси в течение 3 минут.

Описание устройства и методы определения раствор отделителя приведены в главе II. Результаты измерений уровня расслаиваемости (раствор отделения), бетонных смесей на основе различных вяжущих приведены в таблице 3.5.1.

Предложенные устройства позволяют определять массу отделившегося раствора из бетонной смеси в процессе раствор отделения с повышенной точностью, и значительно сократить продолжительность и трудоемкость проведения испытаний.

Были исследованы процессы раствор отделения подвижной и жесткой бетонной смеси при использовании данных методик. Исследование раствор отделения бетонной смеси с консистенцией, соответствующей величине жесткости более 60 с (по техническому вискозиметру) с использованием данных методик не представляется возможным, т.к. во время испытания из цилиндра вытекает.

Исследование закономерностей процесса расслаиваемости бетонных смесей производилось разработанным методом, беря во внимание, что бетонная смесь на основе ВНВ и ТМЦ при повышении температуры и при воздействии вибрации разжижается очень значительно.

Таблица 3.5.1

**Расход материалов и результаты исследования растворов отделения
бетонной смеси**

№ № ПП	Расход материалов кг/м ³				В/В яж	С-3 в% От мас- сы вяжу щего	ОК (см)	Плот ность бетон ной смеси кг/м ³	Отделившийся раствор от бетонной смеси, % при температуре °С		
	Ц	В	П	Щ					25	35	45
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Портландцемент - 400											
1	350	175	778	1074	0,5	-	1	2350	5,21	4,89	3,72
2	350	222,5	725	1000	0,04	-	12	2260	9,7	9,29	8,43
3	350	235	713	984	0,67	-	20	2255	16,35	14,52	14,08
4	350	175	778	1084	0,5	0,6	2	2310	7,25	6,49	5,48
5	350	180	870	1064	0,52	0,6	10	2245	8,13	8,0	7,79
6	350	210	740	1021	0,6	0,6	20	2235	19,18	17,6	14,9
ВНВ – 50											
7	350	135	824	1140	0,38	-	1	2375	4,36	4,0	3,8
8	350	140	816	1127	0,4	-	10	2395	6,26	6,0	5,38
9	350	175	778	1074	0,5	-	20	2285	15,7	14,5	13,6
ТМЦ – 50											
10	350	175	778	1074	0,5	-	1	2300	5,79	5,28	5,08
11	350	190	758	1047	0,55	-	10	2295	10,45	9,5	9,07
12	350	210	740	1021	0,6	-	10	2250	17,5	19,3	16,9
13	350	146	812	1126	0,42	1	1,5	1205	8,5	7,9	7,59
14	350	160	805	1111	0,47	1	10	2295	9,47	8,7	8,3
15	350	180	778	1074	0,52	1	20	2270	14,76	14,04	13,05
16	350	144	824	1140	0,39	2	1,5	2296	5,17	4,4	3,9
17	350	146	816	1127	0,42	2	10	2380	5,98	5,20	5,5
18	350	175	778	1074	0,5	2	20	2320	14,5	14,0	13,89

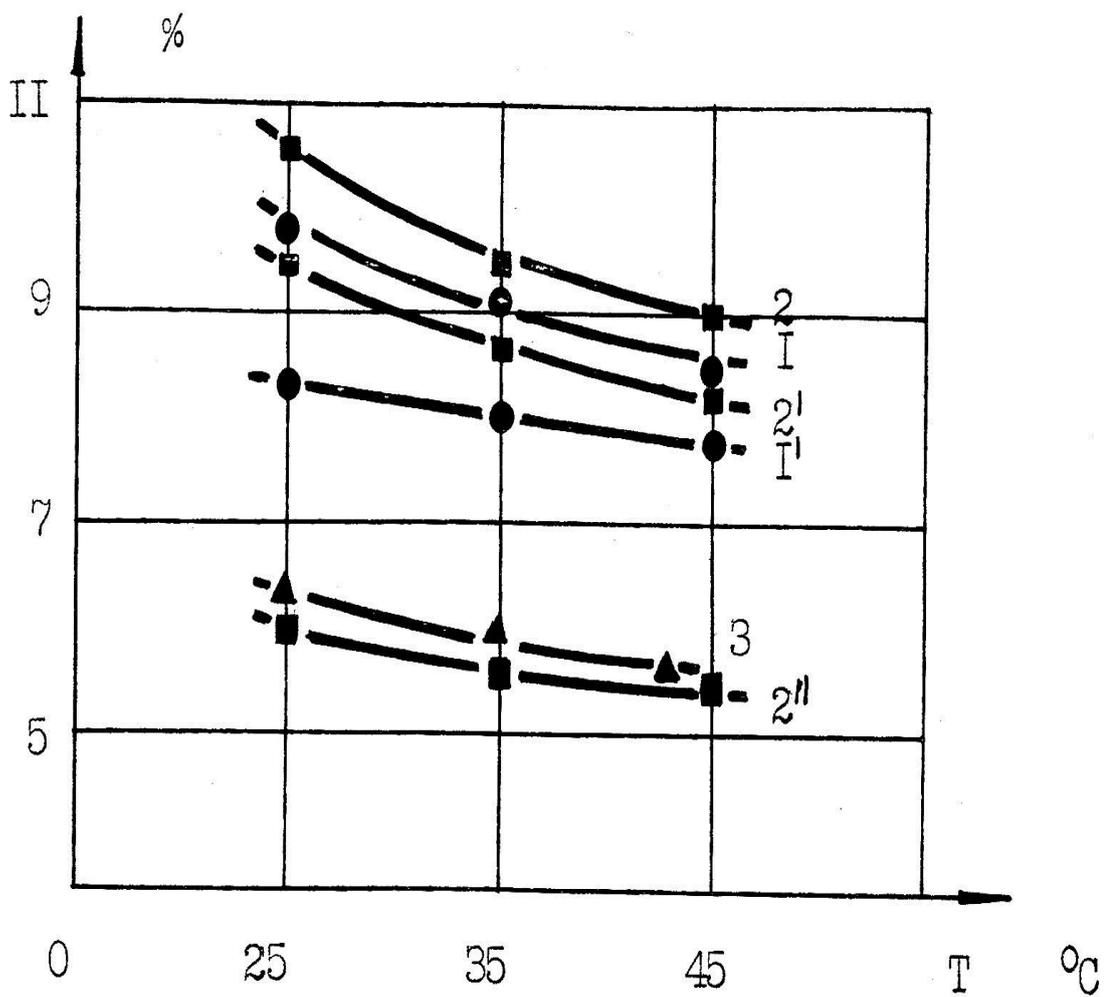


Рис. 3.5.1. Зависимость расфазирования подвижных бетонных смесей от ее температуры.

- 1 – портландцемент без добавок
- 1' – портландцемент с $C-3=0,6\%$ от массы цемента
- 2 – ТМЦ – 50 без добавок
- 2' – ТМЦ с – 50 $C-3=1\%$ от массы вяжущего
- 2'' – ТМЦ с – 50 $C-3=2\%$ от массы вяжущего
- 3 – ВНВ – 50.

