

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ**

РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

НАРОВ Р.А.

**ИССЛЕДОВАНИЕ БЕТОНА С ДОБАВКАМИ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ПРОДУКТОВ МЕТИЛОЛАЦЕТОНА**

**STUDY OF CONCRETES WITH THE ADDITIVES
OF MODIFIED METHYLOL-ACETONE PRODUCTS**

**Ташкент
«INNOVATSIYA-ZIYO»
2019**

УДК: 691.32
ББК: 38.626.1
Н: 30

**Исследование бетона с добавками модифицированных
продуктов метилолацетона. Монография. 2019**

Автор: к.т.н., доц. Наров Р.А.

В монографии приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по применению модифицированных продуктов метилолацетона в качестве добавки к бетону.

Работа выполнена в научно-исследовательской лаборатории при кафедре «Строительство зданий и промышленных сооружений» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта. В ней обоснована возможность улучшения реологических свойств бетонной смеси, физико-механических и эксплуатационных свойств бетона путем использования рациональной дозировки предлагаемой добавки. В ходе проведенных экспериментальных работ установлены действие добавок на процессы гидратации и твердения цемента, а также основные закономерности структурообразования цементного камня. Выявлена взаимосвязь качественных и количественных изменений свойств бетонной смеси, физико-механических и эксплуатационных показателей бетона. Рассмотрены особенности технологии бетона с предлагаемой добавкой, изложен производственный опыт применения и технико-экономическое обоснование.

В результате выполненных исследований с участием автора разработаны и изданы «Рекомендации по применению ацетоноформальдегидных смол в качестве добавок бетону».

Монография рекомендуется для студентов магистратуры, докторантов, соискателей, инженерно-технических работников в сфере производства строительных материалов и стройиндустрии.

УДК: 691.32
ББК: 38.626.1
Н: 30

**Автор благодарит рецензентов - д.т.н. проф. Щипачеву Е.В.
к.т.н. проф. Газиева У.А. за высказанные замечания.**

Рекомендовано к изданию решением Ученого совета ТАСИ от 27. 12. 2018 г.

ISBN: 978-9943-5613-6-6

“INNOVATSIYA-ZIYO” - 2019

UDC: 691.32
ББК: 38.626.1
Н: 30

**Study of concretes with the additives
of modified methylol-acetone products.
Monograph. 2019**

Author: Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Assoc. Prof., Narov R.A.

The monograph presents the results of theoretical and experimental studies on the use of modified products of methylol-acetone as an additive to concretes. The study has been performed in the research laboratory at the department "Construction of buildings and industrial facilities" of the Tashkent Institute of Railway Transport Engineers. The possibility of improving rheological properties of the concrete mix, physicomechanical and operational properties of concrete using rational dosage of the proposed additive is substantiated in the monograph.

In the course of experimental studies, the effect of additives on the process of hydration and hardening of cement and the basic regularities of structure formation of cement stone have been established. The interrelation of qualitative and quantitative changes in the properties of a concrete mix, physical-mechanical and operational indices of concrete are revealed. The features of concrete technology with the proposed additive are considered, the production experience of the application and the feasibility study are outlined.

As a result of studies carried out with the participation of the author, "Recommendations on the use of acetone-formaldehyde resins (RAFA) as additives to concrete" have been developed and published.

The monograph is recommended for graduate students, doctoral students, applicants, engineering and technical workers in the sphere of production of building materials and construction industry.

UDC: 691.32
ББК: 38.626.1
Н: 30

The author thanks the reviewers - Dr. of Techn.Sci., Prof. Shchipacheva E.V. and Candidate of Techn.Sci., Prof. Gaziyeu U.A. for their comments.

Recommended for publication by the decision of the Scientific Council of TIAC, 27. 12. 2018.

ISBN: 978-9943-5613-6-6

“INNOVATSIYA-ZIYO” - 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
ГЛАВА I	8
1. Органические пластифицирующие добавки.....	8
1.1. Влияние добавок гидрофилизующих ПАВ на свойства цементных композиций.....	8
1.2. Влияние гидрофобизирующих ПАВ на свойства цементных композиций.....	14
1.3. Влияние добавок ПАВ синтетических полимеров на свойства цементных композиций.....	16
1.4. Влияние органических ПАВ на интенсификацию помола клинкера и свойства портландцемента.....	21
ГЛАВА II	26
2. Структурообразование цементного камня в присутствии добавок САФА.....	26
2.1. Влияние добавок на кинетику твердения и прочность цементного камня.....	26
2.2. Влияние добавок на тонкость помола и гранулометрический состав цемента.....	32
2.3. Влияние добавки на процесс гидротации портландцемента и фазовый состав гидратных новообразований.....	38
ГЛАВА III	61
3. Влияние добавок β – кетоспиртовых ПАВ на технологические, физико-механические и эксплуатационные свойства бетона.....	61
3.1. Реологические свойства бетонной смеси с добавки САФА.....	61
3.2. Влияние добавок САФА на прочностные и деформативные свойства бетона	68
3.3. Водопроницаемость и морозостойкость бетона добавками.....	94
ГЛАВА IV	103
4. Основные направления интенсификации в производстве бетона.....	103
4.1. Интенсификация приготовления бетонной смеси.....	103
4.2. Наполнение бетонов	111
4.3. Химические добавки для бетонных смесей.....	116
4.4. Свойства бетонной смеси и бетона.....	132
ГЛАВА V	146
5. Опытнo-производственные работы и технико-экономическое обоснование результатов исследований.....	146
5.1. Рациональные области применения добавок САФА.....	146
5.2. Опытнo-производственные работы	148
5.3. Технико-экономическое обоснование результатов исследований	160
ЛИТЕРАТУРА	161

CONTENTS

FOREWORD	6
CHAPTER I	8
1. Organic plasticizing additives	8
1.1. The effect of additives hydrophilic surfactants on the properties of cement compositions	8
1.2. The influence of waterproofing surfactants on the properties of cement compositions	14
1.3. Influence of surfactants additives from synthetic polymers on the properties of cement compositions	16
1.4. The effect of organic surfactants on the intensification of the grinding of clinker and the properties of Portland cement	21
CHAPTER II	26
2. Structure formation of cement stone in the presence of RAFA additives	26
2.1. Effect of additives on the kinetics of cement hardening and set strength	26
2.2. Effect of additives on the fineness of grinding and granulometric composition of cement	32
2.3. Effect of additives on the process of hydration of Portland cement and the phase composition of hydrated new formation	38
CHAPTER III	61
3. Effect of β -keto-spirit surfactant additives on the technological, physicomachanical and operational properties of concrete	61
3.1. Rheological properties of the concrete mix with RAFA additive	61
3.2. Effect of RAFA additives on strength and deformation properties of concrete	68
3.3. Permeability and frost resistance of concrete with additives	94
CHAPTER IV	103
4. Main directions of intensification in the production of concrete	103
4.1. Intensification of the preparation of concrete mix	103
4.2. Filling of concrete	111
4.3. Chemical additives for concrete mixes	116
4.4. Properties of concrete mix and concrete	132
CHAPTER V	146
5. Experimental-industrial production and feasibility justification of research results	146
5.1. Spheres of rational applications of RAFA additives	146
5.2. Experimental-industrial production	148
5.3. Feasibility study of research results	160
REFERENCES	161

*Посвящаю светлой
памяти друга и
наставника Мухамедамина
Кабуловича Тахирова*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Производство монолитных и сборных железобетонных конструкций - одна из материале- и энергоёмких отраслей народного хозяйства. В связи с этим, одной из важнейших в этой сфере является проблема всемерной экономии материальных, энергетических и трудовых ресурсов при обеспечении их высокого качества. Технология бетона к настоящему времени располагает широким набором средств, позволяющих снижать ресурсоёмкость без ухудшения его технических свойств. Одно из них - использование различных пластифицирующих добавок. В этом направлении накоплен большой объём экспериментальных и теоретических исследований, а также значительный практический опыт.

Проблемами влияния добавок ПАВ на цементные композиции и бетоны занимались такие известные ученые как Н.А. Ребиндер, Г.М. Беркович, Н.А. Хегерович, В.В. Стольников, С.В. Шестоперов, Ю.М. Баженов, В.Г. Скрамтаев, В.И. Соломатов, Г.И. Книгина, K.N. Napke, K. Nicolson, E. Sunderpмена и другие, которые внесли существенный вклад в решение вышеуказанных проблем.

Отечественными учеными И.У. Касимовым, М.К. Тахировым, А.И. Адылходжаевым, Н.А., Самиговым, Х.А, Акрамовым, С.А. Ходжаевым, М.М. Мирахмедовым, Е.В. Щипачевой, Б.Б. Хасановым, Р.Д. Тешабаевым, А.А. Ашрабовым, Б.А. Аскарковым, А. Тулягановым, У.А. Газиевым, Л.М. Ботвиной и другими также были проведены многочисленные научные исследования по изучению влияния добавок ПАВ на структурообразование цементного камня, физико механические и реологические свойства бетона, которые доказали эффективность этого направления в технологии бетонов.

В настоящее время ведутся научно-исследовательские работы, направленные на разработку новых пластифицирующих добавок, в результате которых была установлена перспективность применения в качестве пластифицирующих добавок ацетонформальдегидных водорастворимых смол, обладающей комплексом ценных свойств.

В Республике Узбекистан осуществляются широкомасштабные меры по углублению экономических реформ, в том числе и по увеличению производства новых строительных материалов, конструкций и изделий. В стратегии развития Узбекистана на 2017-2021 годы поставлены такие задачи, как «повышение конкурентоспособности национальной экономики, снижение расхода энергии и ресурсов в экономике».

Представленное в монографии исследование, в определенной степени, служит выполнению задач, предусмотренных указом Президента Узбекистана от 7 февраля 2017 года № УП-4947 «О стратегии действия по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлением Президента Республики Узбекистан от 28 сентября 2016 г. № ПП-2615 «О программе мер по дальнейшему развитию строительной индустрии на 2016-2020 годы», Постановлением Президента Республики Узбекистан от 21 октября 2016 года ПП-2639 «О государственной программе по строительству доступных жилых домов по обновленным типовым проектам в сельской местности на 2017-2021 годы», Постановлением Президента Республики Узбекистан от 8 августа 2017 года № ПП-3182 «О первоочередных мерах по обеспечению ускоренного социально-экономического развития регионов».

Монография посвящена вопросам технико-экономического обоснования и практического применения модифицированных продуктов метилолацетона в технологии бетона.

ГЛАВА I

1. Органические пластифицирующие добавки

1.1. Влияние добавок гидрофилизующих ПАВ на свойства цементных композиций

По современным представлениям органические ПАВ, применяемые в технологии бетона, делятся на ионогенные и неионогенные типы гидрофилизующего и гидрофобизирующего действий [1,16].

Ионогенные ПАВ могут быть анион или катионоактивными, диссоциирующими в воде соответственно на поверхностно-активный анион (катион) и не активный катион. Неионогенные ПАВ растворяются в воде в виде отдельных молекул, не диссоциирующих на ионы [1,3].

Действие ПАВ носит весьма сложный характер и зависит от их функционального состава, строения, концентрации, а также от минералогического состава цемента.

В молекулах ПАВ содержатся гидрофильные полярные $N(CH_3)_3$ CNH_2 , OH $COOH$ SO_3H , OSO_3H , $COOM$ и гидрофобные неполярные (углеводородный радикал) группы. В поверхностном слое ориентация ПАВ такова, что полярная часть обращена к воде, а углеводородная к менее полярной среде [22].

В упрощенном виде механизм действия ионогенных ПАВ заключается в адсорбции их на границе «вода-воздух» или «вода-твердое вещество» и снижении поверхностного натяжения на границе раздела фаз. Адсорбируясь своими полярными группами на гидрофильных поверхностях вяжущих, органические ПАВ создают на них тончайшие мономолекулярные пленки, уменьшающие коэффициент внутреннего трения между зернами вяжущего.

Молекулы неионогенных ПАВ, состоящие из электростатических с зарядов противоположных знаков, отталкивают цементные частицы друг от

друга, создавая вокруг них водную оболочку, препятствуя тем самым их слипанию. Это и определяет пластифицирующее действие ПАВ [16].

Наиболее изученным и широко распространенным в современной технологии бетона представителем ионогенных ПАВ являются (СОБ и СДБ).

ССБ - представляют собой натриевые и калиевые или кальциевые соли с примесью и минеральных веществ. Концентраты СДБ являются отходами целлюлозно - бумажных комбинатов при переработке сульфитно-спиртовой барды. СДБ существенно отличается от ССБ тем, что она на

70-80 % состоит из лигносульфонатов, за счет снижения в ней сахара [14]. В последнее время выполнены многочисленно работы по механической, термической и химической модификации лигносульфонатов [11].

Так, получены продукты М-4, УПБ, НСДБ, ХДСК, отличающиеся суперпластифицирующим эффектом. Лигносульфонаты по своему строению представляют собой ароматические ядра, соединенные пропановыми остатками в длинные неполярные цепочки, с включенными в них полярными сульфо и карбоксильными группами. Такое строение и обуславливает проявление ими поверхностно-активных свойств [15].

Главной составной частью ССБ и СДБ и их производных, с точки зрения пластифицирующих свойств, являются кислоты и их соли (сульфолигнаты). Действие этих добавок состоит в образовании на поверхности цементных частиц коллоидно-адсорбционных слоев сульфолигнатов, покрывающих полностью или частично (в зависимости от дозировки ПАВ) поверхность цементных частиц. Адсорбционные слои сульфолигнатов, удерживают вблизи поверхности цементных частиц значительное число молекул воды, частично связанной с поверхностью непосредственно молекулярными силами, частично заключенной в адсорбционном слое между молекулами сульфолигнатов.

Возникающие, таким образом, адсорбционно-гидратные слои обеспечивают гидродинамическую смазку между частицами и стабилизацию

зерен цемента, что и является основной причиной пластификации цементных композиций [15].

Вместе с тем эти адсорбционные слои относительно затрудняют доступ воды к минералам цемента и тем самым оказывают замедляющее действие на процессы химического взаимодействия между цементом и водой, и следовательно и на процесс твердения в целом.

Однако, согласно данным, приведенным в работе, процесс пептизации клинкерных минералов в присутствии добавки [1] и адсорбция сульфогликолатов носит избирательный характер, что обусловлено, по мнению авторов, различной степенью возрастания дисперсности их после взаимодействия с водой. Наибольшей адсорбирующей способностью обладает C_3A , далее C_3AF , затем C_2S . Хотя β - C_2S практически не адсорбирует молекул добавки, количество связанной воды в процессе гидратации двухкальциевого силиката в присутствии ПАВ уменьшается в 20 раз [22]. Таким образом, действие ПАВ заключается не только образованием адсорбционных слоев на поверхности частиц, но и влиянием на процесс гидратации и межфазных слоев жидкости. Поэтому пластифицирующая способность СДБ снижается по мере повышения алюминатности цемента. В связи с этим С.В.Шестоперовым и др. авторами предложено цементы по степени пластифицирования их СДБ разделить на три группы зависимости от минералогического состава вяжущего:

1 группа $C_3A < 6\%$; $C_3S > 50\%$, 2 группа C_3A от 6 до 10%; $C_3S > 40\%$, 3 группа $C_3A > 10\%$; $C_3S > 35\%$.

Б.Д. Тринкером установлено также избирательное действие добавок ССБ: она заметно повышает пептизацию CaO в жидкой фазе суспензии C_3S и особенно C_3A и резко снижает содержание CaO и Al_2O_3 в жидкой фазе суспензии СА. Предполагается, что такое изменение концентраций в жидкой фазе может обусловить и изменение состава продуктов гидратации.

Несмотря на повышение растворимости C_3A и СА СДБ вызывает замедление гидратации обоих минералов. Что это явление может быть связано как

с адсорбциии добавок частицами безводного вяжущего, так и стабилизаций ПАВ, зародышей гидратной фазы.

Пластифицирующий эффект немодифицированных добавок СДБ выражается повышением подвижности на 35-40 % или снижением водопотребности на 5-10 %. Вместе с тем, при повышении температуры окружающего воздуха и бетонной смеси пластифицирующий эффект СДБ резко снижается [20].

Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что адсорбция ПАВ на цементных частицах и на зародышах новообразовали является одним из факторов, замедляющих его гидратацию и значительно влияющих на увеличение сроков схватывания вяжущего. Поэтому в начальные сроки твердения у цементов с СДБ наблюдается некоторое снижение прочности по сравнению с контрольными образцами. Но в результате более мелкодисперсной кристаллизации и дополнительной пептизации происходит, интенсивное нарастание прочности в поздние сроки твердения. Существенным обстоятельством, увеличивавшим прочность в поздние сроки твердения является и пониженная водопотребность цемента. Повышению прочности цемента способствует также изменение формы кристаллогидратов. В работе [26] показано, что при гидратации C_3A в воде с добавкой ССБ гидроалюминат кальция образуется не в виде гексогональных пластин, а в виде игл. Адамович А.Н. в своих исследованиях также получил данные, свидетельствующие о том, что C_3A в присутствии ССБ кристаллизуется в виде переплетающихся игл.

Прочностной эффект при введении СДБ в количестве 0,1-1,15; составляет 15-20% или выражается снижением расхода цемента на 5-10 %.

Новым направлением в использовании ПАВ в технологии бетона, является применение добавок лигносульфонатов повышенной дозировки.

Применение СДБ в количестве 0,4 % позволило уменьшить расход цемента на 30 кг/м³. Однако, при увеличении содержания СДБ в бетонной смеси процессы схватывания и твердения в начальные сроки замедляются. В работе

[24] показана возможность направленного улучшения свойств СДБ механической, термической и химической модификацией.

В результате выявлена возможность применения СДБ в количестве 0,12-0,7 %, что соответственно повышает пластифицирующую способность без снижения прочности и позволяет экономить расход цемента до 10%.

Воздухововлекающий эффект СДБ положительно влияет на пластифицирование бетонной смеси и повышению морозостойкости бетона, но в тоже время является фактором, снижающим прочность бетона [24]. К недостаткам добавок СДБ относятся:

- замедление сроков схватывания вяжущего в начальные сроки твердения, что вместе с воздухововлечением отрицательно влияет на сроки тепловлажностной обработки и прочность пропаренного бетона;

- непостоянство химического состава ПАВ, являющимся продуктом переработки отходов целлюлозно-бумажной промышленности, что оказывает отрицательное влияние на стабильность действия добавки и приводит к получению во многих случаях противоречивых данных.

Добавки, содержащие карбоксильные группы, интенсифицируют процессы растворения, с одной стороны, и связывают перешедшие в раствор ионы кальция с другой. Оба эти процесса усиливаются с увеличением концентрации полимера в системе и содержания в нем карбоксильных групп. Так, для добавки ПАА-1, сополимера акриловой кислоты и акриламида содержащей карбоксильные группы, интенсифицирующие процессы растворения в жидкой фазе цементных паст, в начальный момент наблюдается резкое увеличение концентрации кальция и сульфатов. В отличие от исходного цемента при введении ПАА-1 в количестве 1 % и выше гидросульфатоалюминат кальция почти не образуется, поэтому концентрация сульфатов в течение 24 часов изменяется незначительно. В результате взаимодействия карбоксильных групп добавки ПАА-1 с ионами кальция возникают полиакрилаты кальция образующие на поверхности цементных частиц экранирующие пленки. Последнее обуславливает усиление роли коагуляционной структуры в начальные моменты гидратации и система

заметно загустевает. Характер изменения пластической прочности цементных паст показывает, что прочность начальной структуры твердения определяется образованием гидросульфоалюминатов кальция. Несмотря на то, что ПАА-1 задерживает упрочнение структуры во времени, в начальные сроки (до 6 ч) пластическая прочность выше за счет прочности дополнительной коагуляционной структуры, создаваемой с помощью полимера.

Аналогично ПАА-1 действует синтетическая пластифицирующая добавка СПД, предложенная С.А. Мироновым, А.В. Лагойдой и О.С. Королевой, в составе которой содержатся карбоновые кислоты. Введение 0,015% СПД в низкоалюминатный цемент обеспечивает в жидкой фазе более высокие концентрации кальция в начальные сроки в результате повышения растворимости клинкерных минералов, а в последующие сроки вследствие торможения кристаллизации кальций содержащих фаз.

При введении добавки к-4 полимера на основе полиакрилонитрила [49] также возникает в начальные сроки более прочная коагуляционная структура. Однако малые дозировки (0,03 %) не оказывают существенного влияния на формирование структуры твердения как в начальные сроки, так и в последующие сроки. В составе к-4 содержится незначительное количество карбоксильных групп, поэтому она не интенсифицирует процесса растворения. Добавка к-4 адсорбируется на клинкерных зернах, а зародышах новообразований, как гидроалюминатных, так и на гидросиликатах, вследствие чего тормозятся процессы растворения клинкерных минералов, так и кристаллизация новообразований.

Изменение кинетики нарастания пластической прочности находится в соответствии с изменениями, происходящими в жидкой фазе. Таким образом, зная в каком направлении будет изменяться состав жидкой фазы при введении той или иной добавки, можно представить, как изменится и кинетика структурообразования.

1.2. Влияние гидрофобизирующих ПАВ на свойства цементных композиций

Отличительной особенностью гидрофобизирующих ПАВ является их полифункциональное действие. Эти добавки оказывают двойное действие: пластифицируют бетонные смеси с одновременной объемной гидрофобизацией материала, что способствует повышению долговечности бетонных и железобетонных конструкций. Гидрофобизирующие ПАВ делятся на однокомпонентные и комплексные [15,51].

Однокомпонентные гидрофобизирующие ПАВ характеризуются недостаточно высокой пластифицирующей способностью, а некоторые из них, кроме того, и нерастворимы в воде, что усложняет их прямое использование в обычной технологии бетона.

Поэтому более перспективны комплексные добавки, изготавливаемые из гидрофобизирующего и гидрофилизирующих составляющих компонентов. К ним относятся: композиция, состоящая из равных частей СЖК и СДБ; битумные эмульсии (БЭ) - водные дисперсии битума с эмульгатором СДБ и эмульсосуспензии - битумная эмульсия с каолиновой суспензией.