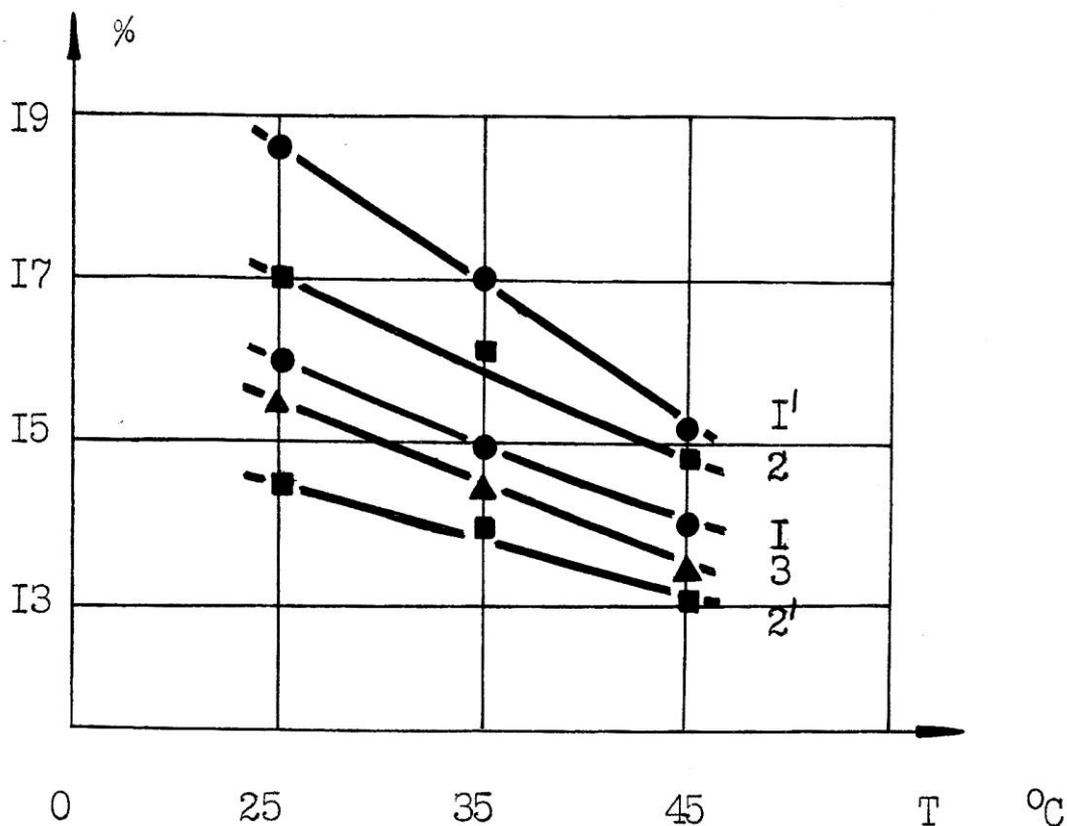


Рис. 3.5.2. Зависимость раствооротделения литых бетонных смесей от ее температуры.

1 – портландцемент без добавок

1' – портландцемент с С-3=0,6% от массы цемента

2 – ТМЦ – 50 без добавок

2' – ТМЦ с – 50 С-3=1% от массы вяжущего

3 – ВНВ – 50.

Таким образом, при повышении температуры не наблюдается резкого скачка снижения показателей раствооротделения бетонных смесей на различных вяжущих. Повышение температуры в большой степени влияет на литые бетонные смеси, более значительно снижение показателя раствооротделения.

Глава IV. БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ТМЦ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА.

4.1. Исследование влияния составов и температуры на прочностные характеристики бетонов.

Отечественные и зарубежные исследователи ставили задачу выявления влияния состава бетона, водоцементного отношения, подвижности бетонной смеси, вида переменяемого цемента и других технологических факторов на начальную подвижность бетонной смеси в зависимости от ее температуры.

Данные, приведенные в работе, показывают, что удобоукладываемое смеси одного и того же состава определяется ее начальной температурой, которая в летнее время при отсутствии надлежащих мероприятий может повышаться до 35-45⁰С за счет нагрева заполнителей, воды, а также металлических емкостей, в которых смесь транспортируется.

Авторы пришли к выводу, что обеспечить отпускную и сохранить требуемую подвижность, можно в основном за счет охлаждения бетонной смеси или применения поверхностно – активных добавок типа СДБ с повышенной их дозировкой /6/.

В условиях сухого жаркого климата одним из определяющих параметров температурного состояния бетона является степень разогрева, которую целесообразно характеризовать величиной превышения температуры, изменяющейся в широких пределах в зависимости от климатических условий и вида конструкций /119/.

В этих условиях заслуживают внимания использование комплексных добавок, включающие суперпластификатор и пониженное количество обычного пластификатора, например, СДБ что способствует лучшему сохранению подвижности бетонной смеси во времени и не сказывается на скорости твердения бетона.

Применение суперпластификаторов эффективно в первую очередь для совершенствования производства. Использование их только с целью экономии цемента при существующих ценах и дефиците добавок экономически мне перспективно.

Для широкого внедрения суперпластификаторов необходимо расширить работы по изучению технологии и свойств бетонов на их основе, разработке новых технологических решений и оборудования /113/.

Применение предварительно подогретых материалов, введение С – 3 при твердении в естественных условиях позволяет на 20 - 30% повысить прочность бетона в результате более глубокой гидратации цемента или получить проектную прочность без увеличения расхода цемента при некотором добавлении воды /120/.

При исследовании бетонных смесей одновременно изучалось и изменение прочности бетона на ВНВ, ТМЦ и ПЦ. После проведения опытов на разогретых смесях формовались образцы, которые твердели в естественных условиях.

Работа проводилась с использованием методов математической статистики и теории планирования эксперимента.

Для построения квадратичной модели а работе использовался трехуровневый 4х факторный план эксперимента второго порядка.

Уровни и интервалы варьирования исследуемых свойств бетона на портландцементе приведены в таблице 4.1.1., а для бетона на ВНВ – 50 – в таблице 4.1.2

Таблица 4.1.1.

**Факторы и уровни варьирования свойств бетона
на портландцементе.**

Факторы	Уровни варьирования			Интервалы варьирования ΔX_i
	+1	0	-1	
Расход цемента, Ц, кг (X ₁)	250	350	450	100
В/Ц (X ₂)	0,4	0,5	0,6	0,1
Содержание добавки С – 3, % от массы цемента (X ₃)	0	0,6	1,2	0,6
Температура смеси, Т, °С (X ₄)	25	35	45	10

Таблица 4.1.2.

**Факторы и уровни варьирования свойств бетона
на ВНВ – 50**

Факторы	Уровни варьирования			Интервалы варьирования ΔX_i
	+1	0	-1	
Расход ВНВ кг (X ₁)	250	350	450	100
В/Вяз (X ₂)	0,3	0,35	0,4	0,05
Доля песка, Ч (X ₃)	0,32	0,42	0,52	0,1
Температура смеси, Т, °С (X ₄)	25	35	45	10

Таблица 4.1.3.

**Матрица планирования и результаты эксперимента
в 4х факторной задаче при исследовании свойств бетона
на портландцементе**

Точки плана	Кодовые значения				Натуральные значение				Результаты эксперимента (МПа)
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Ц _(кг)	В/Ц	Д _(%)	T, °C	
1	+1	+1	+1	+1	450	0,6	1,2	45	40
2	+1	+1	+1	-1	450	0,6	1,2	25	30
3	+1	+1	-1	+1	450	0,6	-	45	39
4	+1	+1	-1	-1	450	0,6	-	25	32
5	+1	-1	+1	+1	450	0,4	1,2	45	64
6	+1	-1	+1	-1	450	0,4	1,2	25	63
7	+1	-1	-1	+1	450	0,4	-	45	74
8	+1	-1	-1	-1	450	0,4	-	25	68
9	-1	+1	-1	+1	250	0,6	12	45	43
10	-1	+1	-1	-1	250	0,6	1,2	25	39
11	-1	+1	-1	+1	250	0,6	-	45	38
12	-1	+1	-1	-1	250	0,6	-	25	36
13	-1	-1	+1	+1	250	0,4	1,2	45	41
14	-1	-1	+1	-1	250	0,4	1,2	25	38
15	-1	-1	-1	+1	250	0,4	-	45	10
16	-1	-1	-1	-1	250	0,4	-	25	8
17	+1	0	0	0	450	0,5	0,6	35	51
18	-1	0	0	0	250	0,5	0,6	35	37
19	0	+1	0	0	350	0,6	0,6	35	40
20	0	-1	0	0	350	0,4	0,6	35	61
21	0	0	+1	0	350	0,5	1,2	35	64
22	0	0	-1	0	350	0,5	-	35	51
23	0	0	0	+1	350	0,5	0,6	45	55
24	0	0	0	-1	350	0,5	0,6	25	52
25	0	0	0	0	350	0,5	0,6	35	53

Таблица 4.1.4.

**Матрица планирования и результаты эксперимента
в 4х факторной задаче при исследовании свойств бетона
на ВНВ – 50**

Точки плана	Кодовые значения				Натуральные значения				Результаты эксперимента (МПа)
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	ВНВ (кг)	В/ Вяж	Д (%)	Т,С ⁰	
1	+1	+1	+1	+1	450	0,4	0,52	45	40
2	+1	+1	+1	-1	450	0,4	0,52	25	39
3	+1	+1	-1	+1	450	0,4	0,32	45	46
4	+1	+1	-1	-1	450	0,4	0,32	25	37
5	+1	-1	+1	+1	450	0,3	0,52	45	49
6	+1	-1	+1	-1	450	0,3	0,52	25	43
7	+1	-1	-1	+1	450	0,3	0,32	45	57
8	+1	-1	-1	-1	450	0,3	0,32	25	53
9	-1	+1	-1	+1	250	0,4	0,52	45	35
10	-1	+1	-1	-1	250	0,4	0,52	25	33
11	-1	+1	-1	+1	250	0,4	0,32	45	41
12	-1	+1	-1	-1	250	0,4	0,32	25	39
13	-1	-1	+1	+1	250	0,3	0,52	45	29
14	-1	-1	+1	-1	250	0,3	0,52	25	28
15	-1	-1	-1	+1	250	0,3	0,32	45	10
16	-1	-1	-1	-1	250	0,3	0,32	25	9
17	+1	0	0	0	450	0,35	0,42	35	57
18	-1	0	0	0	250	0,35	0,42	35	45
19	0	+1	0	0	350	0,4	0,42	35	51
20	0	-1	0	0	350	0,3	0,42	35	58
21	0	0	+1	0	350	0,35	0,52	35	51
22	0	0	-1	0	350	0,35	0,32	35	54
23	0	0	0	+1	350	0,35	0,45	45	55
24	0	0	0	-1	350	0,35	0,42	25	53
25	0	0	0	0	350	0,35	0,42	35	54

Матрица планирования и результаты проведенных экспериментов на портландцементе представлены в таблице 4.1.4.

Анализируя полученные результаты исследований (табл. 4.1.3., 4.1.4) влияния составов и температуры на прочность бетона, видно что с увлечением расхода вяжущего до 350 кг/м³ происходит заметное увеличение прочности, т.к. при низких расходах вяжущего (при одинаковых В/Ц) бетонная смесь получается рыхлая что отражается на степени уплотнения при формовании. Дальнейшее увлечение расхода вяжущего до 450 кг/м³ незначительно влияет на увеличение прочности бетона.

В результате обработки экспериментальных данных на персональном компьютере получено адекватное уравнение регрессии следующего вида:

- прочность бетона на портландцементе в 28 – суточном возрасте:

$$\begin{aligned}
 Y_1 = (R_{сж}) = & 53,5644 - 9,63889 * X_1 + 4,52776 * X_2 - 1,21611 * X_3 + 1,41667 * X_4 - \\
 & - 9,825 * X_1^2 + 6,3251 * X_2^2 - 0,025146 * X_3^2 + 3,17487 * X_4^2 - \\
 & - 12,5938 * X_1 X_2 - 6,28125 * X_1 X_3 - 6,90625 * X_1 X_4 - 3,40625 * X_2 X_3 - \\
 & - 0,03125 * X_2 X_4 - 1,62625 * X_3 X_4
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

- прочность бетона на ВНВ – 50 в 28 – суточном возрасте:

$$\begin{aligned}
 Y_1 = (R_{сж}) = & 54,6746 - 15,4056 * X_1 + 5,611 * X_2 - 1,40556 * X_3 + 2,93889 * X_4 - \\
 & + 14,9703 * X_1^2 + 6,1703 * X_2^2 - 1,77036 * X_3^2 + 3,87034 * X_4^2 - \\
 & - 3,05 * X_1 X_2 + 1 * X_1 X_3 + 4,625 * X_1 X_4 - 1,3125 * X_2 X_3 + 0 * X_3 X_4
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

Анализ уравнения регрессии показывает, что наибольшее влияние на прочность бетона при указанных выше условиях оказывает вод вяжущее отношение или водоцементное отношение (X₂) и температура (X₄).

Математически обработаны полученные данные по подвижности и жесткости бетонной смеси на ВНВ и ПЦ с супер пластификатором С – 3. Подвижность и жесткость бетонно смеси зависит от расхода воды, $OK(Ж)=f(V)$, следовательно $V=f(OK(Ж),*T)$.

Ранее проведенное исследованное показывают, что с повышением температуры бетонной смеси увеличивается водопотребность бетонной смеси, при этом уменьшается прочность бетона, поэтому чтобы получить заданные прочности, необходимо увеличить расход вяжущего, находим $C = f(R_6, T)$. Многофакторные математические модели ОК или Ж зависят В/Ц и расхода цемента. Также выявлена зависимость увлечения водопотребности бетонное смеси с с учетом температуры. Кроме того установлена зависимость прочности бетона Ц/В от активности вяжущего.