В общем виде механизм действия однокомпонентных гидрофобизирующих ПАВ заключается в избирательной адсорбции молекул и создании на поверхности частиц цемента тонких водоотталкивающих слоев, а комплексных добавок в том, что пластифицирующее действие гидрофобизирующего компонента связано с образованием слоев из ориентированных молекул, а гидрофилизирующего компонента - с состоянием тонких слоев воды, прилегающих к твердым частицам.

Примером однокомпонентного ПАВ гидрофобизирующего действия является смола нейтрализованная воздухововлекающая. (СНВ) - абиетиновая смола, омыленная каустической содой. СНВ представляет собой водорастворимый продукт канифольных производных с преимущественным содержанием окисленных смоляных кислот [44].

Механизм действия добавок СНВ в том, что молекулы абистата натрия осаждаются на поверхности зерен цемента, ориентируясь своими углеводородными цепями в окружающую водную среду, а полярными карбоксильными группами - к поверхности цемента. При введении СНВ в воду значительно снижается поверхностное натяжение последней и возникает микропена, способствующая заключению большого количества воздушных пузырьков между тончайшими слоями водных оболочек.

При введении в состав цементов гидрофобно-газообразующих добавок кремнийорганических соединений силиконатов и алюмосиликатов натрия (ГКЖ - 10, ГКЖ - II, АМСР), полигидросилоксанов (ГКЖ - 94, ГКЖ - 94 "М") и алкоксисилоксанов (ФЭС-5, ФЭС - 66) добавки ПАВ адсорбируются на зернах цемента. При этом в водной среде происходит взаимодействие между добавкой и свободной известью с образованием, как показано в работах кальциевых полисилоксанов и выделением водорода [23]. Эти пузырьки водорода и вовлеченный воздух прилипают к зернам цемента, в результате чего доступ воды к ним затрудняется. Диффузия воды также затрудняется за счет того, что на поверхности цементных зерен образуются молекулярно-адсорбционные пленки из ориентированных ассиметрично-полярных молекул, обладающие гидрофобными свойствами, что приводит к значительному замедлению нарастания прочности бетона.

Модифицирование кремнийорганическими соединениями позволяет придать бетону весьма высокую коррозионную стойкость и морозостойкость [33].

Наряду с положительным действием органических ПАВ введение в состав цементных композиций добавок ионогенного типа (лигносульфонаты) по мнению Ю.М. Бутта вызывает нежелательные явления: адсорбируясь на зернах цемента замедляют процессы гидратации и твердения вяжущего, следовательно и прочность в начальные сроки. К понижению прочности приводит также и воздухововлекающее действие добавок.

Наилучшее использование ценных свойств индивидуальных ПАВ может быть достигнуто при соответствующем объединении их в комплексной добавке, составляемой из нескольких веществ.

В работе показана эффективность совместного использования добавок пластифицирующего и микропено – или газообразующего действия, а также с ускорителями твердения. Вместе с тем применение комплексных добавок несколько усложняет технологию приготовления бетонной смеси, вследствие чего они не имеют широкого практического применения.

Многие из рассмотренных выше органических ПАВ являются продуктами, полученными на основе отходов промышленности, и поэтому характеризуются нестабильностью вещественного состава, что в целом снижает эффективность их практического использования и более перспективными считаются добавки целевого назначения.

1.3. Влияние добавок ПАВ синтетических полимеров на свойства цементных композиций

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений химизации технологии бетона является использование суперпластификаторов (СП) [5].

К ним относятся различные добавки, которые значительно разжижают бетонную смесь без отрицательного влияния на кинетику роста прочности бетона, что наблюдается у обычных пластификаторов типа СДБ [3]. Суперпластификаторы представляют собой синтетические полимерные продукты, которые вводятся в бетонную смесь в количестве 0,1-1 % массы цемента в пересчете на сухое вещество. Пластифицирующее действие СП ограничено во времени после введения, так как под влиянием щелочной среды цемента они подвергаются частичной деструкции, вследствие чего дальнейшее разжижающее действие их прекращается [15].

Суперпластификаторы подразделяются на 4 группы [4,56].

1. Меламиновые - продукты конденсации сульфированного меламина с формальдегидом.

2. Нафталиновые - продукты конденсации сульфированного нафталинформальдегида.

3. Лигниновые - модифицированные лигносульфонаты кальция.

4. Полиолевые - производные полиоксикарбоновой кислоты.

Наиболее эффективными являются СП первых двух групп, которые широко используют в Европейских странах, Канаде, США, Японии.

Отличительной особенностью СП является то, что добавки в 5-10 раз повышают подвижность бетонной смеси, а при сохранении заданной подвижности позволяют уменьшить водопотребность на 25-35 % с увеличением прочности бетона на 40-60 %.

Механизм действия СП заключается в удержании молекул добавки на поверхности цементных частиц и гидратных новообразований, в результате чего образуется проницаемая для воды адсорбционная пленка. Высокий разжижающий эффект СП обусловлен по мнению Ю.С. Черкинского значительным снижением поверхностного натяжения на границе раздела фаз: «вода – твердое вещество».

В работе [20] показано, что СП марок ММС, С-3, Н-1 уменьшают поверхностное натяжение воды, что способствует диспергированию цементного теста, тем самым замедляют гидратацию клинкерных минералов C_3S , C_3A и портландце-мента в ранние сроки твердения (до 3 сут.). Торможение растворения клинкерных минералов и замедление гидратации цемента при введении добавки С-3 на ранних стадиях отмечено и в работе [23].

Установлено, что С-3 тормозит кристаллизацию кальцийсодержавших фаз и эффект торможения проявляется тем сильнее» чем выше содержание C_3A в цементе. Сделан вывод о целесообразности введения С-3 в минимальных количествах, достаточных для целей пластификации. Добавка С-3 обладает также воздухововлекающей способностью, что приводит к формированию более крупнопористой структуры цементного камня при $v/c \text{ const}$, это должно было

бы отрицательно влиять на прочность бетона. Однако, снижения прочности не наблюдается, что может быть связано, как указано в работе [21] получением более плотного цементного камня.

Исследование структурообразования, проведенные на коническое пластометре при постоянном в/ц показали, что кинетика нарастания пластической прочности цементного теста с добавкой Н- I и С-3 в начальные сроки аналогична эталону. Однако, Н-I несколько удлиняет период существования коагуляционной структуры и тем больше, чем больше дозировка добавки. Еще большее удлинение индукционного периода наблюдается у цементного теста с добавкой С-3.

Замедляющее действие добавок 10-03 и 30-03 и торможение процесса твердения в начальные сроки отмечено и в работе [10].

Добавки СП рекомендовано использовать либо для получения нерасслаивающейся бетонной смеси при нормативном расходе цемента, либо для получения высокопрочных бетонов. Применение же СП для экономии цемента представляется нецелесообразным из-за дефицитности и относительно дорогой их стоимости.

Одним из новых разновидностей ПАВ, специально синтезированных в качестве добавок для бетонной смеси являются водорастворимые добавки ВРП С-I и С-2. Водорастворимые полимеры типа ВРП получают синтезом салициновой кислоты с формальдегидом в присутствии щелочного катализатора, а препараты С-I и С-2 путем поликонденсации салициловой кислоты, формальдегида, моноэтаноламина и мочевины. Все эти добавки являются пластифицирующими, не вовлекают воздуха и не замедляют нарастания прочности бетона на всех стадиях твердения [19,17].

Добавки ВРП-1 рекомендовано вводить в зависимости от алюминатности цемента в количестве 0,02-0,05%, а С-1 и С-2 0,5-2%, что позволяет сократить водопотребность на 10-15%, повысить прочность на 25-40% и сократить расход цемента до 10%. Однако, препараты содержат остродефицитную салициловую кислоту, вследствие чего имеют весьма ограниченное производство и

применение, кроме того, с повышением температуры окружающего воздуха и бетонной смеси пластифицирующий эффект резко снижается и удобоукладываемость бетонной смеси сохраняется лишь в течении 30-40 минут [25].

Большой класс органических ПАВ представляют водорастворимые смолы. Теоретическое и практическое обоснование эффективности применения в технологии бетона водорастворимых смол обоснована исследователями. В качестве добавок наиболее изученными являются водорастворимые смолы полиаминная № 89, алифатические эпоксидные марок ДЭГ-1, ТЭГ-1, карбамидные марок МФ-17, М-19-62, М-70, КС-6, меламиноформальдегидные марок ММФ-50, и ВМЛ-2, сланцевые марок АР, ФФ-2, ФРЭС, полиоксиэтилен [32]. Механизм действия добавок заключается в том, что полиаминная смола № 89 и алифатические эпоксидные смолы адсорбируются поверхностями гидратных новообразований и практически не адсорбируются негидратированными зёрнами цемента. При этом водный раствор смол понижает поверхностное натяжение на границе раздела жидкой и твердой фазы и разобцает частицы вянущего. Адсорбированные поверхностями зародышей гидратных соединения пленки затрудняют рост кристаллов новообразований, с одновременным увеличением числа зародышей и дисперсности кристаллогидратов. Карбамидные и сланцевые смолы адсорбируются, главным образом, негидратированными поверхностями вследствие чего не влияют на дисперсность продуктов гидратации и их действие заключается, в основном, в понижении поверхностного натяжения жидкой фазы и улучшении смачиваемости цементных зёрен [31].

В работе [47,46] предложена следующая модель процесса гидратации вяжущих в присутствии водорастворимых смол. Добавки первой группы существенно изменяют дисперсность продуктов гидратации и уменьшают физическую неоднородность структуры. Наличие в их структуре молекул полярных групп NH, OH, CH_2OH , приводит к образованию водородных связей между силикатными и алюминатными структурами гидратных соединений.

Фазовый состав продуктов гидратации силикатов кальция не меняется от введения различных водорастворимых смол. Смолы первой группы увеличивают дисперсность кристаллогидратов, а смолы второй группы не оказывают влияния ни на фазовый состав, ни на дисперсность продуктов гидратации вяжущих. Смолы первой группы ускоряют гидратацию.

Избирательная адсорбция смол первой группы гидратными порхностамн и на границах раздела фаз способствует сохранению жидкой фазы в поровом пространстве и росту в нем кристаллов. Фазовый состав продуктов гидратации цементов, твердевших в присутствии этих смол при 20-25°C и при 80-90° С не имеет принципиальных различий. Повышение же прочности бетонов с добавками смол первой группы после тепловлажностной обработки, объясняют уменьшением неоднородности распределения гидратных структур по общему материалу и увеличением количества адсорбционно-связанной воды.

Смолы второй группы адсорбируясь поверхностями зерен цемента, замедляют их гидратацию, в результате чего снижается прочность бетонов с добавками этих смол после тепловлажностной обработки.

Замедляющий процесс гидратации зерен портландцемента в начальные периоды твердения из-за образования совместных кластеров с водой отмечено и в работе [41].

Большинство рекомендованных для производственного применения водорастворимых смол вводят в бетонную смесь в относительно большем количестве (1,5%), сравнительно дорого стоят и дефицитны. Наиболее рациональными областями их использования являются специальные виды сооружений, к которым предъявляются повышенные требования по эксплуатационным показателям свойств. Поэтому применение добавок этого класса в обычной массовой технологии бетона представляется нецелесообразным.

Из аминокислотных веществ в качестве добавок бетону рекомендовано использовать полиэтиленполиалигрин (ПЭПА) и триэтаноламин (ТЭА).

Введение в бетонную смесь НЭПА в количестве 0,05 - 0,5 % позволяет снизить водопотребность бетонной смеси на 5-10 % и повысить прочность на 10-15%. Увеличение прочности бетона при введении добавки ПЭПА, как указывают авторы [52] обусловлен увеличением объема и удельной поверхности гидратных вообразований.

Триэтаноламин (ТЭА) применяют в качестве ПАВ самостоятельно или вводя в состав некоторых добавок к бетону и является одним из наиболее широко используемых интенсификаторов помола цементного клинкера [43].

ТЭА- продукт переработки окиси этилена $N(CH_2CH_2OH)_3$ относится к аминспиртам и принадлежит к классу катионоактивных ПАВ.

Механизм действия добавки ТЭА в количестве 0,01 - 0,1% состоит в ускорении гидратации трехкальцевого алюмината и твердения цемента. Вместе с тем это не способствует ускорению нарастания прочности цементного камня в ранние сроки, так как добавка замедляет гидратацию трехкальцевого силиката, образуя на поверхности его частиц адсорбционные пленки, снижающие водопроницаемость.

1.4. Влияние органических ПАВ на интенсификацию помола клинкера и свойства портландцемента

Одним из перспективных путей интенсификации процесса размол цементного клинкера и улучшения качественных показателей вяжущего является использование поверхностно-активных веществ.

Вопросам исследования влияния различных интенсификаторов помола на свойства цемента посвящены многочисленна работы советских и зарубежных ученых: П.А. Ребиндера, В.В. Товарова, Б.Д. Тринкера, М.Н.Хигеровича, С.М. Рояка, Б.Беке, Н.А.Самигова, Э.У.Касимова, М.К.Тахирова и многих других.

ПАВ, употребляемые в качестве интенсификаторов размол клинкера, в соответствии делятся на четыре группы: анионоактивные, катионоактивные, амфолитные, неионогенные.

К числу достаточно известных в настоящее время ПАВ - интенсификаторов помола относятся лигносульфонаты, абьетат натрия, мылонафт, асидол- мылонафт, кубовые остатки синтетических жирных кислот и их модифицированные продукты, окисленный петролатум, триэтаноламин, контакт Петрова, водорастворимые полимеры (ВРП), суперпластификаторы на основе мелаламин или нафталинсульфоокислот, фурфуролацетоновый мономер, диэтиленгликоль и др. В зависимости от типа применяемого ПАВ можно получать различные виды специальных цементов: пластифицированный, гидрофобный и т.п. [63,27]

Более целесообразным считается распыление водного раствора в первую камеру мельницы. В этом случае в мельнице создается адсорбционно-активная среда, повышающая эффективность процесса измельчения клинкера, вследствие эффекта адсорбционного понижения твердости, клинкера под действием ПАВ, открытого Ребиндером П.А., а также благодаря уменьшению налипания и агрегирования дисперсных частиц цемента. По мнению многих исследователей максимальное понижение твердости достигается при введении небольших количеств ПАВ (до 0,2%), способствующих созданию мономолекулярного слоя. При увеличении количества ПАВ сверх оптимального адсорбционный эффект понижения прочности твердых тел заметно снижается [42].

Так, применение 0,1 % добавки ССБ позволило повысить удельную поверхность цемента на 23%. Совместное измельчение цементного клинкера с 0,2% этиленгликоля, глицерина, бензойной и салициловой кислот приводит также к увеличению дисперсности цемента на 10-20 %. Широкое практическое применение в качестве интенсификатора помола имеет триэтаноламин (ТЭА). При введении 0,02 – 0,025% ТЭА в мельницу тонкость помола цемента повышается на 15-20 %, а часовая производительность увеличивается в среднем на 14 %. Использование карбамида в качестве интенсификатора помола повышает производительность шаровых мельниц на 20-25 % . По данным С.М. Рояка и др. Применение композиции ТЭА + ССБ в соотношении 1:1 при одинаковой тонкости помола позволяет повысить производительность мельниц

на 13-17 %. В работе показана возможность повышения тонкости помола цемента применением 0,015 % ВРП на 12 %.

Эффект интенсификации размолла цементного клинкера добавками ПАВ может быть использован как для повышения тонкости помола, так и для увеличения производительности мельниц.

Весьма важным положительным фактором влияния ПАВ как интенсификаторов помола является и их дефлокулирующее действие. Создание на активных участках поверхности диспергированных частиц мономолекулярных пленок воды или водных растворов ПАВ устраняет агрегацию и слипание тонкодисперсных зерен цемента. Общая влажность измельчаемого клинкера по мнению А.В. Болконского и др. должна быть не более 1-1,5 %, ибо дальнейшее повышение влажности приводит к замедлению процесса измельчения.

На свойства портландцемента, как известно, значительное влияние оказывает не только минералогический состав, но и тонкость помола и гранулометрический состав вяжущего.

Более благоприятно проходят процессы гидратации и наиболее интенсивно нарастает прочность у цементов с определенным гранулометрическим составом. По мнению Б. Беке рост прочности цемента зависит не столько от величины удельной поверхности размолотого цемента, сколько от его зернового состава. Кюлем установлено, что с увеличением тонкости помола нарастание прочности цемента может снизиться или даже прекратиться.

По мнению Веню М., Черника А., Тахирова М.К. и др. величина прочности цемента через 1-2 сут. обусловлена наличием фракции менее 5-7 м-км, через 7 сут. фр. менее 20-25 мкм, а через 28 сут. фр. менее 26-30 мкм. Частицы же размером более 40 мкм играют роль только наполнителя. Анализ результатов исследований многочисленных советских и зарубежных ученых показал, что у различных цементов (в зависимости от минералогического состава) требуемое количество фр. 3-30 мкм, обеспечивающих прочность цементного камня в 28-сут. возрасте, должно быть следующим: у рядового цемента - 40-50 %, высокомарочного - 55-60%, высших марок - свыше 70 % [4,27].

Применение ПАВ оказывает существенное влияние и на фракционный состав продуктов измельчения. Рядом исследований установлено, что совместное измельчение добавок ПАВ (ТЭА, бензойная кислота) с цементным клинкером способствует уменьшению содержания в цементе фракции менее 10 мкм с одновременным ростом содержания частиц размером 10-30 мкм. Вместе с тем, при добавке 0,25 % ССБ в цементе повышается количество частиц до 10 мкм и более 60 мкм. Очевидно, что фракционный состав размалываемого клинкера можно регулировать количеством ПАВ и продолжительностью измельчения. Действительно в работе была показана возможность регулирования гранулометрического состава портландцемента от дозировки применяемого интенсификатора помола.

Следует также отметить, что применение некоторых интенсификаторов помола (ВРП-1) позволяет повысить прочность цементного камня в ранние сроки твердения. Это явление объясняет автор улучшением гранулометрического состава [27,18].

Среди водорастворимых смол сравнительно малоизученными являются ацетоноформальдегидные (АЦФ) олигомеры, эффективность применения которых в качестве добавок к бетону обоснована в работах, выполненных под руководством проф. Тахиров М.К.

Водорастворимая САФА смола, представляет собой продукт конденсации ацетона с формальдегидом при их соотношении 1:3. В настоящее время относительно изученной является добавки смолы САФА.

Смола САФА, являясь ПАВ неионогенного типа, при введении в бетонную смесь за счет образования адсорбционно-сольватной пленки на поверхности зерен цемента оказывает пластифицирующее и диспергирующее действие, не вовлекает воздуха и замедляя процесс структурообразования, способствует ускорению кристаллизации на ранних стадиях гидратации и повышению однородности структуры, плотности, прочности и морозостойкости цемента и бетона.

Вместе с тем, анализ литературных данных показывает, что диапазон эффективности применения добавок АЦФ смол может быть значительно расширен путем модификации исходных продуктов конденсации ацетона и формальдегида аминами и альдегидами. В этом случае представляется возможным в широких пределах изменять состав и свойства получаемых олигомеров, тем самым направленно регулировать свойства бетонной смеси и бетона их добавками.

Разработан способ получения метилольных производных ацетона (β – кетоспиртов), в которых в качестве катализатора использован триэтиламин. Отличительной особенностью полученного метилолацетона от смолы типа САФА является применение катализатора, что позволяет увеличить выход основного продукта с сравнительно высокой химической чистотой. При дальнейшей обработке метилолацетона аммиаком увеличивается реакционная способность олигомера за счет замены эфирной связи на азотную связываются остатки свободного и полуацетального формальдегида, повышается молекулярная масса. Применение в качестве модификатора фурфурола приводит к увеличению молекулярной массы и улучшению поверхностно-активных свойств олигомера. Полученные таким образом продукты относятся к ПАВ неионогенного типа и содержат в своем составе карбонильные группы, азотные в виде вторичного и третичного амина.

Модифицированные продукты метилолацетона получают из относительно недефицитных и недорогих составляющих компонентов, отличаются простотой производства и характеризуются повышенным содержанием поверхностно-активных химических групп, что и явилось основанием для постановки исследований.

ГЛАВА II

2. Структурообразование цементного камня в присутствии добавок САФА

2.1. Влияние добавок на кинетику твердения и прочность цементного камня

С практической точки зрения важное значение в технологии бетона имеет влияние ПАВ на кинетику твердения вяжущего, структуру и основные свойства цементного теста и камня.

Обычно эффективность пластифицирующих добавок оценивают по их влиянию на нормальную плотность, сроки схватывания, пластичность и прочность цементного камня в ранние и последующие сроки твердения.

Экспериментальные исследования выполнены с использованием трех разновидностей β - кетоспиртовых ПАВ: метилолацетона, метилолацетона модифицированного аммиаком (ацетоноформальдегидо - аминный олигомер), а также и фурфуролом (ацетоноформальдегидо-аминоальдегидный олигомер). Для удобства дальнейшего изложения приняты следующие условные наименования добавок соответственно МА, САФА-1 и САФА-2. Добавки вводили в воду затворения при приготовлении цементного теста.

Сначала было изучено влияние исследуемых добавок на нормальную плотность (н. г.), сроки схватывания и пластичность цементного теста (табл. 2.1.1).

Таблица 2.1.1.