Таким образом, из проведенных следует, что коэффициенты в формуле зависимости прочности бетона по результатам различных следований изменяются в довольно больших переделах и значительно зависят от расхода воды и температуры.

На практике для прогнозирования прочности бетонов на ВНВ при проектировании состав бетона может использоваться усредненная зависимость.

$$R_6 = 0,42 * R_{ц} (Ц^0 В - 0,4) \quad (4.3)$$

Тогда находим с учетом увеличения расхода воды расход вяжущего

$$\text{для ВНВ } Вяж = (R_6 / 0,42 * R_{ц} + 0,4) * В \quad (4.4)$$

$$\text{для ПЦ } Ц = (R_6 / 0,6 * R_{ц} + 0,5) * В \quad (4.5)$$

Таким образом, получены зависимости изменения расхода воды, обеспечивающие заданные свойства бетонной смеси с учетом температуры.

4.2. Влияние температуры на кинетику твердения бетонов на ВНВ и ТМЦ, применяемых в различных видах монолитных бетонов.

Экспериментальные исследования проводились использованием на опытом – промышленном выпуске ВНВ – 50 и ТМЦ – 50. Характеристики используемых материалов приведены подробно в главе II. Доля песка принята равной 0,42. После приготовления бетонной смеси и укладки её в формы с размером ячейки 10x10x10 см и суточного выдерживания в климатических камерах при температуре 25⁰, 35⁰ и 45⁰С производили распалубку. Дальнейшее твердение образцов происходило в климатической камере. Испытание образцов производили в 1,7, 28 суточном возрасте. Выбор температуры выдерживания образцов осуществлялся исходя из условий сухого жаркого климата, возведения монолитных конструкций в осеннее – весеннее и летнее время.

Анализ результатов испытаний образцов, в соответствующих температурных, приведен в таблице 4.2.1., где показано, что в этих условиях твердения начальный рост прочности бетонов на ВНВ и ТМЦ выше, чем у бетонов на портландцементе с пластифицирующими добавками.

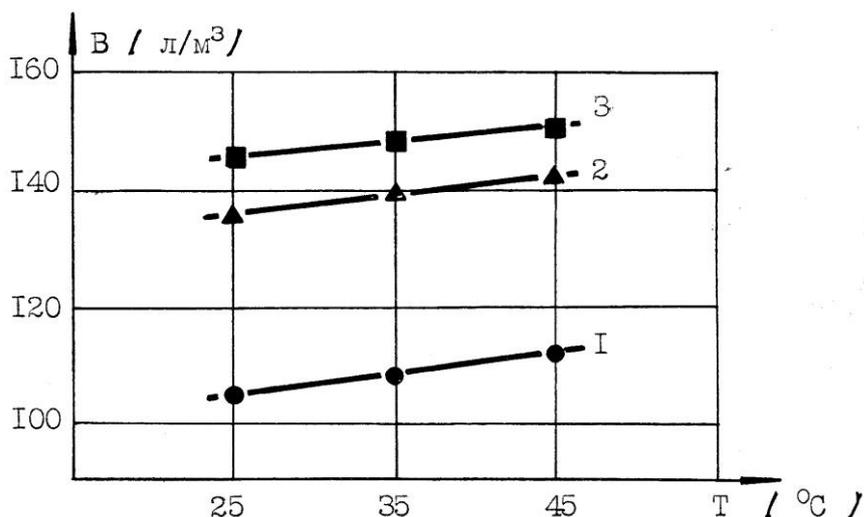


Рис. 4.2.1. Зависимость водосодержания изопластичных бетонных смесей на ВНВ – от их температуры.

1 – ОК = 1 см

2 – ОК = 7 см

3 – ОК = 10 см

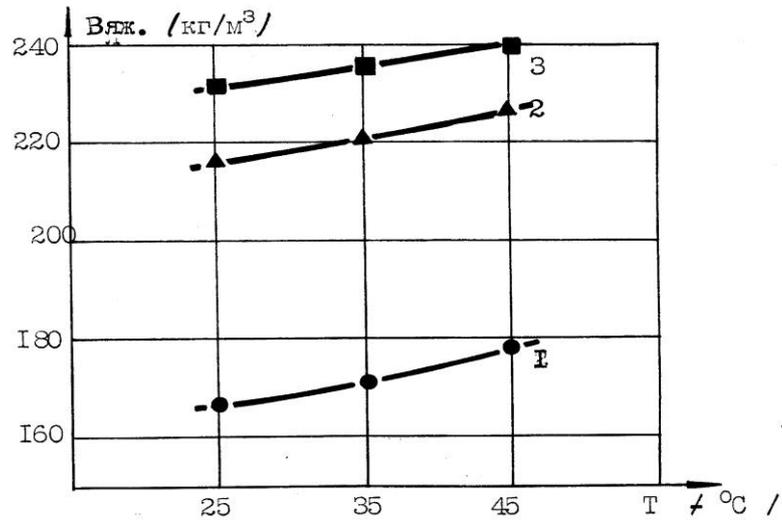


Рис. 4.2.2. Зависимость расхода цемента в равнопрочных бетонах на ВНВ
– от их температуры бетонной смеси ($R_b = 20 \text{ МПа}$).

1 – ОК = 1 см

2 – ОК = 7 см

3 – ОК = 10 см

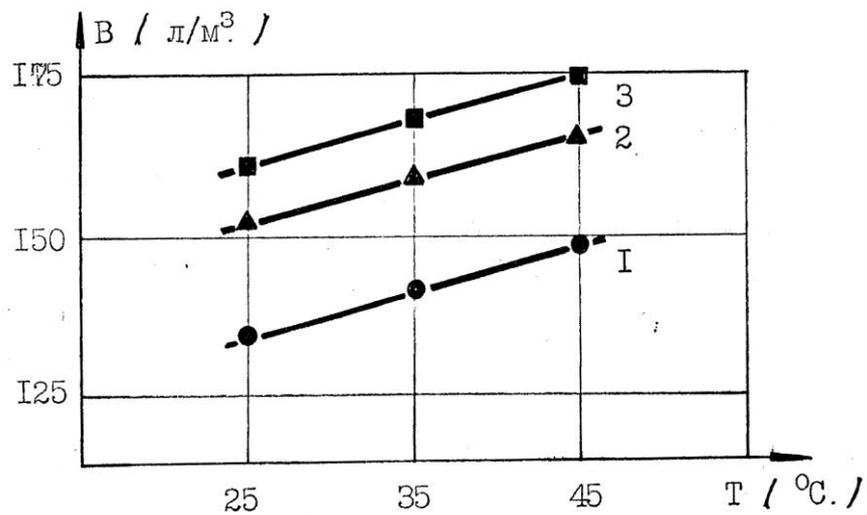


Рис. 4.2.3. Зависимость водосодержания изопластичных бетонных смесей
на ПЦ – от их температуры

1 – ОК = 1 см

2 – ОК = 7 см

3 – ОК = 10 см.