Влияние вида и количества добавок на свойства цементного теста

Вид добавки	Количество добавок %	Нормальная густота цементного теста, %	Сроки схватывания, ч-мин.		Консистенция постоянный расход воды	
			Начало	Конец	Расход воды, мл	Распływ конуса, мм
Контрольная	-	28,0	1-05	8-45	171	109
САФА-1	0,05	26,5	1-27	8-05	<u>171</u> 156	<u>124</u> 109
-//-	0,10	24,0	1-35	7-38	<u>171</u> 153	<u>128</u> 109
-//-	0,15	23,5	1-49	7-15	<u>171</u> 149	<u>133</u> 110
-//-	0,20	22,5	1-55	7-45	<u>171</u> 147	<u>131</u> 108
САФА-2	0,05	26,0	1-32	8-19	<u>171</u> 150	<u>120</u> 110
-//-	0,10	23,5	1-44	8-28	<u>171</u> 142	<u>125</u> 110
-//-	0,15	22,5	1-57	8-41	<u>171</u> 140	<u>128</u> 110
-//-	0,20	21,5	2-07	8-54	<u>171</u> 137	<u>135</u> 109
МА	0,05	27,5	1-27	9-27	<u>171</u> 167	<u>116</u> 109
-//-	0,10	26,0	1-94	9-33	<u>171</u> 165	<u>118</u> 110
-//-	0,15	24,5	1-39	9-41	<u>171</u> 161	<u>121</u> 110
-//-	0,20	24,0	2-11	9-49	<u>171</u> 159	<u>124</u> 108

Примечание: в числителе приведены данные при постоянном расходе воды в знаменателе при одинаковой консистенции смеси.

Полученные данные свидетельствуют о том, что с увеличением содержания добавок показатели н. г. для цементного теста с САФА-1, САФА-2 и МА соответственно снизились на 4-5,5; 4,5-6,5; 2- 4 %, а увеличение пластичности характеризуется снижением водопотребности на II-14, 13 - 20 и 4 - 9 %. Весьма своеобразно добавки действуют на сроки схватывания цементного теста. Так, САФА-I замедляет начало схватывания на 22-50 мин., а конец сокращает на 40 - 90 минут.

Введение добавки САФА-2 замедляет начало схватывания на 27- 62 мин., сохраняет конец на уровне показателя контрольного цемента.

Метилолацетон оказывает замедляющее действие и увеличивает сроки начала на 27 - 66 мин., а конца схватывания на 42 - 64 минуты.

С целью получения сопоставимых результатов эксперимента кинетика структурообразования цементного камня в начальные сроки твердения изучена по изменению пластической прочности в пределах сроков схватывания цементного теста н. г. Результаты проведенных экспериментов приведены на рисунках 2.1.1 и 2.1.2., 2.1.3. и таблице 2.1.2.

Таблица 2.1.2.

Показатели пластической прочности цементного теста с добавкой метилолацетона в зависимости от количества и продолжительности твердения

Содержание добавки	Пластическая прочность, Мпа, через, час.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Без добавки	0,07	0,1	0,14	0,21	0,28	0,4	0,44	0,55	0,7	-
0,1	0,06	0,09	0,11	0,27	0,34	0,34	0,35	0,61	0,69	0,78
0,15	0,07	0,08	0,16	0,22	0,25	0,27	0,36	0,56	0,73	0,88
0,2	0,08	0,1	0,17	0,25	0,27	0,29	0,37	0,58	0,69	0,81

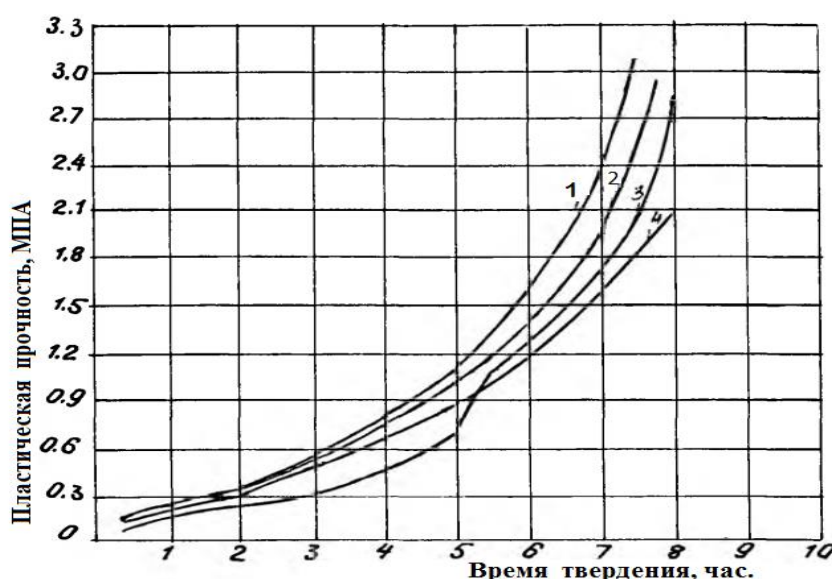


Рис. 2.1.1. Влияние добавки САФА-1 на пастическую прочность цементного теста:
1-2-3 – с содержанием добавки соответственно 0,15; 0,10; и 0,2%;
4 – эталонный цемент

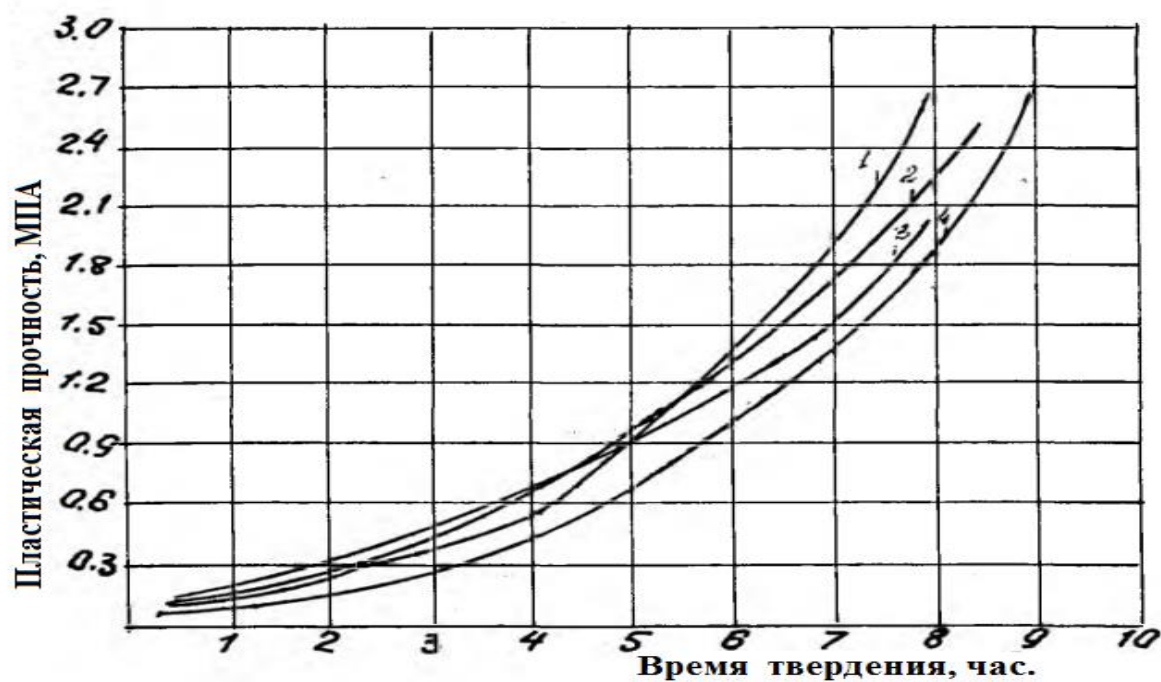


Рис. 2.1.2. Влияние добавки САФА-2 на пластическую прочность цементного теста:

1-2-3 – с содержанием добавки соответственно 0,15; 0,10; и 0,2%;
4 – эталонный цемент.

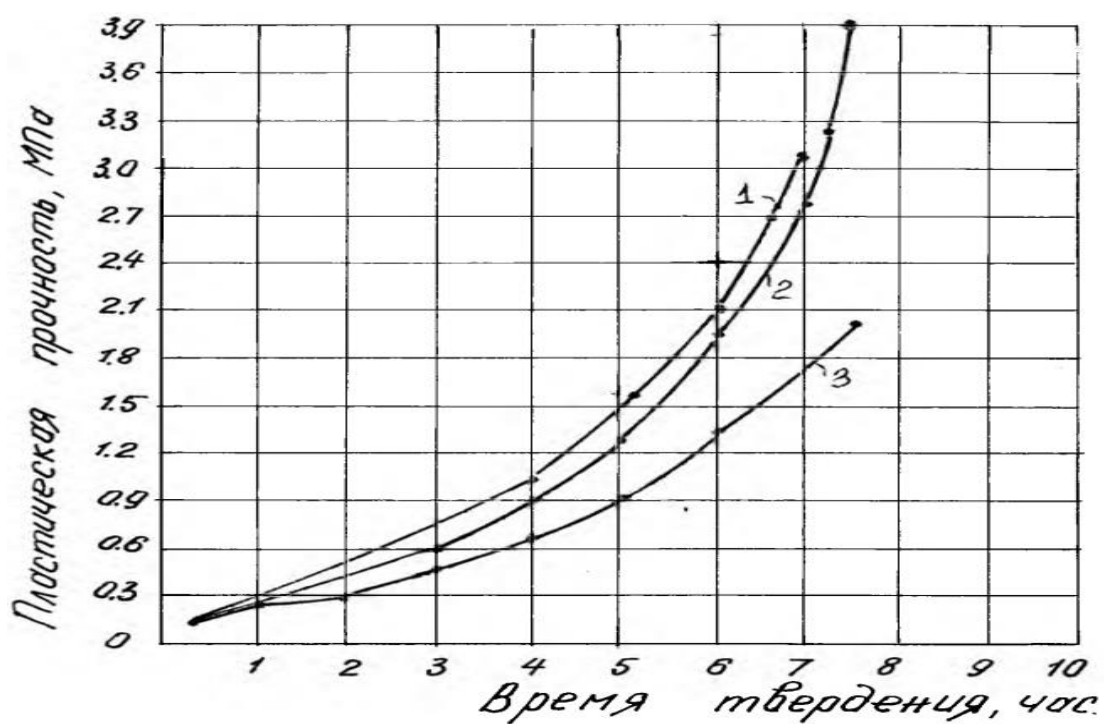


Рис. 2.1.3. Пластическая прочность пластифицированного цементного теста:

1,2 – соответственно с добавкой 0,15 и 0,10%;
3 – эталонный цемент.

Для наглядности обсуждения экспериментальных данных по влиянию добавок ПАВ на структурообразование цементного камня на пластограммах условно выделяют периоды: первый - начальный-процесс гидролиза и гидратации частиц цемента, второй - коагуляционный - медленного нарастания пластической прочности, третий - коагуляционно-кристаллизационный - переходный криволинейный участок, четвертый - кристаллизационный - интенсивного нарастания пластической прочности к концу сроков схватывания [12].

В зависимости от вида и количества добавки процесс структурообразования цементного камня протекает следующим образом.

Добавка САФА-I в количестве 0,1 - 0,15 % практически мало влияет на структурообразование в коагуляционный период и резкое нарастание пластической прочности наблюдается через 3 ч. При введении 0,2 % заметное ускорение структурообразования наступает после 4 ч. При этом показатели пластической прочности к концу сроков схватывания увеличиваются в сравнении с эталонным составом на 35-60%.

Добавка САФА-2 оказывает аналогичное САФА-1 действие, но с той разницей, что процесс коагуляционно-кристаллизационного структурообразования сдвинут по времени до 5 ч. и пластическая прочность увеличивается в этом случае на 20-25%.

Введение метилолацетона практически не влияет на кинетику процесса структурообразования и качественные изменения аналогичны эталонному составу, лишь к концу срока схватывания показатели пластической прочности цементного теста с добавкой несколько больше.

Таким образом, анализируя характер кинетики структурообразования цементного камня с добавкой β - кетоспиртов можно сказать, что лучший пластифицирующий эффект проявляют САФА-I и САФА-2. При этом САФА-I одновременно оказывает положительное влияние и на сроки схватывания цементного теста. Интенсифицирующий эффект структурообразования добавок

САФА-1 и САФА-2 в кристаллизационный период позволяет предположить и о положительном влиянии добавок на прочностные показатели цементного камня. Пластифицирующий эффект добавки МА незначителен и кроме того, этот продукт значительно замедляет процесс твердения, что может отрицательно отразиться на прочности цементного камня. Хотя все рассмотренные добавки и замедляют начало схватывания, следует отметить, что показатели пластической прочности цементного теста с β -кетоспиртами в коагуляционный период структурообразования находятся в пределах или выше эталонного состава, что объясняется пептизирующим действием ПАВ. Это в свою очередь позволяет предположить, что применение добавок не увеличит продолжительность предварительного выдерживания бетона до тепловлажностной обработки.

С целью определения влияния добавок на прочность образцов гидратированного цемента нормального твердения были проведены испытания, результаты которых приведены в таблице 2.1.3.

Таблица 2.1.3.

**Влияние вида и количества добавок на прочность образцов
гидратированного цемента**

Вид добавки	Количество вводимой добавки, %	Предел прочности ($\frac{R_{изг}}{R_{сж}}$, МПа) образцов нормального твердения, сут.		
		3	28	90
1	2	3	4	5
Контрольная	-	$\frac{4,5}{25,6}$	$\frac{6,6}{39,3}$	$\frac{6,8}{43,1}$
САФА-1	0,05	$\frac{4,9}{26,7}$	$\frac{6,8}{42,8}$	$\frac{7,0}{45,8}$
-//-	0,10	$\frac{5,3}{30,4}$	$\frac{7,4}{45,1}$	$\frac{7,5}{47,2}$
-//-	0,15	$\frac{5,8}{33,8}$	$\frac{7,5}{48,2}$	$\frac{7,7}{50,9}$
-//-	0,20	$\frac{5,1}{29,8}$	$\frac{6,4}{43,2}$	$\frac{6,9}{45,1}$
САФА-2	0,05	$\frac{4,7}{26,7}$	$\frac{6,6}{42,5}$	$\frac{6,8}{44,0}$
-//-	0,10	$\frac{4,9}{28,8}$	$\frac{6,8}{43,8}$	$\frac{7,1}{45,6}$

-//-	0,15	$\frac{5,1}{29,5}$	$\frac{6,9}{45,8}$	$\frac{7,2}{47,2}$
-//-	0,20	$\frac{4,6}{27,7}$	$\frac{6,2}{41,5}$	$\frac{6,5}{43,9}$
Метилолацетон	0,05	$\frac{3,8}{22,0}$	$\frac{5,0}{39,8}$	$\frac{5,5}{41,7}$
Метилолацетон	0,10	$\frac{4,0}{20,1}$	$\frac{5,5}{38,5}$	$\frac{5,9}{42,0}$
-//-	0,15	$\frac{3,7}{19,2}$	$\frac{4,8}{37,0}$	$\frac{5,4}{40,0}$
-//-	0,20	$\frac{3,5}{18,0}$	$\frac{4,3}{34,0}$	$\frac{5,0}{38,1}$

Полученные данные свидетельствуют, что прочность образцов с САФА-I и САФА-2 изменяется экстремально с тах при 0,15 % добавки. Количественно показатели прочности в зависимости от вида и содержания добавки в 28-ми сут. возрасте увеличиваются на 10-20 а в 90 сут. на 15-25 %.

Добавка МА, как и следовало ожидать, снизила прочность образцов на 10-15 %, несмотря на некоторое снижение водопотребности. Поэтому в дальнейшем в исследованиях добавка МА не применялась.

2.2. Влияние добавок САФА на тонкость помола и гранулометрический состав цемента

Тонкость помола и гранулометрический состав цемента является одним из основных факторов определяющих его физико механических свойства. Тонкость помола снижает производительность мельниц и увеличивает расхода электроэнергии. Применение добавок ПАВ позволяет либо увеличить производительность мелющего агрегата, либо повысить, удельную поверхность цемента [28].

О положительном влиянии ПАВ, применяемых в качестве интенсификатора помола на свойства цемента установлено в многочисленных исследованиях [18,37].

Исследования добавки САФА-I как интенсификатора помола были проведены в лабораторной двухкамерной шаровой мельнице. Как отмечалось в 1главе на процесс измельчения клинкера и его замедления по мере повышения

дисперсности размалываемого материала оказывает существенное влияние окружающая среда: влажность, температура и т.д. Вводимая совместно с клинкером добавка САФА создает в мельнице адсорбционного – активную среду.

В качестве мелющих тел, использовали шары различных диаметров, и с различным их соотношением и со стандартной загрузкой. В период проведения экспериментальных работ вес и количество мелющих тел было одинаковым, С целью получения стабильных результатов, заводской клинкер перед загрузкой в мельницу, дробили в щековой дробилке до величины 6-7мм. Для регулирования сроков схватывания цемента одновременно вместе с клинкером вводили в мельницу двуводный гипс в количестве 5 % от массы клинкера.

Количество вводимой добавки САФА изменяли в пределах от 0,02 до 0,2 % от массы клинкера. Сравнительные испытания, выполнены с применением ТЭА.(триэтаноламином)

Гранулометрический состав размалываемого клинкера и продолжительность измельчений были приняты одинаковыми.

Добавку вводили в мельницу одновременно с клинкером и двуводным гипсом.

Эффект действия добавки на размолоспособность клинкера устанавливали по тонкости помола (удельной поверхности) и улучшению гранулометрического состава получаемого цемента.

Исследования по определению влияния добавок на клинкера были проведены в два этапа. Сначала определили влияние добавки на увеличение дисперсности цемента при одинаковом времени помола с различным количеством добавок. Экспериментами было установлено, что для достижения заводской тонкости помола цемента продолжительность измельчения должна составлять 58 мин. Полученные результаты приведены в таблице 2.3.1.

Таблица 2.3.1.

**Влияние вида и количества добавок на тонкость помола цемента и
увеличение производительности мельниц**

Вид добавки	Кол-во добавки, %	Время помола, мин.	Остаток на сите 008, %	Удельная поверхность м ³ /кг	Повышение производительности мельниц %
1	2	3	4	5	6
Контрольная	-	58	9,4	2700	100
САФА-1	0,02	$\frac{58}{48}$	$\frac{4,9}{9,6}$	$\frac{3210}{2760}$	119
-//-	0,05	$\frac{58}{45}$	$\frac{4,6}{9,5}$	$\frac{3430}{2750}$	124
-//-	0,10	$\frac{58}{40}$	$\frac{4,2}{9,5}$	$\frac{3790}{2780}$	129
-//-	0,15	$\frac{58}{43}$	$\frac{4,6}{9,6}$	$\frac{3540}{2780}$	126
-//-	0,20	$\frac{58}{48}$	$\frac{5,2}{9,8}$	$\frac{3020}{2780}$	121

в числителе при одинаковом времени помола

в знаменателе при сокращенном времени помола

Наибольшее увеличение тонкости помола наблюдается при введении в мельницу 0,1-0,15% добавки САФА-1. При этом удельная поверхность цемента увеличивается на 1000-1100 см²/г и остаток на сите 008 составляет 4,2-4,6%. Это является следствием того, что добавка САФА-1 адсорбируясь на поверхности частиц клинкера снижает величину их поверхностной энергии, а также молекулы покрывают поверхность твердого материала, способствуют адсорбционному понижению его прочности, что максимальное понижение твердости достигается при введении небольших количеств добавок (0,1-0,15%) соответствующих мономолекулярному адсорбционному слою.

При увеличении количества добавки сверх оптимального, адсорбционной эффект понижения прочности твердых тел, как известно, заметно снижается. Это по-видимому обусловлено агрегированием второго адсорбционного слоя. Из рис. 2.3.1. и 2.3.2. видно, что по мере роста дисперсности при помоле клинкера скорость процесса измельчения снижается, что связано с усилением поверхностных взаимодействий разрушаемых частиц. Затем определили

влияние добавки САФА-1 на повышение производительности мельниц. Помол клинкера совместно с добавкой двухводного гипса и с различным количеством САФА-1 производили до одинаковой удельной поверхности, которая равнялась $2700 \text{ см}^2/\text{г}$. При проведении этого эксперимента периодически из мельницы отбирали пробу и определяли удельную поверхность и содержание в них частиц размером более 80 мк.

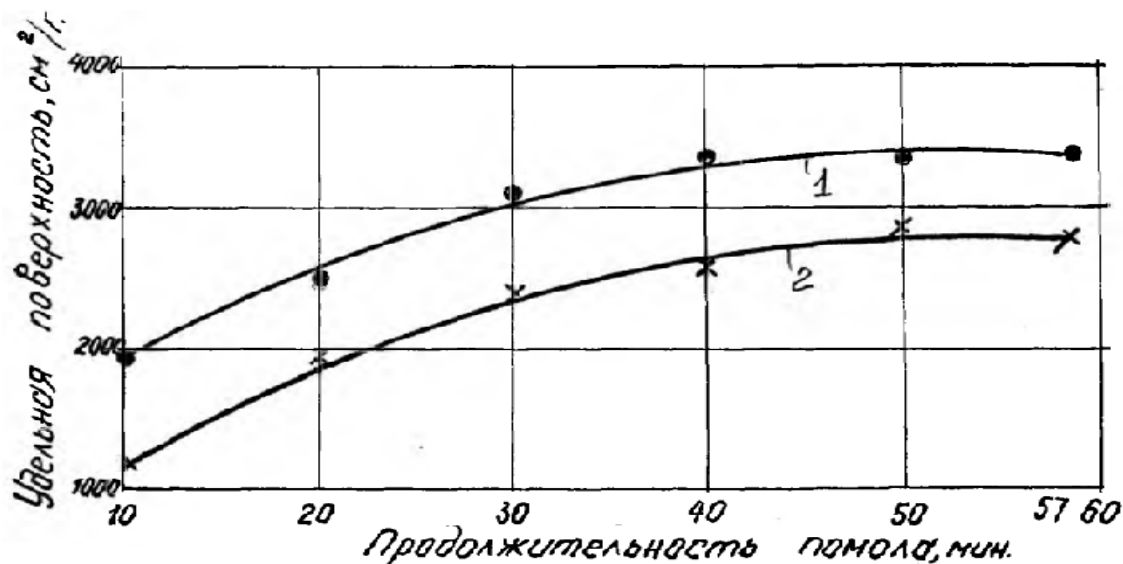


Рис. 2.3.1. Изменение удельной поверхности цемента во времени:

1 – с бодавкой 0,02% ТЭА; 2 – эталонный состав

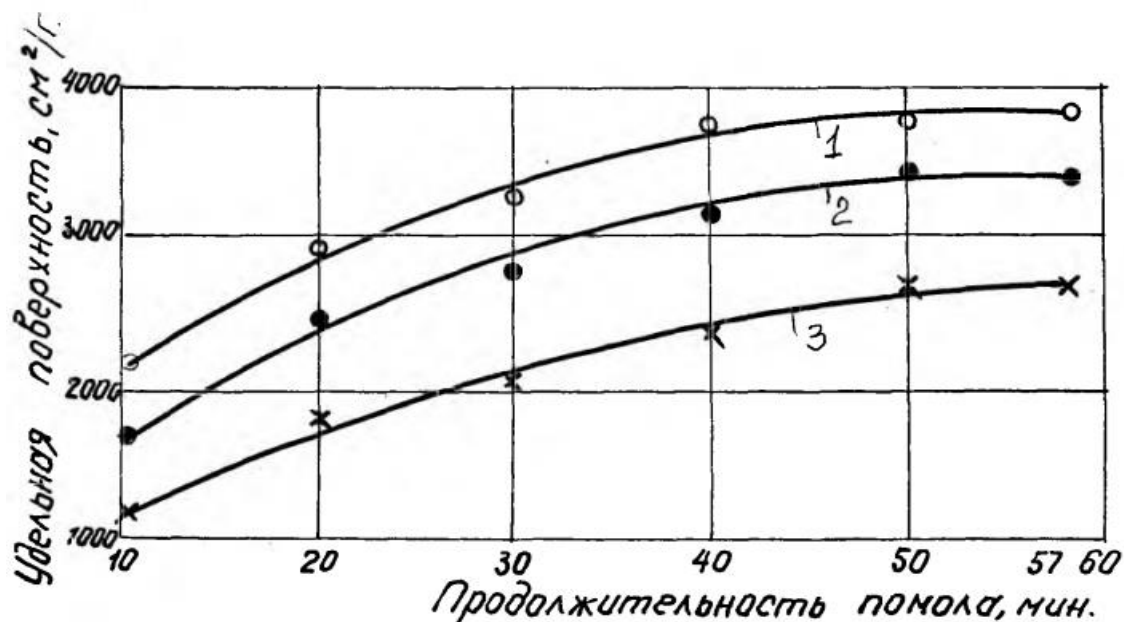


Рис. 2.3.2. Изменение удельной поверхности цемента во времени.