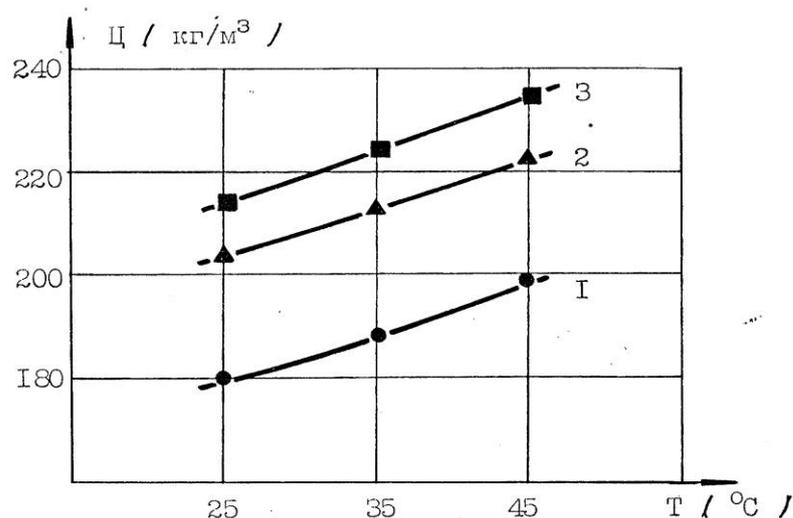


Рис. 4.2.4. Зависимость расхода цемента в равнопрочных бетонах от их температуры бетонной смеси ($R_b = 20 \text{ МПа}$).

1 – ОК = 1 см

2 – ОК = 7 см

3 – ОК = 10 см

Вместе с тем обращает на себя внимание существенная разница в начальном росте прочностных показателей.

Кинетика твердения бетонов на ВНВ – 50 и ТМЦ – 50 при повышении температуры видно в приведенных данных (табл. 4.2.1) из которых следует, что в этом случае в суточном возрасте обеспечивается прочность, а в 7 – суточном возрасте обеспечивается прочность 85...92% от марочной, и соответственно для бетона на портландцементе с пластифицирующими добавками в суточном возрасте – 25...30%, а в 7 – суточном возрасте – 75...85% от марочной.

Таким образом, проведенные испытания показали, что для получения качественного бетона на ВНВ и ТМЦ в условиях сухого жаркого климата необходим специальный уход за ними в первые сутки твердения, также как и для портландцементных бетонов. Соблюдение требуемых мер по уходу за бетоном с целью исключения влагопотерь обеспечит требуемую марочную прочность.

Таблица 4.2.1.

Кинетика твердения бетонов на различных видах вяжущего в зависимости от температуры.

№№ ПП	Виды вяжущего и расход (кг/м ³)	В/Ц	Добав- ка С-3 В (%)	ОК (см)	Время Исте- чения (с)	Плот- ность бетон- ной смеси (кг/м ³)	Прочность бетонов (%) в возрасте, при температуре (°С)								
							25			35			45		
							С У Т К И								
							1	7	28	1	7	28	1	7	28
1	ПЦ 350	0,5	0,6	1	29	2376	26,4	77,5	100	26,7	76,5	100	30,2	84,9	100
2		0,55	0,6	10	11	2360	27,9	83,5	100	30,5	85,7	100	32,1	75,5	100
3		0,6	0,6	20	9	2357	28,4	80	100	31,5	82,5	100	32,5	77,5	100
4		0,3	-	1	25	2380	32,3	38,8	100	35	89,5	100	50,4	91,2	100
5	ВНВ 350	0,35	-	10	10	2420	34,8	91,0	100	35	92,7	100	35,7	92,0	100
6		0,4	-	20	7	2380	28,8	89,5	100	34	87	100	33,5	86,0	100
7		0,35	1	1	26	2360	34,1	90,4	100	36,2	90,1	100	40,6	91,9	100
8	ТМЦ 350	0,4	1	12	10	2365	35	89	100	37,9	89,4	100	36,5	90,5	100
9		0,65	1	20	8	2361	30,4	85	100	36,7	88,7	100	35,2	88,7	100

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.

1. Теоретически обоснована связь формуемости бетонной смеси на основе ВНВ и ТМЦ с его составом и структурой, а также реологическими и техническими характеристиками а условиях влияния повышенной температуры.
2. Разработаны условия получения бетонных железобетонных изделий требуемого качества на основе ВНВ и ТМЦ, заключающиеся в корректировке состава бетонной смеси в производственных условиях при повешенной температуре.
3. Разработана методика и прибор для определения формуемости бетонных смесей на основе ВНВ и ТМЦ по величине структурной вязкости и параметрам тиксотропии.
4. Разработана методика и прибор для оценки удобоукладываемой бетонных смесей на основе ВНВ и ТМЦ. Сущностью методика является определение раствор отделения при вибрации на приборе представляющем собой цилиндр с сетчатым основанием.
5. Установлены многофакторные зависимости формуемости и осадки конуса бетонных смесей на основе ВНВ и портландцемента с С – 3, а также прочности бетонов от вида и расхода вяжущего, доли песка в смеси заполнителей и температуры.
6. Получены зависимости водопотребности бетонных смесей на основе ВНВ и ТМЦ от заданной удобоукладываемости, нормальной густоты вяжущего, водопотребности песка и щебня, а также температуры.

7. Установлена кинетика изменения технических свойств бетонных смесей различного состава на основе ВНВ и ТМЦ с учетом температуры.

8. Установлены зависимости раскраиваемости литых бетонных смесей от их состава и вида вяжущего, влияние температуры на параметры раствор отделения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллаев Д.А., Копилов В.Д. «Температурные изменения в бетоне, твердеющем в условиях сухого жаркого климата». / Архитектура и строительство Узбекистана. – 1985 г. № 7. – стр. 35-38.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. «Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Программное введение в планирование эксперимента». – М., Наука, 1976 г. – стр. 280.
3. Алексеев С.И. «К расчету сопротивлений в трубах бетононасосов. Механизация строительства». № 1. – 1952 г.
4. Баженов Ю.М. «Технология бетона». Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1978 г. – стр. 455., ил.
5. Баженов Ю.М. «Технология бетона». Учебное пособие для технол. спец. строит. вузов. 2-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 1987 г. – стр. 415., ил.
6. Баженов Ю.М. «Бетоны с суперпластификаторами и комплексными добавками на их основе». / Архитектура и строительство Узбекистана. – 1983 г. № 3. – стр. 7-8.
7. Баженов Ю.М. «Совершенствование технологии и свойства бетона – важнейший резерв экономии ресурсов»./ Бетон и железобетон. – 1983 г. № 5. – стр. 7-8.
8. Баженов Ю.М. «Критерий оценки поведения бетона в сухом жарком климате»./Бетон и железобетон. – 1971 г. № 3. – стр. 9-11.
9. Баженов Ю.М. «Повышение эффективности и экономичности технологии бетона»./Бетон и железобетон. – 1988 г § 9. – стр. 7-9.
10. Баженов Ю.М., Бабаев Ш.Т., Чумаков Л.Д. «Влияние суперпластификаторов «10-03» и «30-04» на свойства бетонной смеси и бетона с учетом химико-минералогического состава цементов»./Применение химических добавок в технологии бетона. М., МДНТП им. Ф.Е. Дзержинского, 1980 г. – стр. 54-57.

11. Баженов Ю.М., Вознесенский В.А. «Перспективы применения математических методов в технологии сборного железобетона». М.: Стройиздат, 1972 г. – стр. 192.
12. Баженов Ю.М., Иванов Ф.М. «Бетон с химическими добавками». Учебное пособие М., ЦМИПКС, 1987 г. – стр. 40-52.
13. Баженов Ю.М., Комар А.Г. «Технология бетонных и железобетонных изделий»: Учебное пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1984 г. – стр. 672, ил.
14. Батраков В.Г., Тюрина Т.Е., Фаликман В.Р. «Пластифицирующий эффект суперпластификаторов С-3 в зависимости от состава цемента./Бетоны с эффективными модифицирующими добавками». НИИЖБ, Москва, 1985 г. – стр. 8-14.
15. Батраков В.Г., Фаликман В.Р. «Опыт разработки и применения эффективных суперпластификаторов в производстве железобетонных изделий./ Пути технического перевооружения промышленности сборного железобетона». – М., МДНТП, 1987 г. – стр. 112-120.
16. Безверхий А.А., Никитинский В.И. «Изменение прочности бетона от В/Ц и времени изометрического твердения./Бетон и железобетон», 1983 г. - № 2. – стр. 14-15.
17. Батраков В.Г., Башлыков Н.Ф., Бабаев Ш.Т., Сердюк В.Н. и др. «Бетоны на вяжущих низкой водопотребности./ Бетон и железобетон», 1988 г. – № 11. – стр. 4-5.
18. Долгополов Н.Н., Суханов М.А., Феднер Л.А. и др. «Бетоны и растворы на высокоактивном вяжущем с низкой водопотребностью./Цемент». - № 1. – 1990 г. – стр. 16-18.
19. Белоусов И.А., Абрамова Р.С., Малинина Л.А. «Исследование влияния водорастворимой органической добавки ВРП – 1 на некоторые свойства бетонной смеси и монолитного бетона в условиях сухого жаркого климата». / Материалы I Всесоюзного

- координационного совещания по проблеме «Технология бетонных работ в условиях сухого жаркого климата», 6-8 октября 1970 г. – Ташкент: Изд-во «Узбекистан», 1974 г.
20. Белоусов И.А., Абрамова Р.С., Малинина Л.А. «Влияния сухого жаркого климата на реологические свойства бетонной смеси и прочность монолитного бетона с добавкой водорастворимого полимера ВРН – 1». / Архитектура и строительство Узбекистана. – 1975 г. № 3. – стр. 6-9.
 21. Бондарь А.Г. «Математическое моделирование в химической технологии». – Киев: Высшая школа, 1973 г. – стр. 280.
 22. Вознесенский В.А., Крыжановский И.И. «Планирование экспериментов при отборе эффективных добавок – регуляторов качества бетонов» / В сб. «Исследования бетона и железобетонных конструкций экспериментально-статистическими методами». / Штиинус, 1972 г. – стр. 112.
 23. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. «Минеральные вяжущие вещества». Изд. 2-е (перераб. и доп.) – М.: Стройиздат, 1973 г. – стр. 490.
 24. ВНИИ железобетон. Научно-технический отчет по гос. заказ. № 04-0485-88, Москва, 1988 г.
 25. «Вяжущие низкой водопотребности (ВНВ)»./ ТУ 21-029305-01-88.
 26. Гирштель Г.В. «Выбор реологических параметров, существенных для индустриальных способов формования бетонов». / Диссертация. НИИЖБ, Москва, 1965 г.
 27. Горчаков Г.И. и др. «Состав, структура и свойства цементных бетонов». М.: Стройиздат, 1978 г. – стр. 145.
 28. Горчаков Г.И. «Определение пластичности цементного теста и бетонной смеси». / Труды НИИ цемент. – Вып. 4., 1951 г.
 29. ГОСТ 10181, 4-81. «Смеси бетонные. Методы определения расслаиваемости».

30. Грушко И.И., Глушенко Н.Ф., Ильин А.Г. «Структура и прочность дорожного цементного бетона». Харьков: Харьковский университет, 1965 г. – стр. 135.
31. Десов А.Е. «Вирированный бетон». Гос. издат. лит. по строительству и архитектуре., Москва, 1956 г.
32. Десов А.Е. «Пути применения механики упруго-вязко-пластичных средств к решению задач о формовании железобетонных элементов»./Сборник «Исследование прочности, пластичности и ползучести строительных материалов». – 1955 г.
33. Десов А.Е. «О структурной вязкости цементного теста, растворов и бетонной смеси». / Исследования по технологии бетона. ЦНИПС. Стройиздат , - 1950 г.
34. Добавки в бетон: Справ. пособие / Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М. и др./ /Под ред. Рамачандран В.С.. Пер. с англ. Розенберг Т.И. и Болдырева С.А.. /Под ред Болдырева С.А.и Ратинова Б.В.– М.: Стройиздат, 1998 г. – стр. 875.
35. Добролюбов Г., Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. «Прогнозирование долговечности бетона с добавками». М.: Стройиздат, 1983 г.
36. Дустов Р.Д. «Пластификация цементного теста различными добавками». / Архитектура и строительство Узбекистана. – 1983 г. № 4. – стр. 34-37.
37. Фаликман В.Р., Булгаков М.Г., Вовк А.И., Савидова Л.А. «Зависимость свойств бетона с суперпластификатором С-3 от степени поликонденсации полиметилена сульфонов». / Бетоны с эффективными модифицирующими добавками. НИИЖБ, М.: Стройиздат, 1985 г.
38. Заседателев И.Б. «Новые аспекты технологии монолитного бетона при строительстве протяженных конструкций и сооружений». / Сборник научных трудов, Москва, 1979 г. – стр. 41-43.