1 – с бодавкой 0,1% САФА-1; 2 – тоже, с 0,1% САФА-2; 3 – эталонный состав.

Из данных табл. 2.3.1. видно, что наибольшее увеличение производительности мельниц на 26-29 % достигается при введении 0,1-0,15% добавки САФА-I, а с триэтаноломином на 15-18%.

Для более полной характеристики цемента необходимо учитывать его зерновой состав, так как при всех прочих равных условиях, в том числе при одинаковой удельной поверхности, активность цемента определяется его фракционным составом. О положительном влиянии ПАВ на гранулометрический состав получаемого цемента отмечено во многих работах [44,59]. Следующим этапом исследования являлось изучение влияния как с добавки САФА на фракционный состав измельченного клинкера **добавками** так и без добавок. Было выявлено в соответствии принятой методикой исследований. Фракционный состав цемента определяли седиментационным анализом, где скорость падения зерен в жидкой среде изменяется в зависимости от их размеров.

Таблица 2.3.2.

Влияние вида и количества добавок на фракционный состав цемента

Вид добавки	Количество ввод. добавки, %	Удельная поверхность, см ² /г	Фракционный состав цемента, мк %						
			< 80	80-60	60-40	40-20	20-10	> 10	Сумма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Контрольная	-	2760	9,86	10,96	27,64	28,37	10,34	14,03	99,8
САФА-1	0,02	2750	9,6	9,49	23,32	26,45	12,30	18,64	99,8
САФА-1	0,05	2770	9,5	5,15	22,44	27,64	13,31	21,80	99,9
-//-	0,10	2780	9,6	4,44	19,82	28,33	15,66	22,07	99,8
-//-	0,15	2780	9,6	4,53	21,0	30,77	14,12	19,80	99,8
-//-	0,20	2760	9,8	5,68	26,60	32,65	10,46	14,77	99,8
ТЭА	0,02	2770	9,8	4,33	22,14	29,25	13,45	19,81	99,7

Из полученных результатов видно, что в цементе, полученном совместным помолем клинкера с 0,10% САФА по сравнению с контрольным наблюдается уменьшение фракции размером 60-80 и 40-60 мк на 45-55 % при одновременном

увеличении мелких фракции размером 10-20 мк соответственно на 35-45% а фракции 20-40 м на 8-10 %.

А фракционный состав цемента, полученного совместным помолем клинкера с добавкой 0,02 % триэтиломина наблюдается также уменьшение крупных фракций размером 60-80 мк на 35-40%; 40-60 мк на 20%, а размером 10-20 и > 10 мк увеличивается на 20-25%. В современной цементной промышленности, с при помоле клинкера вводят 15 % активных минеральных добавок. Проведенные эксперименты показали, что при применении в качестве активных минеральных добавок глиежа или электротермофосфорного шлака, содержание интенсификатора помола САФА-1 следует увеличить до 0,15%. Таким образом, исследования показали, что наилучшие показатели дисперсности и фракционного состава цемента обеспечиваются при совместном измельчении клинкера с добавкой САФА-1 в количестве 0,1-0,15% от веса клинкера.

Полученный пластифицированный портландцемент было подвергнут к физико-механическим испытаниям. Нормальная густота снизилась на 3% и водопотребность на 10-12%, начало схватывания увеличилась на 12-18 мин., а конец сократился на 48-65 мин.

Улучшение гранулометрического состава должно положительно повлиять на кинетику структурообразования цементного теста в кристаллизационный период и увеличение прочности цементного камня, как в ранние, так и в последующие сроки твердения.

Данные, приведенные в таблице 2.3.3. свидетельствуют о том, что прочность ПЦ с 0,1-0,15% САФА-1 в сравнении с эталонным через 3,28 и 90 суток твердения увеличивается соответственно на 30-35, 20-22, 18-20%.

Таблица 2.3.3.

**Показатели прочности цемента, полученного помолотом клинкера с
добавкой САФА-1**

Вид добавки	Кличество вводимой добавки, %	Предел прочности ($\frac{R_{изг}}{R_{сж}}$, МПа) образцов нормального твердения, сут.		
		3	28	90
Контрольная	-	$\frac{5,3}{32,1}$	$\frac{6,9}{45,2}$	$\frac{7,2}{48,3}$
САФА-1	0,10	$\frac{6,3}{43,3}$	$\frac{7,7}{55,8}$	$\frac{7,9}{58,1}$
-//-	0,15	$\frac{5,8}{41,2}$	$\frac{7,5}{54,3}$	$\frac{7,7}{56,0}$

**2.3. Влияние добавки на процесс гидратации портландцемента
и базовый состав гидратных новообразований**

Эффективность действия добавок ПАВ, как известно, определяется количеством активных радикалов, например, гидроксильной или карбонильной группы и величиной молекулы. Добавка САФА является низкомолекулярным олигомером и содержит 19-25% активных гидроксильных групп [50,40].

Как показали результаты физико-механических исследований цементного теста и камня, добавки САФА способствуют снижению водопотребности цемента, изменению кинетики структурообразования и повышения показателей структурно-механических характеристик цементного камня.

Добавки ПАВ типа СДБ, как правило, замедляют процесс структурообразования и прочность цементных композиций в начальные сроки твердения.

Эффектной добавкой является ПАВ, которая при хорошем пластифицирующем эффекте, в оптимальных дозировках не замедляет процесс гидратации портландцемента [31,29,28].

Исследование влияния добавки САФА-I на кинетику гидратации и фазовый состав гидратных новообразований выполнено с применением

химического анализа жидкой фазы цементного теста, количественного рентгенофазового, термогравиметрического анализа и ИК - спектроскопии. Морфологию гидратных новообразований и их фазовый состав определяли с помощью электронной микроскопии.

Основной объём исследований проведен с 0,15% САФА. Анализ химического состава жидкой фазы выполнен с участием и по методике Курбатовой И.И. Эксперименты выполнены на цементном тесте с в/ц=0,5 которое твердело при 20°С и влажности 65-70%. Через определенные интервалы времени жидкую фазу отделяли от твердой методом фильтрации под давлением. Результаты анализов жидкой фазы, полученные в кинетике, приведены в таблицах 2.3.1., 2.3.2. и 2.3.3.

При введении добавки САФА-1 значение рН жидкой фазы в начальный момент несколько выше, чем у эталонного цемента. В процесс гидратации значение рН, как это обычно наблюдается для портландцементов, непрерывно повышается (таблица 2.3.1.).

Таблица 2.3.1.

Изменение рН жидкой фазы ахангаранского цемента с добавкой САФА и без добавки

Время, час.	0,15% САФА	0% САФА
1/6	12,2	12,1
1	12,35	12,2
2	12,36	12,3
3	12,38	12,4
4	12,38	12,5
5	12,40	12,53
6	12,40	12,53
8	12,43	12,55
12	12,45	12,55
16	12,45	12,60
20	12,48	12,63
24	12,50	12,65

Как известно, если добавка тормозит гидратацию и в состав ее входят соединения натрия и калия, то концентрация ионов щелочных металлов в жидкой фазе будет ниже, чем у эталонного цемента. По изменению концентрации этих

ионов в жидкой фазе можно в ряде случаев, количественно оценить степень гидратации цемента. Как показали результаты экспериментов введение САФА не снижает концентрации ионов щелочных металлов в жидкой фазе, а концентрация ионов натрия в ней даже несколько выше (на 2-4 мг. экв./л), что свидетельствует об отсутствии торможения гидратации цемента при оптимальной дозировке добавки (табл. 2.3.2. и 2.3.3.).

Таблица 2.3.2.

Изменение состава жидкой фазы при гидратации ахангаранского цемента с добавкой САФА

Время, ч.	Ca ²⁺ мг. экв./л.	Mg ²⁺ мг. экв./л.	K ⁺ мг. экв./л.	Na ⁺ мг. экв./л.	R ⁺ мг. экв./л.	SO ₄ ²⁻ мг. экв./л.
1/6	42,85	3,24	17,41	13,05	30,46	41,94
1	50,99	4,33	27,41	16,53	43,94	47,94
2	57,84	2,32	27,65	16,53	44,18	34,24
3	63,42	3,41	-	-	-	34,04
4	71,13	3,48	27,92	18,3	46,22	32,96
5	68,56	2,78	-	-	-	31,67
6	64,27	3,24	28,43	20,9	49,33	31,02
8	55,27	3,24	29,2	23,9	53,10	29,53
12	38,99	2,85	33,5	29,58	63,08	17,55
16	18,21	3,17	38,0	43,5	81,05	0,02
20	16,28	2,63	43,0	48,72	91,72	0,02
24	15,43	2,78	50,8	60,9	111,7	0,02

Таблица 2.3.3.

Изменение состава жидкой фазы при гидратации ахангаранского цемента

Время, ч.	Ca ²⁺ мг. экв./л.	Mg ²⁺ мг. экв./л.	K ⁺ мг. экв./л.	Na ⁺ мг. экв./л.	R ⁺ мг. экв./л.	SO ₄ ²⁻ мг. экв./л.
1/6	42,85	4,63	17,2	12,4	26,6	56,07
1	51,42	4,63	26,8	13,02	39,82	42,09
2	55,28	4,17	26,9	15,2	42,1	37,66
3	63,42	4,17	27,0	16,3	43,3	-
4	60,42	2,85	27,5	17,4	44,9	34,67
5	57,42	2,32	28,2	18,4	46,6	34,67
6	54,85	3,24	28,8	18,8	47,6	34,67
8	52,70	1,85	30,1	19,5	49,6	34,94
12	49,28	1,39	34,0	28,2	62,2	34,02
16	27,42	1,39	39,1	39,1	18,2	22,68
20	20,57	1,85	42,9	45,6	88,5	12,2
24	13,71	1,39	51,2	59,7	110,9	5,99

Добавка САФА-1 ускоряет кристаллизацию этtringита. Основная масса его выделяется к 4 ч., о чем свидетельствует одновременное резкое снижение концентрации кальция и сульфатов в жидкой фазе (табл. 2.3.2. и 2.3.3.), а также более высокое содержание гидратной воды, чем в системе (табл. 2.3.4.). В этой же таблице приводятся также данные по содержанию в цементном камне гидрокси кальция. Концентрация Ca(OH)_2 возрастает примерно с одинаковой скоростью для цемента с добавкой и без неё.

Таблица 2.3.4.

Содержание Ca(OH)_2 и гидратной воды в цементном камне на ахангаранском цементе с добавкой САФА и без неё

Время гидратации, час.	Содержание в %			
	Ахангаранский+САФА		Ахангаранский	
	п.п.п.	Ca(OH)_2	п.п.п.	Ca(OH)_2
2	3,22	0,6	2,83	0,7
4	3,81	0,8	3,32	0,8
8	5,92	0,9	4,65	0,9
12	6,49	1,2	7,66	1,4
24	12,18	2,8	12,53	3,2
72	25,08	3,8	24,17	3,6

Таким образом, добавка САФА-I не замедляет гидратацию алита, но влияет на кинетику кристаллизации этtringита, существенно интенсифицируя выделение его в начальные сроки.

Далее были выполнены исследования кинетики гидратации цемента через 1, 3, 7 и 28 сут. твердения. На рис. 2.3.1., 2.3.2., 2.3.3. приведены рентгенограммы продуктов гидратации цемента при нормальной температуре соответственно без добавки (рис. 2.3.1.), с добавкой 0,15 % САФА-I, введенной в воду затворения (рис 2.3.2), пластифицированного портландцемента (рис. 2.3.3.).

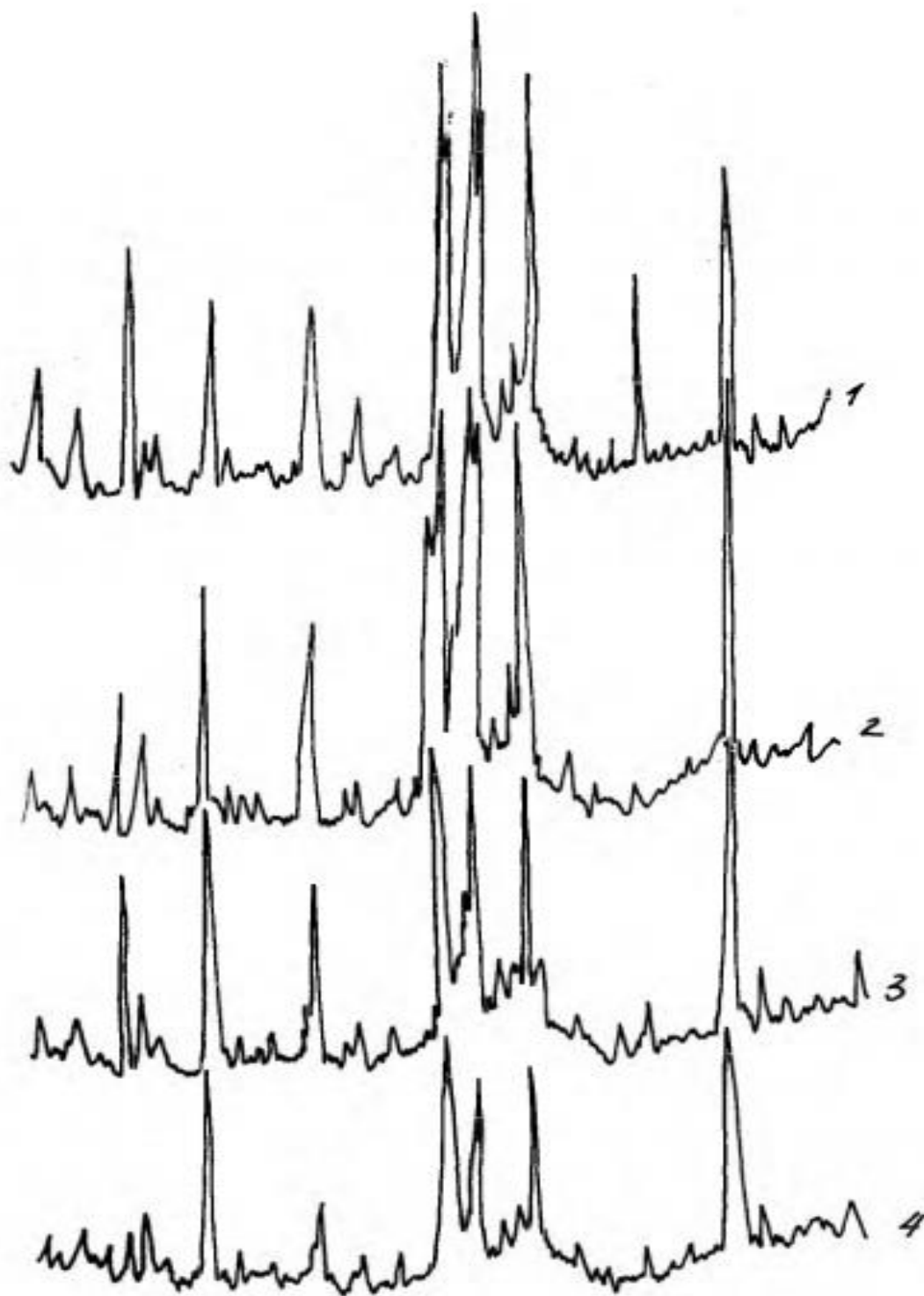


Рис.2.3.1 Рентгенограммы продуктов гидратации портландцемента.

1,2,3,4 – соответственно через 1,3,7 и 28 сут. твердения

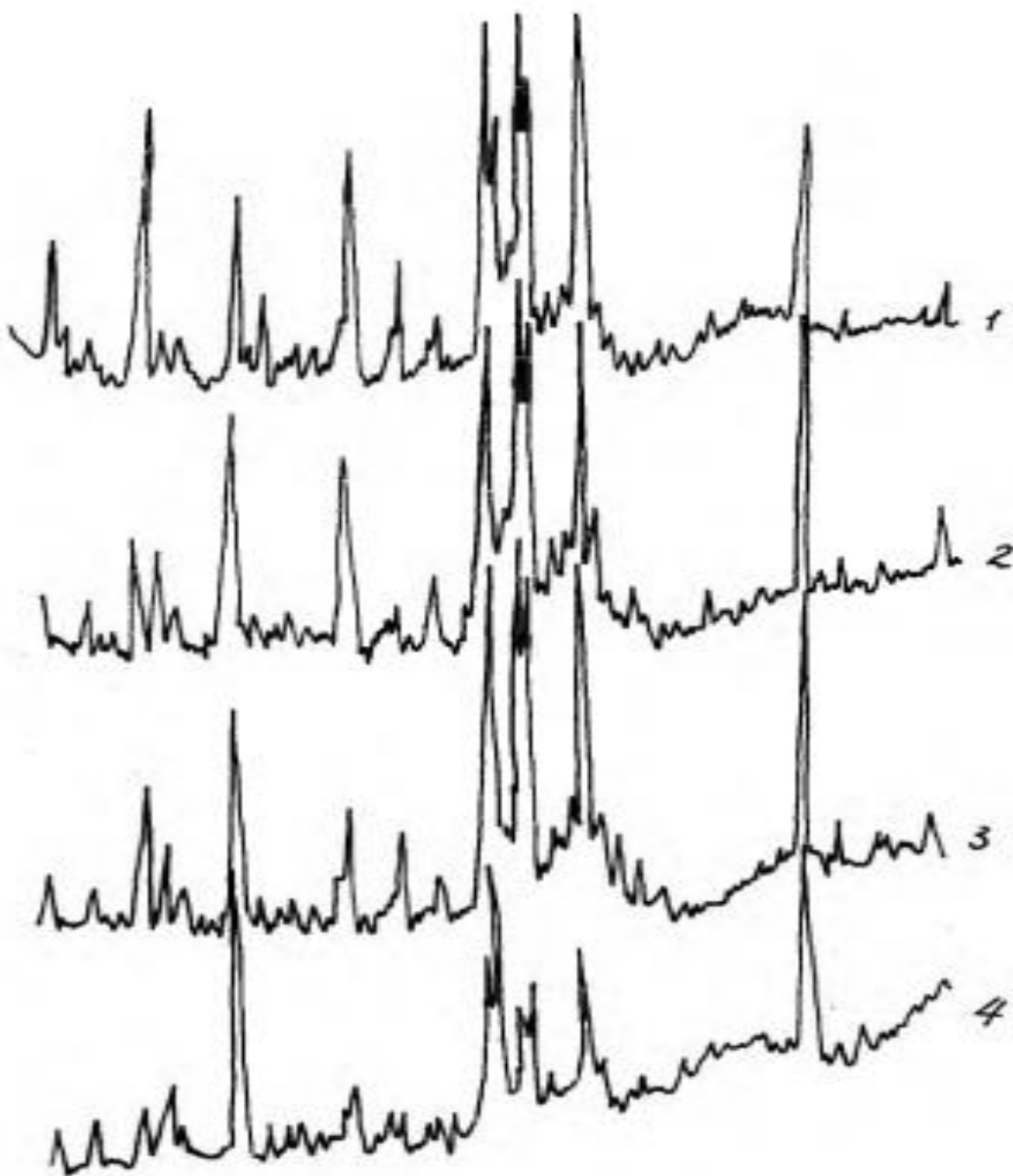


Рис. 2.3.2. Рентгенограммы продуктов гидратации портландцемента
с 0,15% добавки САФА-1:
1, 2, 3, 4 – соответственно через 1, 3, 7 и 28 сут. твердения

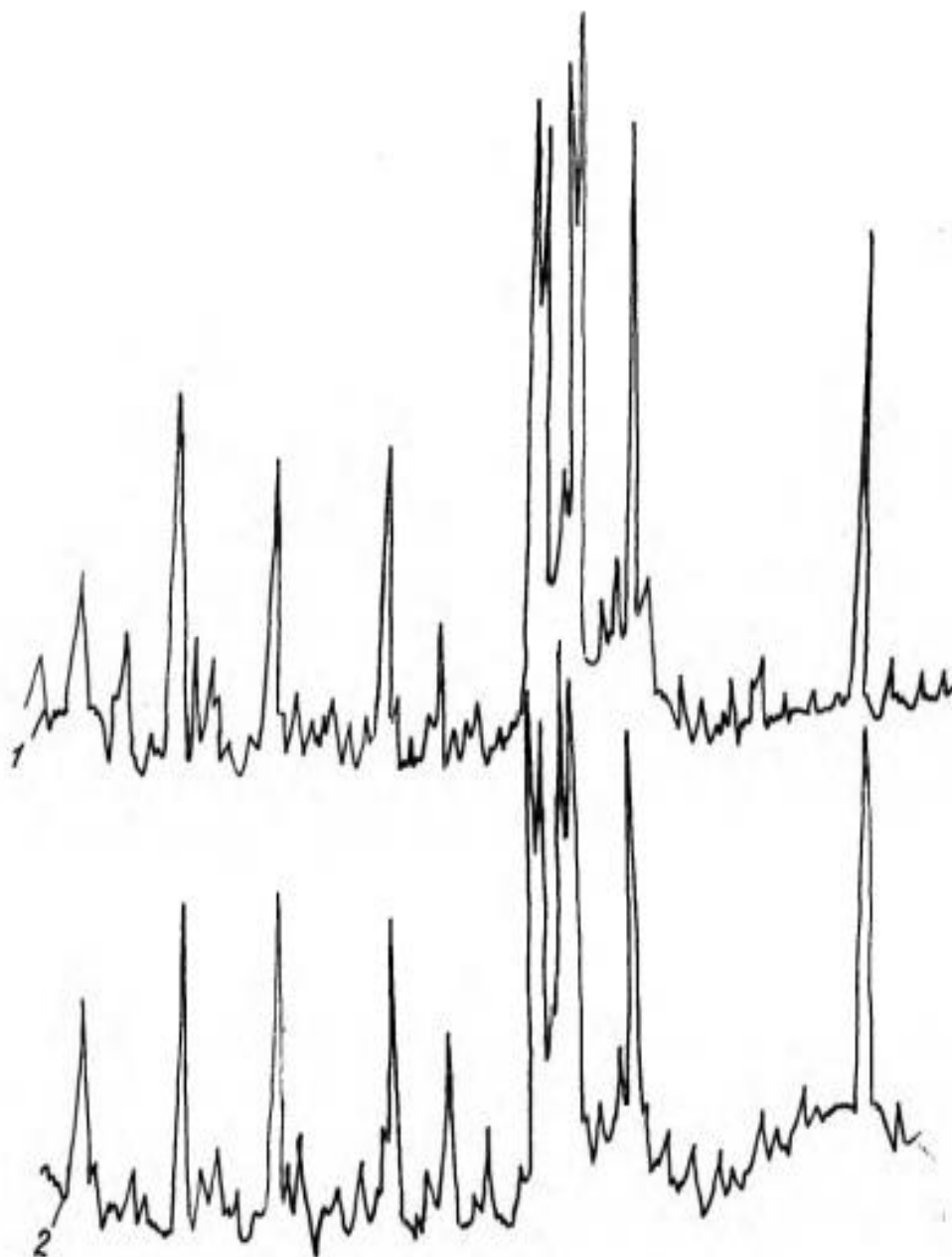


Рис. 2.3.3. Рентгенограмма продуктов гидратации цемента в
возрасте 1 сут.:

1 – портландцемент $S_{уд} - 2700 \text{ см}^2/\text{г.}$;

2 – пластифицированный портландцемент
 $S_{уд} - 2800 \text{ см}^2/\text{г.}$

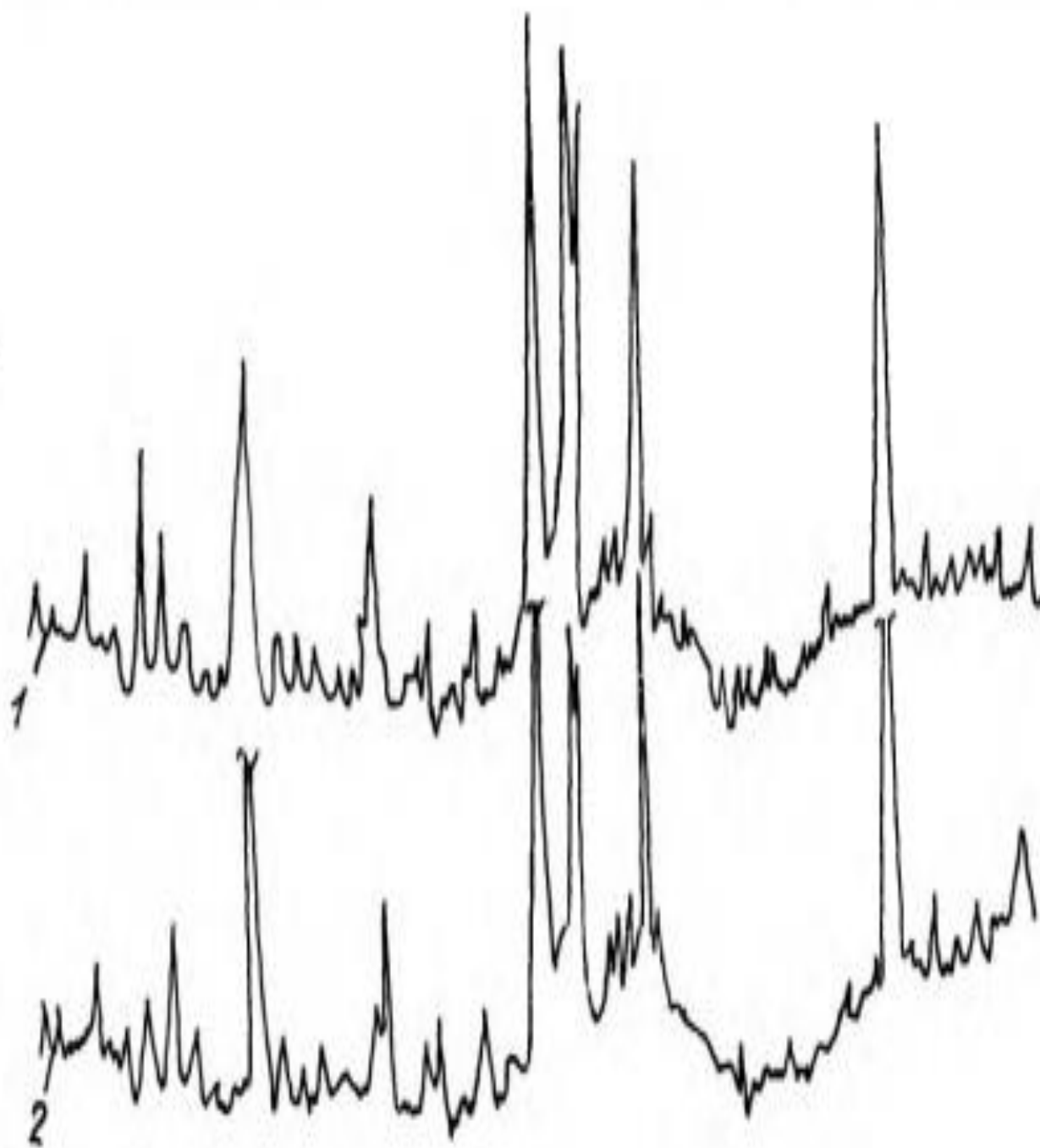


Рис. 2.3.4. Рентгенограммы продуктов гидратации цемента
в возрасте 27 сут.:

1 – портландцемент $S_{уд} - 2700 \text{ см}^2/\text{г}$;

2 – пластифицированный портландцемент $S_{уд} - 2700 \text{ см}^2/\text{г}$.

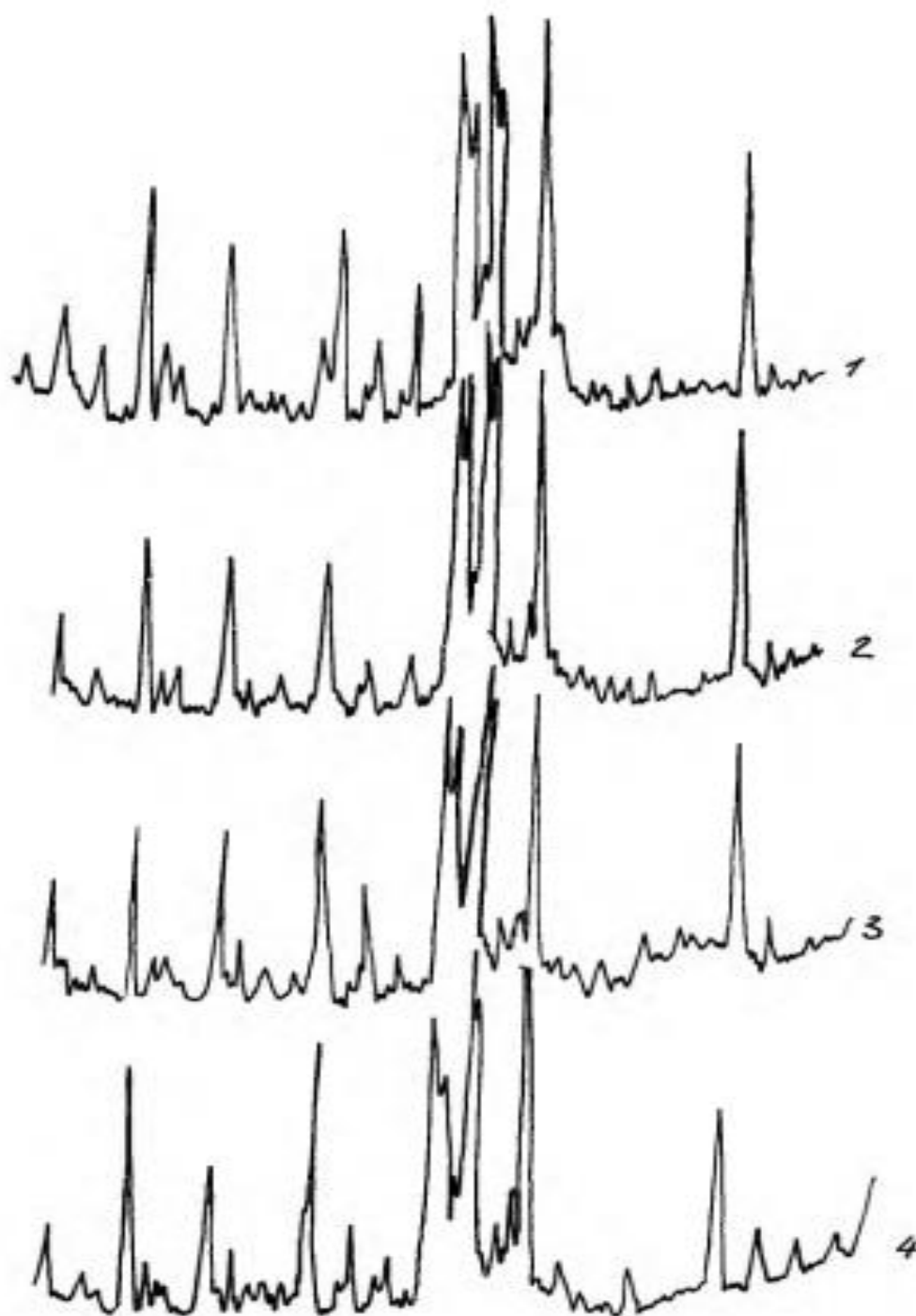


Рис. 2.3.5. Рентгенограммы продуктов гидратации в возрасте 1 сут.:
1 – эталонный цемент;
1,2,4 – с добавкой соответственно 0,1; 0,15; и 0,2%

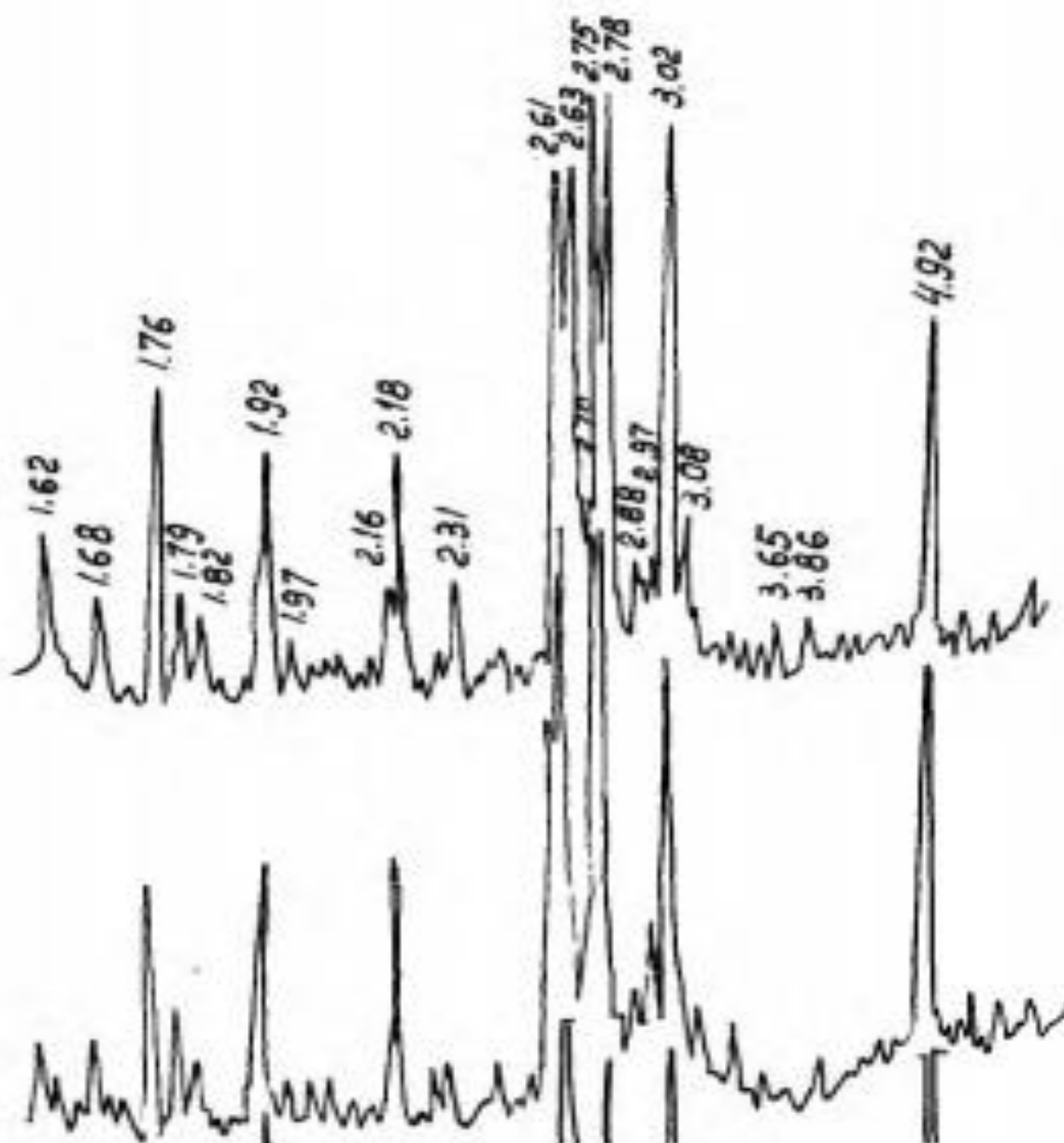
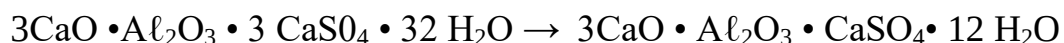


Рис. 2.3.6. Рентгенограмма продуктов гидратации цемента в возрасте 7 сут.:

2, 3, 4- с добавкой соответственно 0,1% 0,15 и 0,2 %

При введении 0,15 % добавок в воду затворения цементного теста не наблюдается заметных изменений кинетики гидратации алита ($d = 3,02; 2,78; 1,76 \text{ \AA}^0$) и кристаллизации гидроокиси кальция ($d = 4,92; 2,62; 1,92 \text{ \AA}^0$). Отмечается, некоторое увеличение скорости кристаллизации этtringита ($d = 9,7; 5,6; 3,88 \text{ \AA}^0$) в возрасте 1-3 сут. В более поздние сроки твердения эти отражения исчезают, вероятно, вследствие рекристаллизации первичного высоко сульфатного алюмогидрата в низкосульфатный, что характерно для портландцементов при дефиците сульфат-иона:



Поскольку наиболее наглядно рассматривать влияние добавки на гидратацию в раннем возрасте были сняты рентгенограммы продуктов гидратации портландцемента в суточном возрасте при введении различного количества добавки (рис. 2.3.4.).

Замедление гидратационного процесса цемента наблюдается при введении 0,2 % добавки САФА-I. При этом увеличивается остаточное содержание алита ($d = 3,02; 2,79; 2,18; 1,76 \text{ \AA}^0$), уменьшается концентрация гидроокиси кальция ($d = 4,92; 2,62; 1,92 \text{ \AA}^0$).

Анализ рентгенограммы продуктов гидратации цемента с 0,15% добавки показывает увеличение интенсивности отражений ($d = 3,22; 2,18; 1,76 \text{ \AA}^0$), а отражение 2,79 уменьшается, но это колебание не превышает ошибки количественного рентгенофазового анализа и свидетельствует о том что добавка САФА-1 введенная в воду затворения, не изменяет скорости гидратации алита. Заметное количество гидросульфоалтината кальция появляется на рентгенограмме после суточного срока гидратации. По-видимому, в более ранние сроки образуется недостаточное количество хорошо закристаллизованного ГСАК.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что добавка САФА-1 в количестве 0,1 - 0,15 % не вызывает заметного изменения гидратации алита, увеличение дозировки добавки до 0,2 % и выше существенно снижает скорость его гидратации. Фазовый состав гидратных новообразований в раннем возрасте отличается от эталонного несколько большим содержанием гидросульфоалюмината кальция.

Представляет интерес анализ гидратационных процессов пластифицированного цемента ($S_{уд} = 2800 \text{ м}^3/\text{кг.}$) полученного совместным помолом клинкера, гипса и 0,15 % добавки САФА-1. Анализ рентгенограмм показывает (рис. 2.3.3. и 2.3.6.), что такой цемент гидратируется в начальный период более интенсивно вероятно вследствие улучшения гранулометрического состава вяжущего. К 28-ми сут. нормального твердения различие в процессах гидратации портландцемента и пластифицированного цемента с одинаковой дисперсностью уже незаметно.

Таким образом, введение оптимальной дозировки добавки САФА-1 в цемент при помоле оказывает двоякий эффект: обеспечивает повышение эффективности помола и пластифицирование цемента без ущерба для нормального процесса гидратации вяжущего.

Полученные результаты были проверены термогравиметрическим анализом и ИК - спектроскопией.

Термогравиметрический анализ выполнен на дериватографе при следующих параметрах съёмки: ДТА = 1/15; ДТG = 1/20; TG = 500, навеска пробы - 1 гр. На рис 2.3.7. и 2.3.8. и 2.3.9. приведены термограммы соответственно эталонного и портландцемента с добавкой 0,15 % САФА.