39. Зубенко В.М., «Влияние температуры при предварительном пароразогреве на свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона». / Диссертация кандидата технических наук, Москва, 1974 г.
40. Комар А.Г., Величко Е.Г. «Теоретические основы применения минеральных добавок к вяжущим веществам в бетоне. / Повышение технологичности и снижение материалоемкости сборного железобетона». / Сборник научных труд ВНИИЖБ, Москва, 1982 г. – стр. 45-51.
41. Кононова О.В. «Разработка технологии бетона с минеральными наполнителями с учетом дисперсности наполнителя и цемента». / Автореферат диссертация кандидата технических наук, Москва, 1989 г. – стр. 21.
42. Королев К.М. «Интенсификация приготовления бетонной смеси». М.: Стройиздат, 1976 г.
43. Крылов Б.А., Лукичев Р.А. «Предварительный электроразогрев бетонной смеси при изготовлении железобетонных конструкций». М.: Стройиздат, 1968 г.
44. Крылов Б.А., Ли А.И. «Твердение бетона за счет электротермообработки при воздействии монолитных конструкций в южных районах страны». / Материалы I Всесоюзного координационного совещания по проблеме «Технология бетонных работ в условиях сухого жаркого климата», 6-8 октября 1970 г. – Ташкент: Изд-во «Узбекистан», 1974 г.
45. Курамбаев Б. «Улучшение свойств бетона в условиях сухого жаркого климата с помощью пластификаторов. / Бетон и железобетон». – 1982 г. № 3. – стр. 24-26.
46. Куннос Г.Я. «Вирированная технология бетона». Изд. лит. по стр., Л: 1967 г.

47. Курбанов Т.Ю. «Прогнозирование поведения бетона в условиях сухого жаркого климата». / Дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук, Москва, 1976 г. – стр. 122.
48. Ленин Л.И., Тарасова В.Н. «Влияние вида мелкого заполнителя на свойства бетона с пластификатором». / Бетон и железобетон. – 1990 г. № 70. – стр. 13-15.
49. Лермит Р. «Проблемы технологии бетона». М.: Госстройиздат, 1958г.
50. Лермит Р. «Проблемы технологии бетона». М.: Госстройиздат, 1969г. – стр. 249.
51. Малинский Е.Н. «Исследование пластической усадки». / Архитектура и строительство Узбекистана. – 1970 г. № 5.–стр. 17-21.
52. Малинина Л.А. «Проблемы производства и применения тонкомолотых многокомпонентных цементов». / Бетон и железобетон. – 1990 г. № 2. – стр. 3-4.
53. Малинина Л.А., Куприянов Н.Н. «Влияние влажности среды на прочность и деформации бетонов при тепловлажностной обработке». / Бетон и железобетон. – 1969 г. № 11.
54. Малинский Е.Н., Темкин Е.С. и др. «Обеспечение отпускной подвижности бетонной смеси в условиях сухого жаркого климата». / Архитектура и строительство Узбекистана. – 1974 г. № 10.
55. Малинина Л.А., Малинский Е.Н. «Особенности тепловлажностной обработки бетона в зимних условиях». / Второй Международный симпозиум по зимнему бетонированию. М.: Стройиздат, 1975 г. – стр. 341-355.
56. Мамаевский В.Н. «Исследование свойств и технологии высокопрочных тяжелых бетонов с химическими добавками». / Дисс. на соиск. учен. степ. д.т.н. Горький, 1977 г. – стр. 227.
57. Горчаков Г.И., Алимов Л.А., Воронин В.В., Соболев Г.М. «Методологические основы исследования бетона». / В сб. «Вопросы совершенствования технологии и повышения качества строительных

- растворов и бетонов». / Сборник трудов МИСИ им. В.В. Куйбышева. М.: 1975 г. – стр. 5-12.
58. Миронов С.А. «Этапы развития отечественной науки о бетоне». / Бетон и железобетон. – 1990 г. № 9. – стр. 21.
59. Миронов С.А. «Температурный фактор в твердении бетона». М.: Стройиздат, 1948 г.
60. Миронов С.А. «Температурный фактор в твердении бетона». М.: Госстройиздат, 1948 г. – стр. 238.
61. Миронов С.А., Малинина Л.А. «Ускорение твердения бетона». М.: Госстройиздат, 1964 г. – стр. 347.
62. Миронов С.А., Малинский Н.Н. «Основы технологии бетона в условиях сухого жаркого климата». М.: Стройиздат, 1985 г. – стр. 216, ил.
63. Миронов С.А., Малинский Е.Н. «Технология бетонных работ в условиях сухого жаркого климата». / Сборник научных труд. НИИЖБ, Москва, 1979 г.
64. Миронов С.А., Малинина Л.А., Малинский Е.Н. «Твердение бетона в условиях сухого жаркого климата при отсутствии начального ухода за ним»/ Архитектура и строительство Узбекистана. – 1970 г. № 9. – стр. 3-6.
65. Миронов С.А., Малинина Л.А., Малинский Е.Н. «О продолжительности начального ухода за свежееотформованным бетоном в условиях сухого жаркого климата». / Архитектура и строительство Узбекистана. – 1970 г. № 3. – стр. 4-10.
66. Миронов С.А., Малинский Е.Н. «О продолжительности ухода за бетоном в условиях сухого жаркого климата»/ Архитектура и строительство Узбекистана. – 1969 г. № 11. – стр. 12-18.
67. Миронов С.А., Малинский Н.Н. «Основы технологии бетона в условиях сухого жаркого климата». М.: Стройиздат, 1986 г. – стр. 316, ил.

68. Миронов С.А., Малинский Е.Н. «Твердение бетона в условиях сухого жаркого климата». / Технология бетонных работ в условиях сухого жаркого климата. / Сборник научных труд. НИИЖБ, Москва, 1979 г. – стр. 3-23.
69. Миронов С.А., Малинский Е.Н. «Проблемы технологии бетона в условиях сухого жаркого климата». / Материалы II Всесоюзного координационного совещания по проблеме «Технология бетонных работ в условиях сухого жаркого климата», 4-7 июня 1974 г. – Ашхабад, 1976 г.
70. Миронов С.А., Малинский Е.Н., Новакшонов А.Н. «Влияние пластической усадки бетона на его структуру и свойство». / Бетон и железобетон. – 1979 г. № 3. – стр. 11-17.
71. Михановский Д.С. «О выборе температуры разогрева бетонной смеси для горячего формования». / Архитектура и строительство Узбекистана. – 1976 г. № 7. – стр. 12-16.
72. Михановский Д.С., Ключник Ю.П. «Особенности твердения бетонов из горячей смеси». / Бетон и железобетон. – 1989 г. № 6.
73. Мошанский Н.А. «Плотность и стойкость бетонов». М.: Госстройиздат, 1951 г.
74. Малинский Е.Н., Темкин Е.С., Самусов О.А., Штейн Е.Я. «Обеспечение отпускной подвижности бетонной смеси в условиях сухого жаркого климата». / Архитектура и строительство Узбекистана. – 1974 г. № 10.
75. «Мельмент – Информация компании», 1974 г.
76. Окрашидзе Н.Г. «Технология бетонов на основе шлаковых вяжущих низкой водопотребности». / Автореф. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук., Москва, 1989 г. – стр. 17.
77. Баженов Ю.М., Горчаков Г.И., Алимов Л.А., Воронин В.В. «Оптимизация состава бетона». / Энергетическое строительство. – 1975 г. № 4. – стр. 28-31.