Анализ термограмм показывает, что добавка существенно не изменяет фазовый состав или кинетику гидратации цемента. В суточном возрасте отмечаются эндотермические эффекты в области 140-180° С, характерные для гидросиликатов, гидроалюминатов и гидросульфоалюминатов кальция; 330°С - для гидроалюмината; 450° С - гидроокиси кальция и 780°С - карбоната кальция. С увеличением продолжительности твердения

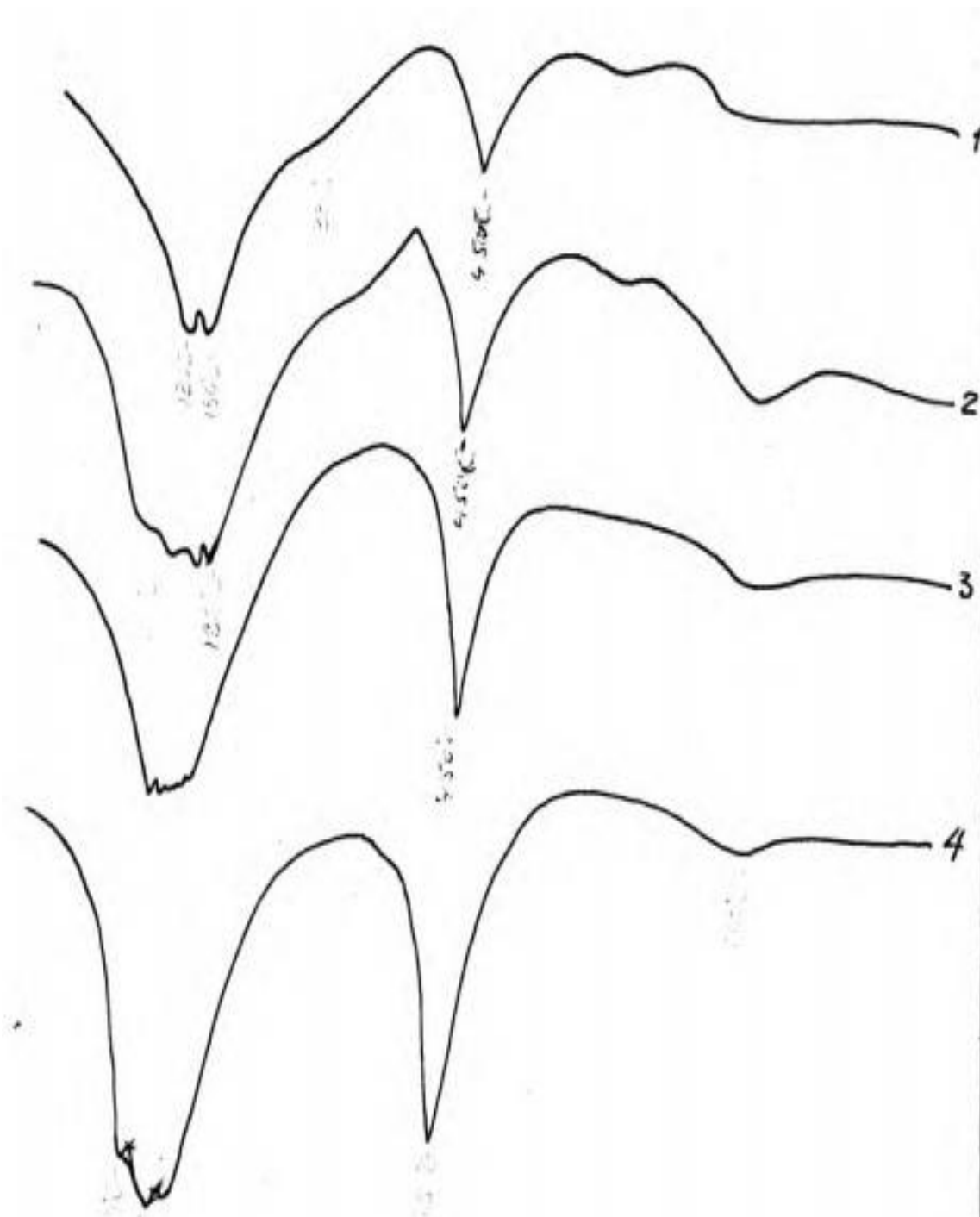


Рис. 2.3.7. Термограммы продуктов гидратации портландцемента:

1, 2, 3, 4 – соответственно через 1, 3, 7 и 28 сут. твердения

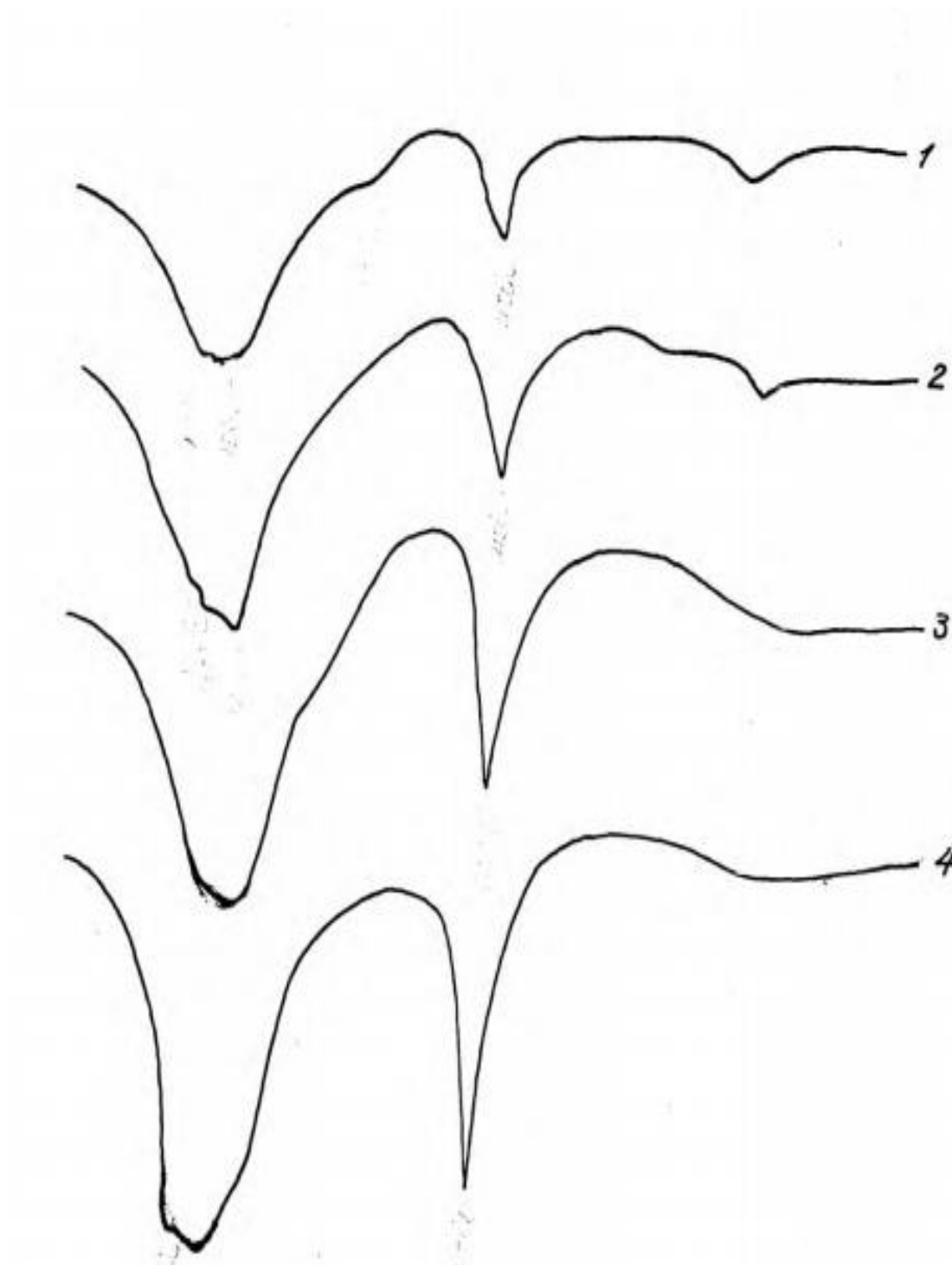
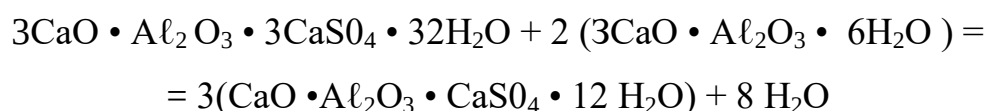


Рис. 2.3.8. Термограммы продуктов гидротации портландцемента
с 0,15% добавки САФА:

1, 2, 3, 4 – соответственно через 1, 3, 7 и 28 сут. твердения

наблюдается расширение площади эндоэффектов в области 100-200°C и 450°C, что свидетельствует о повышении концентрации соответствующих гидратов. Отличительной особенностью термограмм, эталонного цемента и с добавкой 0,1; 0,15 и 0,2 % САФА-I в возрасте 1-7, 3 и 7 сут. гидратации (рис. 2.3.7 и 2.3.8.) являются относительно отчетливые эффекты при 120 и 185°C; характерные для гидросульфоалюмината кальция (трехсульфатная форма). Анализ термограмм свидетельствует о том, что в возрасте до 3 суток эта соль плохо закристаллизована (рентгеноаморфна) и потому не определяется рентгенофазовым анализом, но в то же время хорошо идентифицируется на термограммах продуктов гидратации. Разложение трехсульфатной формы ГСАК в последующие сроки гидратации цемента до моносulfатной формы отражается на изменении конфигурации сложного эндотермического эффекта в области 100-200° С. Следует отметить и то, что перекристаллизация трехсульфатной формы ГСАК в моносulfатную сопровождается сложными превращениями кристаллизационной связанной воды:



которые в конечном счете приводят к выделению свободной воды. Этот процесс не вызывает существенного изменения объема твердой фазы участвующих в нем компонентов:

$$\frac{\text{ГСАК} - 3}{1,77} + \frac{2\text{C}_3\text{АН}_6}{2,52} \rightarrow \frac{3\text{ГСАК} - 1}{1,95} \\ 857,5 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}} < 960 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}}$$

где: ГСАК-3, ГСАК-I $\text{C}_3\text{АН}_6$ - соответственно молярные веса трех, моносulfатной формы гидросульфоалюмината кальция и кубического гидроалюмината кальция, г.моль;

1,77; 1,95; 2,52 - соответственно удельные веса этих же солей, г/см³.

Однако, процесс перекристаллизаций с изменением Фазового состава морфологии гидратных новообразований и выделением воды безусловно вызывает деструктивные явления в цементном камне. В связи с этим, можно предположить, что протекание этого процесса в раннем возрасте, когда цементный камень характеризуется высокими пластическими деформациями, имеет преимущества перед процессом, протекающим в последующие сроки в более хрупком цементном камне.

Таким образом, в случае когда вводится добавка САФА-I и процесс кристаллизации ГСАК-3 ускоряется, можно ожидать, что последующая перекристаллизация его в ГСАК-I будет протекать с меньшими деструктивными явлениями, чем в цементном камне без добавки. С помощью термогравиметрического анализа были определены общие и дифференциальные показатели потерь при прокаливании (п.п.п.). На рис 2.3.8.. приведен пример набора кривых ДТА (изменение температуры препарата при его нагревании), ДТG (изменение скорости весовых потерь при нагревании), TG (весовые потери), и T (температурная кривая нагревания).

Пользуясь показателями этих данных, были определены:

- 1) общие потери массы цементного камня при нагревании до 1000°C;
- 2) потеря гигроскопической воды при нагревании материала до 100°C;
- 3) потери кристаллизационной воды в цементном камне при нагревании до 350°C (гидросиликаты, гидроалюминаты, гидросульфалюминаты);
- 4) содержание гидроокиси кальция по потерям OH при нагревании в области -450°C;
- 5) степень карбонизации цементного камня (декарбонизация при -750°C;). Результаты анализ приведены в таблице 2.3.5

Таблица 2.3.5.

**Показатели общих и дифференциальных потерь массы образцов
гидратированного цемента**

Цемент	Срок гидратации, сут.	Общие потери массы, %	Дифференциальные потери массы, %				
			До 100 ⁰ С	100-350 ⁰ С	450 ⁰ С	750 ⁰ С	Цеолит а
1	2	3	4	5	6	7	8
Портланд- цемент	1	8,9	0,2	4,6	1,5	0,4	2,3
-//-	7	12,9	0,1	7,5	2,3	0,6	2,4
-//-	28	18,8	0,2	10,8	4,6	0,5	2,7
II-Цемент с 0,15% САФА	1	8,2	0,4	4,3	1,3	0,2	2,0
-//-	7	13,2	0,1	7,4	2,6	0,5	2,6
-//-	28	19,2	0,3	11,2	4,4	0,3	3,0
Пластифицированный цемент с 0,15% САФА	1	9,0	0,3	5,0	1,2	0,4	2,1
-//-	7	14,3	0,4	7,9	2,4	0,6	2,9
Пластифицированный цемент с 0,15% САФА	28	20,1	0,3	11,3	4,7	0,4	3,4

Показатели общего уровня и дифференциальные значения величин п.п.п. В эталонном образце и с 0,15 % САФА-I оказались весьма близкими. Однако, можно отметить некоторое увеличение уровня п.п.п. цемента с добавкой, особенно, для образцов 7 и 28-ми сут. твердения. Это можно объяснить повышением содержания воды в цеолитах цементного камня.

По величине п.п.п. при 450⁰С были рассчитаны значения концентрации Са(ОН)₂ в цементном камне в зависимости от возраста образцов. Расчеты выполнены с учётом частичной карбонизации гидроокиси кальция. Полученные результаты сопоставлены с данными химического анализа (табл. 2.3.6).

Таблица 2.3.6.

Значения концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном камне

Цемент	Срок гидратации, сут.	Концентрация $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном камне, (%)	
		По данным термического анализа	По данным химического анализа
1	2	3	4
Портландцемент -//- -//-	1 7 28	3,2 6,5 11,3	3,6 7,0 13,4
Портландцемент с 0,15% САФА -//- -//-	1 7 28	3,6 6,7 11,3	4,6 8,1 16,6
Пластифицированный цемент с 0,15% САФА -//- -//-	1 7 28	3,6 6,7 11,3	4,6 8,1 16,6

Анализ полученных данных показывает, что введение 0,15% добавки практически не изменяет значения концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном

камне, а количественные показатели результатов химического анализа несколько превышают уровень концентрации гидроокиси кальция по термическому анализу.

Результаты физико-химических анализов фазового состава цементного камня подтверждены данными электронной микроскопии гидратированного цементного камня. На рис. 2.3.12., 2.3.13. и 2.3.14. приведены микроснимки цементного камня, выполненные методом одноступенчатых реплик при увеличении $\times 3500$. На срезках цементного камня с добавкой 0,15% САФА-I можно отметить высокое содержание крупных кристаллов гидросульфоалюмината кальция уже в суточном возрасте. Эти новообразования могут быть приурочены по месту к крупным порам цементного камня.

Другой важной особенностью снимков цементного камня с добавкой является образование пакетов из пластичных кристаллов, вероятно $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Эти ассоциаты имеют явную отличительную кубическую форму взамен пакетов из гексагональных пластин $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на снимках эталонных образцов (рис. 2.3.12., 2.3.13., 2.3.14.).

ВЫВОДЫ

1. Установлено положительное влияние добавок САФА на структурообразование цементного камня в ранние сроки твердения. Показано, что введение 0,1- 0,15 % добавки стабилизируя коагуляционный процесс интенсифицируя кристаллизацию продуктов гидратации цемента положительное влияет на структурообразование цементного камня и повышает его прочность на 30-35%.

2. Физико-химическими исследованиями кинетики гидратации и фазового состава гидратных новообразований уточнено оптимальные количественные добавки САФА показано, что введение 0,1- 0,15 % добавки не изменяет нормальный процесс гидратации алита, а увеличений дозировки до 0,2 % существенно снижает скорость его гидратации. Добавка САФА-I ускоряет процесс кристаллизации гидросульфатоалюмината кальция трехсульфатной формы. Это предполагает протекание процесса его перекристаллизации в моносulfатную форму с меньшими деструктивными явлениями.

3. Показана эффективность использования добавки САФА в качестве интенсификатора помола цементного клинкера. При этом 0,1 ÷ 0,15 % добавки увеличивает дисперсность цемента на 35-40, либо производительность мельницы на 26-29 % улучшает гранулометрический состав цемента, увеличивая мелкие фракции на 35-40 % и уменьшая крупные на 45-55%.

4. Исследование структуры цементного камня методом электронной микроскопии показало, что введение 0,15 % добавки САФА способствует увеличению содержания крупных кристаллов гидросульфатоалюмината кальция в ранние сроки твердения изменению формы кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из гексагональных пластин в кубическую.

ГЛАВА III

3. Влияние добавок β -кетеспиртовых ПАВ на технологические, физико-механические и эксплуатационные свойства бетона

3.1. Реологические свойства бетонной смеси с добавками САФА

Реологическая модель бетонной смеси в простейшем виде может быть представлена бингамовым телом, в котором прочность структуры характеризуется предельным напряжением сдвига [28, 31, 54].

Для практического использования результатов лабораторных исследований реологические свойства бетонной смеси целесообразно определять широко распространёнными на производстве приборами - конусом и техническим вискозиметром.

Предельное напряжение сдвига бетонной смеси может быть определено по осадке стандартного конуса.

В литературных источниках имеются немногочисленные данные о показателях реологических свойств бетонной смеси с добавками. Как правило пластифицирующий эффект новой добавки оценивают по степени влияния ее на подвижность бетонной смеси. Многочисленными исследованиями установлены основные закономерности изменения подвижности бетонной смеси от различных факторов: качества и количества вяжущего, водосодержания, дисперсности, формы зерен, качества и количественного соотношения мелкого и крупного заполнителя, вида и количества химической добавки, температуры смеси и окружающего воздуха, продолжительности выдерживания до укладки.

Из перечисленных факторов особое влияние на подвижность бетонной смеси оказывает температура. Так, при производстве бетонных работ в районах с сухим жарким климатом, бетонная смесь в жаркий период года в процессе приготовления и транспортирования может нагреваться до 40-50⁰ С.

Повышенная температура бетонной смеси в условиях сухого жаркого климата положительно влияет на формирование структуры и свойств затвердевшего бетона.

Вместе с тем температурный фактор затрудняет технологию переработки бетонной смеси вследствие быстрой потери подвижности и удобоукладываемости её. Поэтому для обеспечения нормальной технологии бетонных работ в условиях сухого жаркого климата необходимо выполнять специальные требования, что приводит к сверхнормативным расходам материальных трудовых и энергетических затрат.

Одним из эффективных путей снижения негативного влияния тепла солнечной радиации в технологии бетона является применение химических добавок, позволяющих увеличивать подвижность и жизнеспособность бетонной смеси при повышенной температуре.

Как показали проведенные исследования по сохранению удобоукладываемости бетонной смеси, применение широко распространенной добавки сульфитно-дрожжевой бражки не позволяет получить требуемый эффект, так как СДБ вызывает значительное водоотделение и способствует расслоению бетонной смеси.

Применение добавки ВРП-1, специально синтезированной для бетона, позволяет сохранять заданную подвижность бетонной смеси в течение 30 минут. Однако исследования бетонной смеси с добавкой ВРП-1 были выполнены при температуре окружающего воздуха 37° в тени и 52°С на солнце и сведений о температуре самой смеси в период испытаний отсутствуют [35,25].

В другой работе для сохранения подвижности бетонных и растворных смесей предложено использовать комплексную гидрофобно - пластифицирующую добавку, состоящую из кубовых остатков синтетических жирных кислот и концентрата сульфитно-дрожжевой бражки. Авторами установлено, что при температуре окружающего воздуха 30-35°С достигается консервация подвижности растворной смеси в течение двух часов. Данные по изменению подвижности при более высоких температурах самой бетонной смеси также отсутствуют [35,25].

Признанные в настоящее время наиболее эффективными добавками к бетону суперпластификаторы вводят в относительно большом количестве (0,5-

1 %) и как указывается в работе с повышением температуры смеси эффект пластификации резко снижается.

Следует однако отметить, что для виброуплотняемых бетонных смесей с пластифицирующими добавками оценка удобоукладываемости по подвижности не отвечает современным требованиям научно-технического прогресса в технологии бетона. Справедливость этого суждения можно подтвердить тем, что в обычной бетонной смеси роль гидродинамической смазки гетерогенной дисперсной системы выполняют водные оболочки, а в пластифицированной водные растворы ПАВ, оказывающие более длительное по времени стабилизирующее действие в период коагуляционного структурообразования бетона. Поэтому удобоукладываемость бетонной смеси с пластифицирующей добавкой более целесообразно характеризовать виброформуемостью, что может на практике дать значительный технико-экономический эффект.

В работе выполнены исследования влияния новых ПАВ на подвижность, предельное напряжение сдвига и виброформуемость бетонной смеси в зависимости от вида и количества добавки, температуры и расхода цемента.

На первом этапе определено влияние добавок на подвижность бетонной смеси составов, соответствующих классам бетона В-15, В-25 и В-30. Влияние добавок на предельное напряжение сдвига и виброформуемость, изучено на составе бетонной смеси с $O. K. = 6-8$ см, расходом портландцемента 450 кг/м при В/Ц - 0,47.

Добавки вводили в воду затворения бетонной смеси в количестве 0,1; 0,15 и 0,2 %, массы цемента. Температура смеси в процессе испытания была равной 20 и 50°C. С этой целью предварительно приготовленную сухую смесь вяжущего и заполнителей, а также воду нагревали в термощкафу в течение одного часа до температуры 55°C и перед началом испытаний приготавливали бетонную смесь и определяли объёмную массу.

Величину предельного напряжения сдвига τ бетонной смеси оценивали косвенным путем, используя стандартный конус, а виброформуемость определяли техническим вискозиметром. Изменение величины τ во времени

фиксируют через каждые 15 минут до достижения подвижности бетонной смеси нулевого значения и в конце срока испытания измеряли ее виброформуемость, затем изготавливали образцы-кубы для последующего определения прочности их при сжатии. Заданную температуру бетонной смеси в ходе испытания поддерживали путем выдерживания ее в термошкафу. Результаты выполненных исследований представлены на рис. 3.1.1 и табл. 3.1.1.

При введении добавок САФА-I и САФА-2 в воду затворения качественное изменение носит одинаковый характер, показатели отличаются лишь количественно, т.е. подвижность увеличивается пропорционально концентрации добавки соответственно в 2-4, 2-5 раз в тем большей степени, чем выше расход цемента в исходном составе.

Анализ экспериментальных данных (рис. 3.1.1 и табл. 3.1.1.) показал, что величина предельного напряжения сдвига (τ) эталонной бетонной смеси за 45 минут выдерживания при температуре 20° С изменилась с 1850 до 2050 Па, а при 50°С за 15 минут с 2030 до 2050 Па и продолжительность

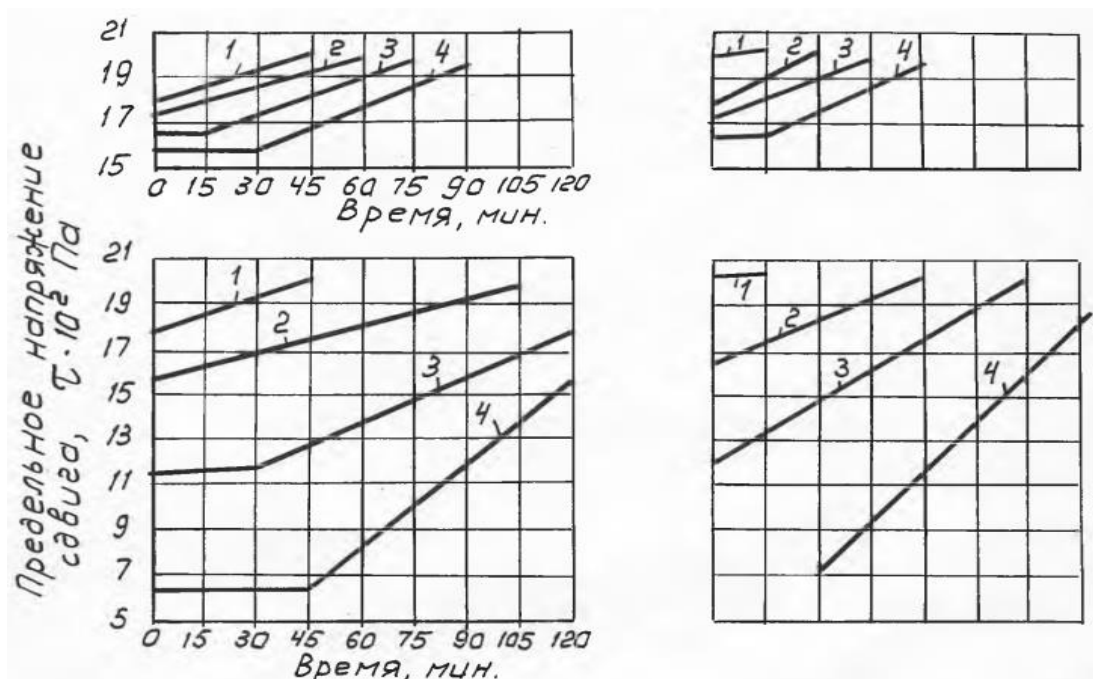


Рис. 3.1.1. Изменение величины предельного напряжения сдвига бетонной смеси во времени в зависимости от температуры, вида и содержания добавки а) САФА-1; б) САФА-2:
1 – эталонная смесь; 2, 3, 4 – с добавкой соответственно 0,1; 0,15; и 0,2%

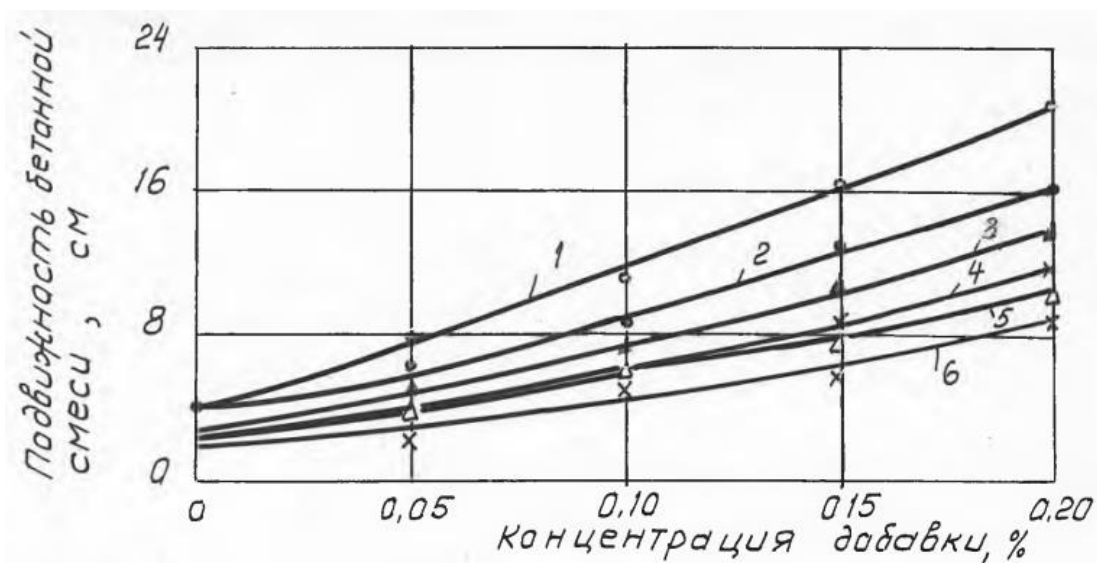


Рис. 3.1.2. Изменение подвижности бетонной смеси В-15, В-20, и В-30 от вида и количества добавки:
1-3-4 – бетонная смесь с добавкой САФА-2;
2-5-6 – тоже, с добавкой САФА-1

консервации удобоукладываемости сократилась втрое. При этом виброформуемость бетонной смеси составила соответственно 40 и 70с.

Таблица 3.1.1.

Показатели виброформуемости и объёмной массы бетонной смеси в зависимости от вида, содержания добавки, температуры и времени выдержки

Вид добавки	Содержание, %	Продолжительность выдержки бетонной смеси, мин.	Показатели свойств при температуре °С (20/50)	
			виброформуемость	Объёмная масса, кг/м ³
Эталонная смесь		45	40	2350
		15	70	2348
САФА-1	0,1 0,15 0,2	60	10	2342
		30	15	2346
		75	10	2348
		45	20	2340
		90	12	2336
		60	20	2330
САФА-2	0,1 0,15 0,2	105	10	2335
		60	15	2330
		135	15	2330
		90	20	2325
		165	20	2335
		120	25	2330

При введении добавок САФА-I и САФА-2 в выбранных пределах дозировки величина τ снизилась в 1,5-3 раза пропорционально увеличению количества добавки и виброформуемость бетонной смеси в зависимости от температуры улучшилась в 3-4 раза при увеличении продолжительности консервации удобоукладываемости бетонной смеси при 20°С в 2-5, а при 50°С в 2-8 раз.

Полученные результаты свидетельствуют о том что по эффективности пластифицирующего действия предпочтительной является дабавка САФА-2.

Добавки САФА проявляют суперпластифицирующий эффект и значительно повышают подвижность бетонной смеси в сравнении с аналогичными добавками смол АЦФ, которые по данным работы увеличивают подвижность в 2 - 2,5 раза. Это можно объяснить тем, что при перемешивании водный раствор

добавок пенится, особенно, при введении САФА-2, что очевидно способствует воздухововлечению в бетонную смесь и дополнительному ее разжижению. Природу вспениваемости и факторы, определяющие вспенивающую способность добавок предстоит ещё выяснить и в настоящей работе эти вопросы не рассмотрены.

Следует, однако, отметить, что воздухововлекающий эффект добавок САФА оказывая положительное действие на технологические и эксплуатационные показатели свойств может отрицательно отразиться на прочности бетона.

Определяли также объемную массу бетонной смеси и объём воздуха. Сначала выявлено влияние количества добавок САФА-I на прочность бетона исходных составов в зависимости от способа введения добавки (рис. 3.1.1. и 3.1.2.).

Результаты экспериментов показали, что прочность образцов бетона на сжатие и растяжение при изгибе с увеличением содержания добавок при температуре бетонной смеси 20°C изменяется экстремально с max при 0.15 % САФА-I. Прирост прочности на сжатие образцов бетона составил 14-20 % при введении добавки в воду затворения и 18-22 % при использовании пластифицированного цемента, а на растяжении при изгибе соответственно 25-30 % и 35-40%.

При введении САФА-2 в воду затворения исходной бетонной смеси прочность образцов бетона при нормальной температуре независимо от расхода цемента при содержании добавки до 0,15 % находится на уровне показателей контрольного состава, а при 0,2 % снизилась на 12-15 % (таблице 3.1.2.).

Таблица 3.1.2.

**Показатели прочности при сжатии бетона в зависимости
от содержания добавок САФА**

Класс бетона	Эталонный состав	Показатели прочности бетона $R_{сж}^{28}$, МПа при содержании добавки			
		0,05	0,1	0,15	0,2
В-15	19,2	21,0	20,2	19,5	16,8
В-25	29,3	30,5	29,6	28,8	26,0
В-30	39,4	41,0	40,0	39,3	35,2

Негативное влияние воздухововлечения можно снизить регулированием количества вводимой добавки и продолжительностью перемешивания бетонной смеси.

3.2. Влияние добавок САФА на прочностные и деформативные свойства бетона

Применение пластифицирующих добавок оказывает определенное влияние на прочность бетона и позволяет направленно регулировать это важнейшее свойство материала [38]. Как известно, прочность бетона при одинаковой подвижности бетонной смеси может быть увеличена за счет снижения водосодержания. При этом степень прироста прочности бетона зависит от вида и механизма действия добавки, и следовательно от пластифицирующего эффекта её. Многие пластифицирующие добавки оказывают воздухововлекающие действие, снижающее прочность бетона. Вместе с тем, в ранее выполненных исследованиях, поэтому вопросу имеются противоречивые данные. В работах [13.9] показано, что одной из причин снижения прочности бетона с СДВ является воздухововлекающая способность её. Суперпластификаторы также оказывают воздухововлечение в бетонную смесь, однако, в опубликованных работах отсутствуют данные по отрицательному влиянию этого эффекта на прочность бетона [7.8,14]. Очевидно, что воздухововлечение пластифицирующих добавок является их

второстепенным эффектом, а главным в формировании структуры и свойств бетона следует считать действие химического продукта на процесс гидратации минералов вяжущего на начальных и последующих этапах твердения.

Поэтому в работе выполнено исследование влияния добавок САФА на прочность образцов бетона в зависимости от вида и количества добавки, продолжительности выдержки до укладки и уплотнения температуры бетонной смеси и условий твердения.

Прирост прочности образцов с добавками смол САФА ниже чем со смолой АЦФ-3 исследованной в работе. Это связано с воздухововлекающей способностью добавок. Причем этот эффект проявляется больше у САФА-2, что подтверждается уменьшением объёмной массы бетонной смеси с добавками (таблице 3.2.2.) соответственно на 3-4 и 5-7%.

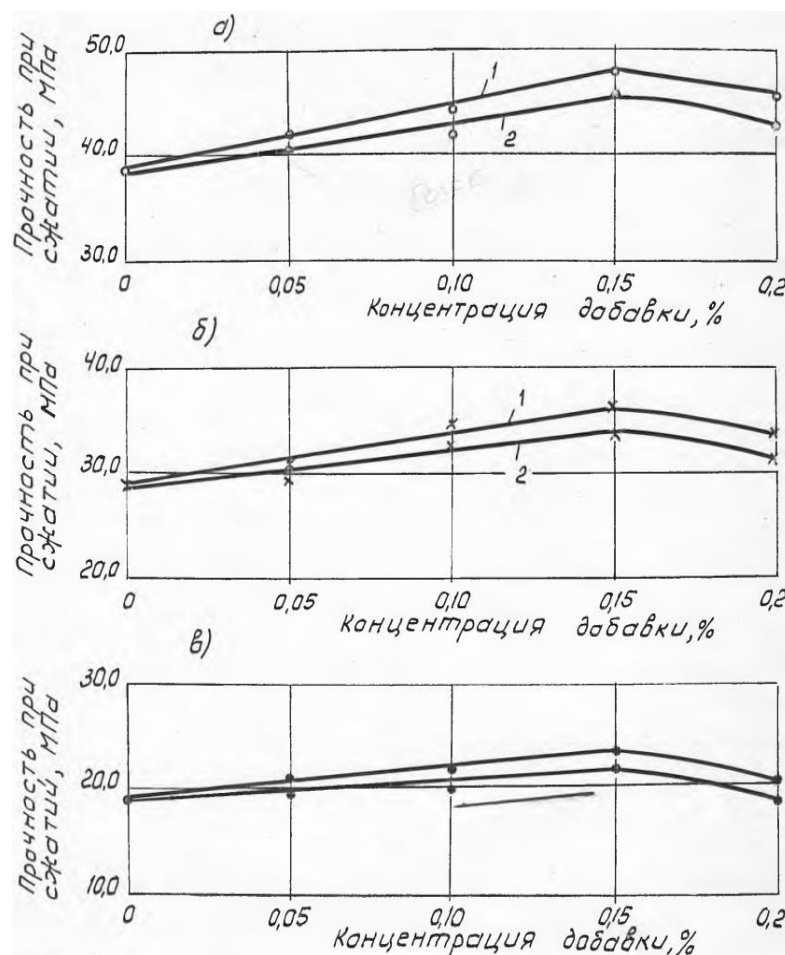


Рис. 3.1.3. Зависимость прочности бетона нормального твердения В-15(в): В-20(б) и В-30(а) в зависимости от количества добавок:

1 – бетон с добавкой САФА-1;

2 – тоже, с САФА-2

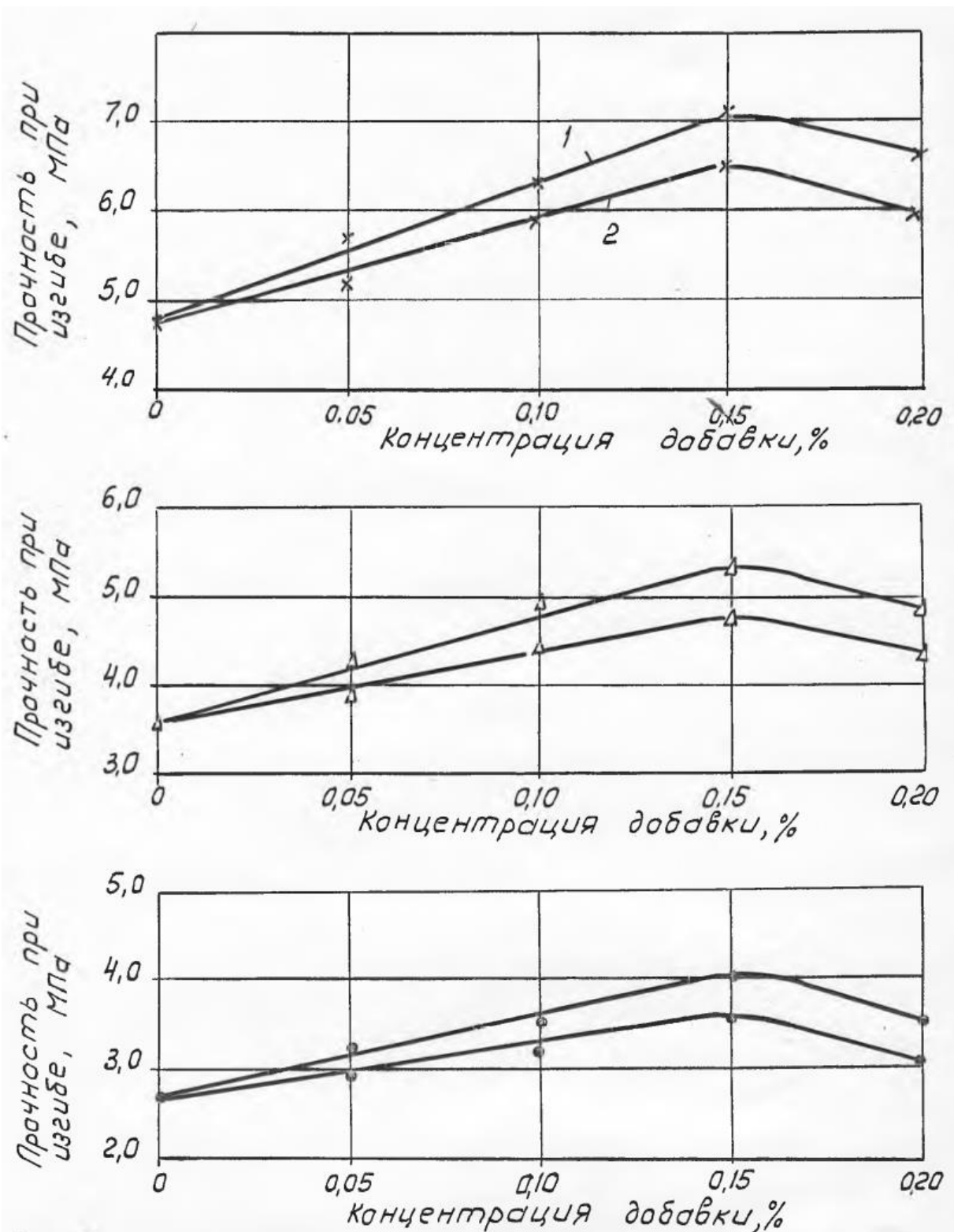


Рис. 3.1.4. Зависимость прочности на растяжение при изгибе бетона В-15(в); В-20(б); и В-30(а) от количества добавки САФА-1:
 1 – бетонная смесь на пластифицированном портландцементе;
 2 – тоже, с добавкой 0,15% САФА-1

Таблица 3.2.1.

Изменение объёмной массы бетонной смеси в зависимости содержания добавок САФА

Состав бетонной смеси соответствующий класса бетонно	Эталонный состав	Показатели объёмной массы бетонной смеси с добавками, % от веса вяжущего							
		САФА-1				САФА-2			
		0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2
В-15	2320	2270	2250	2245	2230	2210	2190	2174	2160
В-25	2390	2300	2280	2270	2265	2270	2256	2240	2220
В-30	2400	2352	2330	2320	2305	2280	2265	2249	2238

Вместе с тем, объём вовлеченного воздуха в бетонную смесь, характер поровой структуры и прочность бетона существенно зависят, как показано в работе от продолжительности выдержки бетонной смеси, до укладки и формирования изделий.

Исходя из этого было исследовано влияние продолжительности выдержки бетонной смеси с 0,15% добавками на объём вовлеченного воздуха, характер поровой структуры и прочность состава бетона В-25 при в/ц -0,47. Результаты экспериментов приведены в таблице 3.2.2.

Таблица 3.2.2.

Показатели объёма вовлеченного воздуха и прочности бетона в зависимости от вида добавки и продолжительности выдерживания бетонной смеси до укладки

Вид добавки	Продолжительность выдерживания бетонной смеси до формирования мин.	Объём воздуха, %	Прочность при сжатии $R_{сж}^{28}$, МПа	Объём условно замкнутых пор %
САФА-1	5	6,8	27,8	4,4
	20	4,2	33,2	2,9
	40	3,5	35,0	2,4
	60	2,6	36,5	2,0
САФА-2	5	9,5	24,5	7,8
	20	6,4	27,0	5,1
	40	5,2	30,2	3,8
	60	4,0	32,5	2,8

Анализ полученных данных показывает, что объём воздуха в бетонной смеси, определенный через 5 минут после окончания перемешивания порядка на 50% больше, чем в бетонной смеси, из которой через 20-40 минут после окончания перемешивания были отформованы лабораторные образцы. Это также подтверждается данными об объёме условно замкнутых пор в структуре бетона. Показатели же прочности бетона при сжатии с увеличением продолжительности выдерживания бетонной смеси, до формирования с 5 до 20 минут увеличились с добавкой САФА-1 на 21%, а САФА-2 на 10%.

Таким образом, фактор времени оказывает значительное влияние на результаты испытаний бетонной смеси с вовлеченным воздухом и прочность бетона. Наиболее интенсивно уменьшение объёма воздушной фазы происходит в период 20-40 минут, затем происходит стабилизация системы воздушных пор.

На практике бетонную смесь при изготовлении сборных железобетонных элементов укладывают не ранее 15-20 минут после ее приготовления, а в монолитные конструкции в зависимости от расстояния транспортирования. Это время может составлять 30-40 и более минут. Поэтому воздухововлекающий эффект исследуемых добавок при производственном применении их не должен отрицательно сказаться на прочности бетона.

Надежная совместная работа металлической арматуры с бетоном обычных и предварительно напряженных конструкций в технологический и эксплуатационный периоды существенно зависит от их взаимного сцепления.

Сцепление арматуры [55,57] с бетоном обуславливается склеиванием, механическим зацеплением цементного камня в неровностях на поверхности арматуры и трением, вследствие обжатия арматуры с бетоном и зависит от прочности цементного камня и бетона. Исследуемые добавки, как показано выше, повышают активность вяжущего, что должно способствовать повышению прочности сцепления арматуры с бетоном.

С практической точки зрения, важнее значение в технологии бетона является влияние поверхностно активных веществ (ПАВ) на основные физико-

механические свойства бетона, так и на прочность сцепления бетона с арматурой.

Были проведены исследования по определению влияния пластифицирующих добавок САФА-1И САФА-2 на прочность сцепления бетона с арматурой. Для проведения исследований нами был выбран производственный состав бетона (таблица 3.2.3.)

Таблица 3.2.3.

Производственный состав бетона

Составляющие	Класс бетона и содержание составляющих, кг/м ³		
	B15	B25	B30
1	2	3	4
Цемент	280-300	340-375	420-450
Песок	580-600	560-580	550-570
Щебень	1100-1200	1160-1200	1300-1375
Вода	130-140	140-187	180-200

Для приготовления бетонной смеси, использовали песок с Мкр-2,8 и пустотностью-42%, щебень фракций 5-20 мм с маркой по прочности др.8.

Показатели загрязненности, объемной массы и плотности мелкого и крупного заполнителя соответственно составили песка-1,8%, 1,48т/м³; 2,62 т/м³; а щебня -0,84%, 1,50 т/м³; 2,60 т/м³.

В качестве пластифицирующих добавок к бетонной смеси было использовано две разновидности β – кетоспиртовых добавок, метилолацетона модифицированного аммиаком, а также метилолацетона модифицированного фурфуролом. Для удобства дальнейшего изложения нами были приняты следующие условные наименования соответственно САФА-1 и САФА-2. Количество вводимых добавок в состав бетона составляло: 0,05;0,1;0,15 и 0,2% от веса вяжущего. Предлагаемые пластифицирующие добавки, при приготовлении бетонной смеси, вводили с водой затворения. Приготовление бетонной смеси, производили следующим образом, дозированные составляющие тщательно перемешивали, а пластифицирующие добавки вводили

с водой затворения и продолжали процесс перемешивания. Из приготовленной бетонной смеси с добавками САФА-1, САФА-2 и контрольные без добавок готовили образцы для испытания и по мере естественного твердения в течении 1, 7, 28 и 90 суток, производили испытания как контрольных образцов так и с добавками.

Надежная совместная работа металлической арматуры обычных и предварительно напряженных конструкций в технологически и эксплуатационные периоды, существенно зависит от сцепления бетона с арматурой. Прочность сцепления бетонной арматурой обуславливается склеиванием и механическим зацеплением цементного камня в неровностях на поверхности арматуры и трением, возникающим от обжатия арматур бетоном, вследствие его усадки, а также зависит от класса бетона.

Исследуемые пластифицирующие добавки, как показано выше повышают активность вяжущего, что должно способствовать, повышению прочности сцепления бетона арматурой.

Прочность сцепления бетона с арматурой определяли в зависимости от вида и количества добавок, времени твердения, условий твердения а также от вида арматуры, гладкой или периодического профиля. Испытание образцов производили по КМК. Исследования выполнены на бетонной смеси, класса В-30 с воздухом содержанием 2,8-4% и на образцах после 20 минутного выдерживания бетонной смеси до укладки в формы.

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что с увеличением содержания добавок прочность сцепления бетона с арматурой с гладкой поверхностью увеличивается при 0,15%, соответственно на 15-16% и на 20-24% с арматурой периодического профиля.