78. Осипов А.Д. «Бетонная смесь для монолитных конструкций в сухой жаркий период погоды». / Материалы I Всесоюзного координационного совещания по проблеме «Технология бетонных работ в условиях сухого жаркого климата», 6-8 октября 1970 г. – Ташкент: Изд-во «Узбекистан», 1974 г.
79. Подгорнов Н.И., Сизов В.П., Глушков «Свойства бетона, приготовленного на предварительно подогретых материалах». / Бетон и железобетон. – 1988 г. № 2. – стр. 13-14.
80. Парасовченко М.П. «Циклическое воздействие окружающей среды и стойкость мелкозернистых бетонов». / Известия ВУЗов, серия «Строительство и архитектура». – 1967 г. № 7. – стр. 62-66.
81. Подгорнов В.Н. «Влияние солнечной радиации на твердение бетона». / Бетон и железобетон. – 1979 г. № 3. – стр. 15.
82. Баженов Ю.М., Горчаков Г.И., Алимов Л.А., Воронин В.В. «Получение бетона заданных свойств». М.: Стройиздат, 1978 г. – стр. 53.
83. Цунагин В.Н. «Бетон и бетонные работы в условиях сухого жаркого климата». – Ташкент: Изд-во «ФАН», 1974 г.
84. Цунагин В.Н. «Некоторые свойства бетонной смеси в летний период». / Реф. сб. «Межотраслевые вопросы строительства (отечественный опыт)». – 1970 г. № 6.
85. Цунагин В.Н. «Технология бетона в условиях сухого жаркого климата». – Ташкент: Изд-во «ФАН», 1977 г. – стр. 222.
86. Рамачандран В., Фельдман Р., Бодуэн Дж. «Наука о бетоне. Физико-химическое бетоноведение». / Пер. с англ. Розенберг Т.И., Ратиновой Ю.Б., под ред. Ратинова В.Б. - М.: Стройиздат, 1986 г. – стр. 278, ил. – перевод изд.
87. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. «Добавки в бетон». 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1989 г. – стр. 188, ил.

88. Рекомендации по применению методов математического планирования эксперимента в технологии бетона. - НИИЖБ, Москва, 1982 г. – стр. 103.
89. Руденко И.Ф. «Оптимальные режимы виброштампования бетонных смесей». / Сб. «Вибрационная технология». М., 1966 г.
90. Руководство по подбору составов тяжелого бетона. М.: НИИЖБ, Стройиздат, 1979 г. – стр. 103.
91. Горчаков Г.И., Орендлихер Л.П., Савин В.И. и др. «Состав, структура и свойства цементных бетонов». – М.: Стройиздат, 1976 г. – стр. 144.
92. Сихов В.И. «Проектирование составов тяжелого бетона». – М.: Стройиздат, 1980 г. – стр. 144.
93. Сорокер В.И., Довжик В.Г. «Жесткие бетонные смеси в производстве сборного железобетона». – М.: Стройиздат, 1984 г.
94. Сторк Ю. «Теория состава бетонной смеси». – 1971 г.
95. «Совершенствование технологии бетона за счет применения новых химических добавок». Материалы семинара МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского – М., 1984 г. – стр. 148.
96. Ступаков Г.И., Панова Л.А. «К вопросу обеспечения отпускной подвижности бетонной смеси в условиях сухого жаркого климата». / Архитектура и строительство Узбекистана. – 1976 г. № 1. – стр. 38-39.
97. Баженов Ю.М., Горчаков Г.И., Алимов Л.А. Воронин В.В. «Структурные характеристики бетонов». / Бетон и железобетон. – 1972 г. № 9. – стр. 19-21.
98. Сулковский И.А. «Учет температурного фактора при нормировании цемента». / Архитектура и строительство Узбекистана. – 1976 г. № 11. – стр. 39.
99. Тохиров М.К., Мамаконов А.У., Соломатов В.И. «Оптимизация составов бетонной смеси с добавками АЦФ и минеральными

- наполнителями». / Архитектура и строительство Узбекистана. – 1986 г. № 4. – стр. 7-10.
100. Тохиров М.К., Норов Р.А., Соломатов В.И. «Об улучшении свойств бетонной смеси с добавками новых ПАВ в условиях сухого жаркого климата». / Архитектура и строительство Узбекистана. – 1983 г. № 1. – стр. 28-30.
101. Уескот В., Бурке С., Кук Г. «Нормы по проведению работ в жаркую погоду, рекомендуемые американским институтом бетона». / Журнал американского института бетона. Т. 68. – 1971 г. № 7.
102. Алимов А.А., Воронин В.В., Уруев В.М., Уравлов Г.И. «Универсальный прибор для контроля удобоукладываемости бетонных смесей в заводских условиях». / Техн. информ. ВНИИЭС. – М., 1962 г., вып. II – стр. 8-9.
103. Уруев В.М. «Исследование свойств бетонных смесей для бетонов заданных структур». / Дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. – М., 1973 г., – стр. 130.
104. Шестоперов С.В. «Технология бетона». М.: Высшая школа, 1977 г. – стр. 24-26.
105. Шмидт В.А. «Технология монолитного немассивного бетона в сухом жарком климате». / Материалы I Всесоюзного координационного совещания по проблеме «Технология бетонных работ в условиях сухого жаркого климата», 6-8 октября 1970 г. – Ташкент: Изд-во «Узбекистан», 1974 г.
106. Файтельсон Л.А. «Определение вязкости вибрируемой бетонной смеси». / Сб. «Исследование по бетону и железобетону», 1957 г., вып. II.
107. Ферри Д.Ж. «Вязко – упругие свойства полимеров». Л., 1963 г.
108. Юнг В.И. «Основы технологии вяжущих веществ». / Госстройиздат, Москва, 1951 г. – стр. 509-511.

109. Adicions para el hormigon – hiformes la construccion. – 1983. - № 340. – p. 35-40.
110. (ASG, Gournal, August? 1977.). ASG Committee 30S “Hot weather Conereting”.
111. S.M. Khalil and M.A. Ward Cem. Concr. Res. 3, 667 (1973).
112. B. Tremper and D.L. Spellman, Highw. Res. 1067, 30 (1963).
113. M.R. Rixom, Chemical Admixtures for Concrete, E.F. Spon, New York (1978).
114. T. Rulik, Modifikavane rychlevarke vycokapernostor cementy. – “Stavivo”, 1980. - № 10. – p. 7-8.
115. Neville A.M. «Greep of concrete in hot climate». Proc.Int. PGLEM. / Symposium on concrete in hot countries, Haifa, 1971. val. 11.
116. Larrard ultrafine particles fothe moking of very streugh concretes u cement and concrete research. Vol. 19, 1989, p. 161-172.
117. Murata jire, suruki Karuol Pheological studies on segregation of concrete using superpeasticirer. Proc.beijing Int Symposium cement and concrete beijing, may. – 1985, p. 14-17.
118. Kester Bruce E. «Significance of tests for finenus». Proc. American soc. tests and materials. – 1964, p. 866-879.
119. Klieger P. «Effect of mixing and curing temperature on concrete strength» / Journal of the ACI. – 1958, № 12. – v. 29.