Проведенные эксперименты по определению влияния срока твердения на нарастание' прочности сцепления бетона, как с гладкой арматурой, так и с арматурой периодического профиля свидетельствуют, о том что прочность сцепления бетона с арматурой в период 28 суток твердения интенсивно нарастает, как у гладкой, так и у арматуры периодического профиля, а в

дальнейшем нарастание прочности сцепления арматуры с бетоном стабилизировался. Проведены также эксперименты по определению влияния класса бетона (В 15, В25 и В30) при введении 0,15% добавки САФА-1 на прочность сцепления бетона с арматурой периодического профиля. Как видно из полученных данных, с увеличением класса бетона увеличивается прочность сцепления бетона с арматурой пропорционально повышению класса бетона, что подтверждается ранее высказанного предположения о том, что увеличение содержания вяжущего в бетоне способствует увеличению сцепления бетона с арматурой. Таким образом, введение в состав бетона 0,15% добавок САФА-1 и САФА-2 приводит к увеличению прочности сцепления бетона с гладкой арматурой на 15-16%, а с арматурой периодического профиля на 20-24%.

Экспериментами установили, что с повышением класса бетона, увеличивается прочность сцепления бетона с арматурой. Наблюдается нарастание прочности сцепления бетона с арматурой периодического профиля в течение 28 суток, а в дальнейшем, рост прочности стабилизировался.

Прочность сцепления бетона с арматурой определяли в зависимости от вида и количества добавок, а также во времени твердения, пользуясь известной методикой. Исследования выполнены на бетонной смеси с воздухомсодержанием 2,5 - 4 % и с изготовлением образцов после 20 минут выдерживания ее до укладки.

Результаты экспериментов (рис. 3.2.3. и 3.2.4.) свидетельствуют о том, что с увеличением содержания добавок САФА-I и САФА-2 прочность сцепления арматуры с бетоном изменяется экстремально с тах при 0,15 % соответственно на 12-15 %.

Как и следовало ожидать, степень прироста величины прочности сцепления бетона с арматурой убывает в ряду: бетонная смесь с пластифицированным портландцементом, с добавкой САФА-I и тоже САФА-2.

Интересно отметить, что при повышении температуры исходной бетонной, смеси одинаковой подвижности до 50 °С экстремальный характер изменения прочности бетона с добавками выражен более явно и прирост показателей

прочности при сжатии САФА-1 и САФА-2 соответственно составляет 10-20 % (рис.3.2.5.).

Анализируя полученные данные можно сказать, что по степени пластифицирования лучший эффект проявляет добавка САФА-2, а по приросту прочности САФА-1. Рациональной дозировкой по прочности при нормальной и повышенной температуре следует считать 0,15 % добавок. Если же при повышенной температуре окружающего воздуха требуется увеличить консервацию удобоукладываемости, то дозировку добавок можно увеличить до 0,2 % без ущерба для прочности, бетона.

Исходя из этого, при определении пластифицирующего и прочностного эффектов на примере САФА-1 были проведены эксперименты при введении 0,15 % добавки в воду затворения бетонной смеси и получении пластифицированного цемента.

Пластифицирующий эффект добавок обычно характеризуют величиной снижения водосодержания для получения бетонной смеси одинаковой подвижности, а прочностной эффект - величиной относительного прироста прочности при сжатии из бетонной смеси с добавкой с одинаковыми подвижностью и расходом цемента. Результаты выполненных исследований представлены на рис. 3.2.6 и 3.2.7.

Экспериментальные данные показывают, что получить равноподвижную смесь на пластифицированном портландцементе и с добавками САФА-1 и САФА-2 можно сокращением водопотребности соответственно на 12-15 и 14-18 %. Общий прирост прочности образцов бетона при сжатии в зависимости от расхода цемента, вида и способа введения добавок составил соответственно 30-40 % и 40-50 %. Затем при одинаковом водосодержании бетонной смеси с добавкой было проведено уточнение расхода цемента в составах бетона класса В-15, В-25 и В-30 (рис,3.2.8). Расход цемента снижали на 25, 50, 75 и 100 кг/м³. Результаты эксперимента показали, что расход цемента в бетонной смеси с подвижностью 2-3,3 см можно сократить в зависимости от начального расхода цемента на 40-75 кг/м³, а при виброукладываемости 10-15 с,

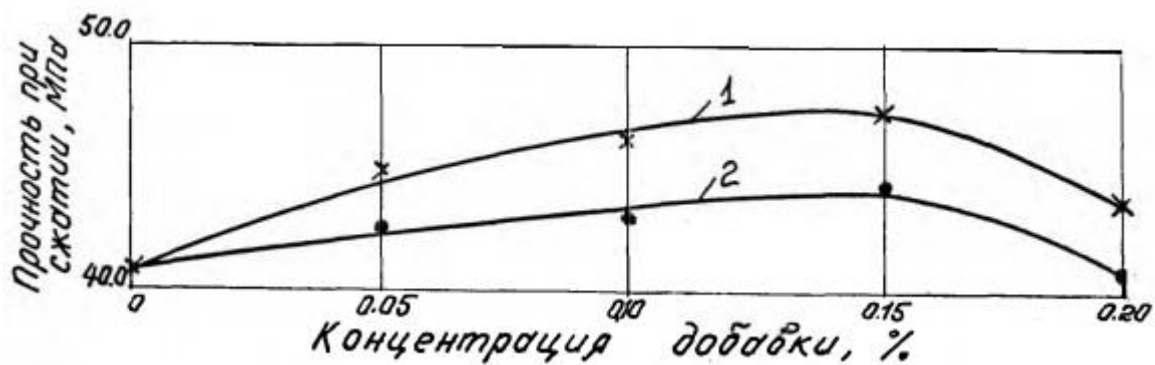


Рис. 3.2.5. Изменение прочности бетона в зависимости от температуры смеси (+50°C), вида и содержания добавок:

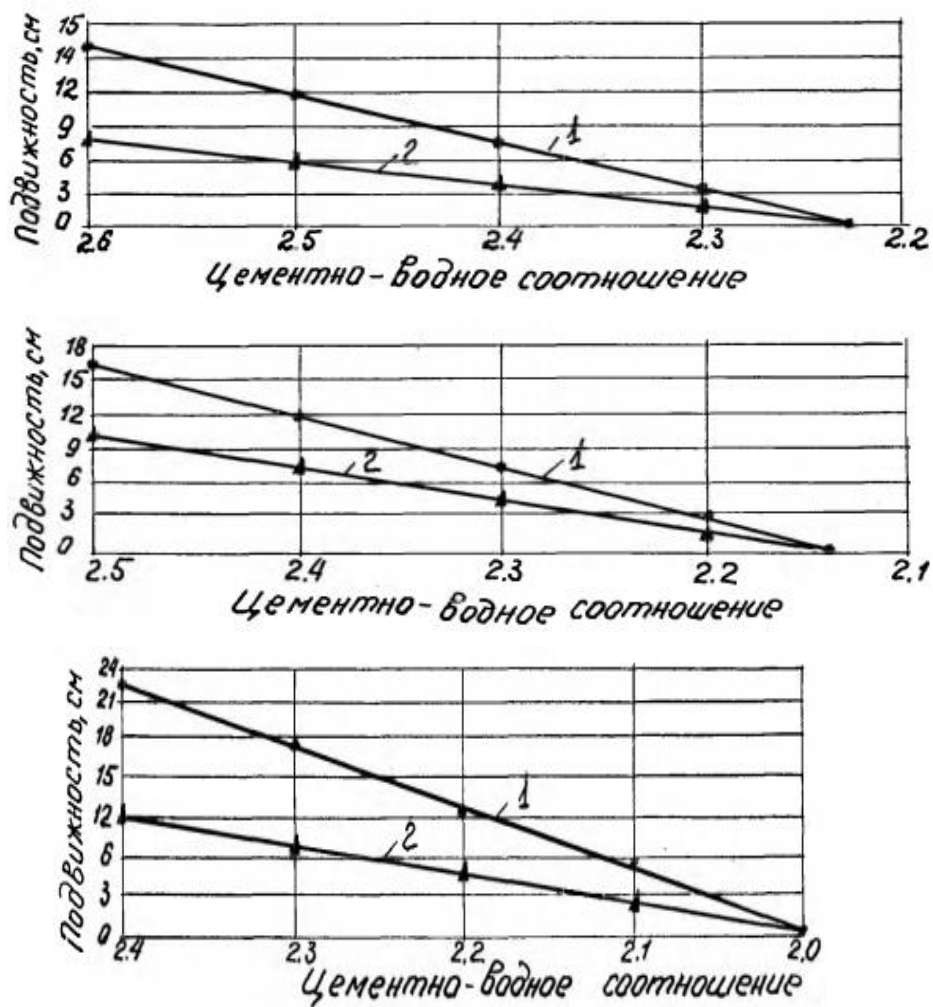


Рис. 3.2.6. Зависимость подвижности бетонной смеси для марок бетона В30(а); В20(б) и В15(в) с добавками от Ц/В:
1 – бетонная смесь с добавкой 0,15% САФА-2; 2 – тоже, с 0,15% САФА-1.

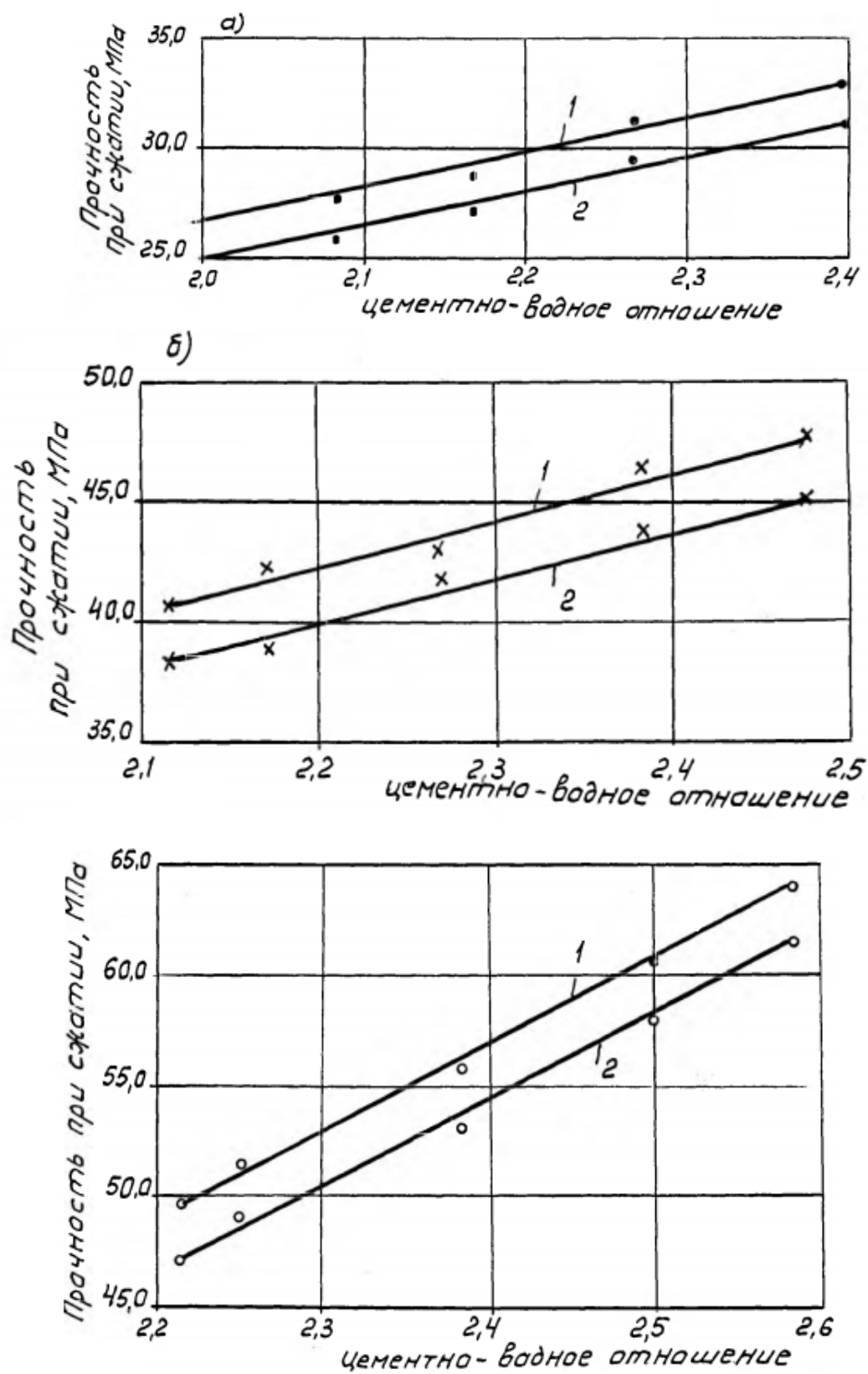


Рис.3.2.7. Зависимость прочности бетона с добавками В-15(а); В-25(б) и В-30(в) от Ц/В:

- 1 – бетон на пластифицированном портландцементе;
2 – тоже, с добавкой 0,15% САФА-1

экономия вяжущего может составить 50-100 кг/м³ или на 12,5-25 % больше чем при существующей оценке удобоукладываемости по подвижности.

Данные обработки результатов исследований прочности бетона с добавкой САФА-I от водосодержания и расхода цемента методом математической статистики представлены в табл. 3.2.4.

Таблица 3.2.4.

Прочность бетона приготовленного из пластифицированного цемента и с введением добавки САФА-I в зависимости от водосодержания и расхода цемента

Количество добавки %	Класс бетона	$\overline{m}_x$, МПа	$\overline{D}_x$, МПа	$\overline{G}_x$, МПа	δ_x , МПа	C _v , %	P, %
Пластифицированный портландцемент							
б/д 0,15	В-15	19,5	7,82	2,79	1,14	14,3	5,6
		23,1	3,64	4,90	0,78	7,64	3,3
б/д 0,15	В-25	29,3	12,18	3,49	1,42	11,9	4,8
		35,5	5,51	2,35	0,95	6,6	2,67
б/д 0,15	В-30	39,5	14,71	3,83	1,57	9,7	3,8
		47,8	6,85	2,61	1,06	5,36	2,21
САФА-1							
б/д 0,15	В-15	19,5	7,82	2,79	1,14	14,3	5,8
		22,1	3,07	1,75	0,82	7,5	3,21
б/д 0,15	В-25	29,3	12,18	3,49	1,42	11,9	4,8
		34,0	7,17	2,67	1,09	7,8	3,2
б/д 0,15	В-30	39,5	14,71	3,83	1,57	9,7	3,8
		46,2	9,4	3,07	1,25	6,64	2,7

Анализ данных статистической обработки результатов испытаний прочности бетона показал, что введение добавки значительно повышает однородность бетона. Так, показатели вариации в зависимости от содержания добавки и расхода цемента составили от 6,6 до 10,2 что в среднем 2 раза меньше чем этот же показатель эталонного бетона.

Проведенные экспериментальные исследования позволили уточнить расход составляющих компонентов на примере исследуемых составов бетона (таблица 3.2.5.).

Таблица 3.2.5.

Примеры составов бетонной смеси с добавкой САФА-1

Марка бетона	в/ц	Расход составляющих компонентов на 1 м ³ бетона, кг		
		Цемент	Песок	Щебень
В-15	0,42	250	612	1224
В-25	0,41	315	590	1180
В-30	0,39	365	585	1165

Пластифицирующие и воздухововлекающие добавки могут снижать прочность пропаренного бетона и увеличивать продолжительность тепловлажностной обработки железобетонных элементов.

Результаты исследований пластической прочности цементного теста и кинетики роста прочности цементного камня, показали, что структурообразование цементного теста в коагуляционно-кристаллизационный период интенсивно ускоряется под действием добавки САФА-I, в результате чего показатели прочности в ранние сроки твердения существенно повышаются. В связи с этим можно предположить, что введение

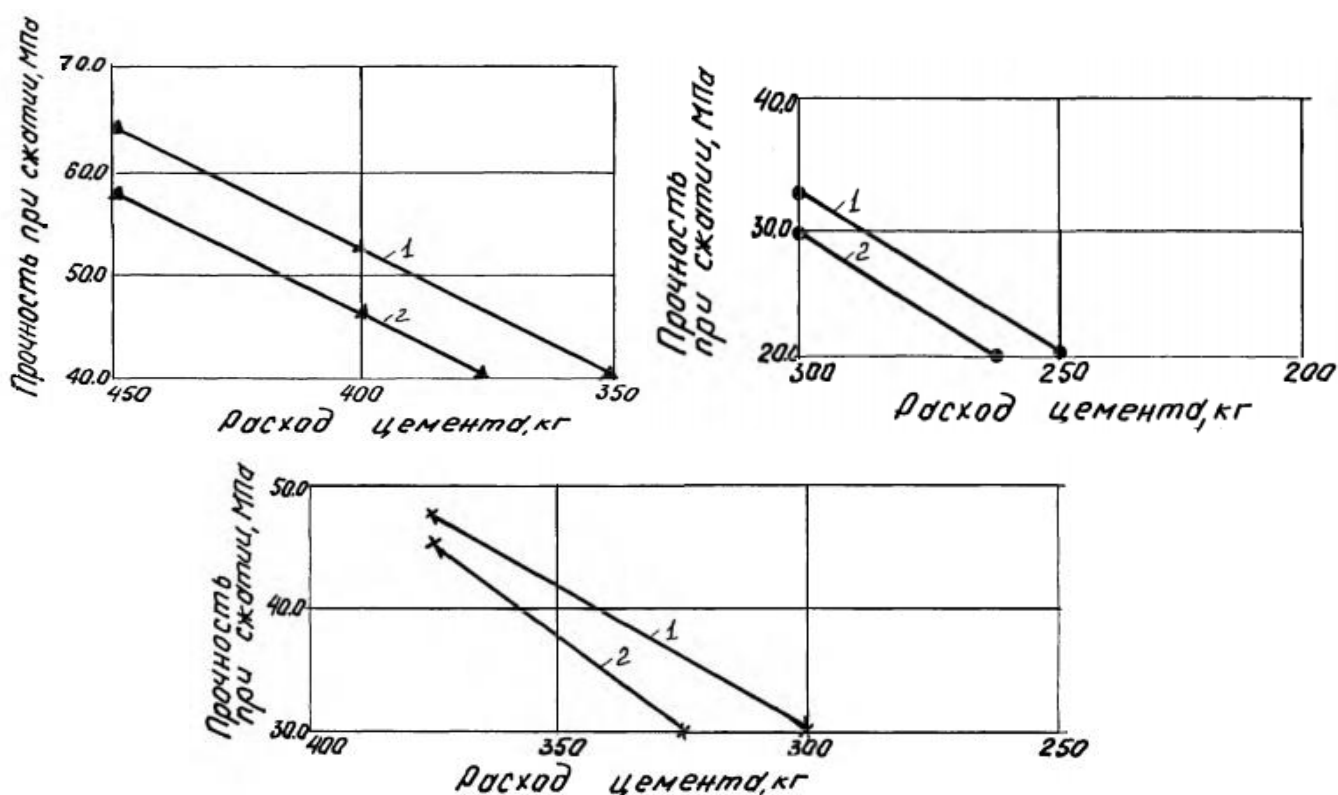


Рис. 3.2.5. Зависимость прочности бетона марок В-30(а), В-25(а), В-30(б) и В-15(в) от расхода цемента:

- 1 – бетон на пластифицированном портландцементе;
2 – портландцемент с 0,15% добавки САФА-1

добавки САФА-I в бетонную смесь в рациональной дозировке позволит сократить продолжительность тепловлажностной обработки бетона.

Учитывая вышеизложенное, представляет интерес изучить возможность сокращения продолжительности тепловлажностной обработки на стадиях подъёма температуры и изотермической выдержки образцов бетона. За исходный был принят режим тепловлажностной обработки бетона 2 + 3 + 6 + 2 ч, при $t = 80^{\circ}\text{C}$ с общей продолжительностью 13 часов. Содержание добавки в бетонной смеси составляло 0,15 %. На первом этапе исследований изучена возможность сокращения времени подъёма температуры на прочность пропаренного бетона. Время подъёма температуры с $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ до $80 \pm 2^{\circ}\text{C}$ принимали равным 1,2 и 3 ч, а продолжительность остальных стадий пропаривания была принята постоянной. На следующем этапе исследований было определено влияние сокращения продолжительности изотермической выдержки на прочность бетона при всех прочих равных условиях пропаривания. Время изотермической выдержки сокращали на 1,2 и 3 часа. Результаты этих экспериментов представлены в табл. 3.2.6.

Таблица 3.2.6.

Влияние добавок САФА-I на продолжительность тепловлажностной обработки и прочность пропаренного бетона

Марка бетона	Режим тепловлажностной обработки, часов	Показатель прочности бетона, МПа	
		Сразу после пропаривания	Через 28 суток твердения
1	2	3	4
В-15 В-25 В-30	2+3+6+2 -//-	14,5	19,0
		17,1	20,1
		21,3	28,5
		28,5	33,1
		27,9	38,2
		44,1	47,3
В-15 В-25 В-30	2+2+6+2	13,0	17,8
		16,4	19,7
		19,2	27,1
		27,1	31,5
		25,1	36,9
		40,2	46,2
В-15 В-25 В-30	2+1+6+2	11,0	14,8
		15,6	19,4
		17,0	24,3
		25,5	30,9
		24,5	32,1
		38,0	43,2
В-15 В-25 В-30	2+2+5+2	15,0	19,2
		23,1	29,6
		34,3	41,1
В-15 В-25 В-30	2+2+4+2	14,6	18,9
		22,5	28,8
		30,8	38,3
В-15 В-25 В-30	2+2+3+2	12,0	16,5
		19,5	25,7
		27,2	36,1

в числителе прочность контрольных образцов

в знаменателе прочность образцов с добавкой

Время подъёма температуры при пропаривании существенно влияет на прочность бетона без добавки в исследуемые сроки. Так, показатели прочности сразу после пропаривания и через 28 суток с уменьшением времени подъёма температуры соответственно снизились на 10-23 и 7-16 % в зависимости от расхода цемента и водосодержания. В тоже время те же показатели бетона с 0,15 % добавок сразу после пропаривания составляют для класса бетона В-15, В-25 и В-30 соответственно 80-85, 90-95 и 100-110 %, а через 28 суток твердения 90-100, 100-110 и 110-120 % от показателей эталонного бетона. Полученные данные свидетельствуют о том, что бетон с добавкой без ущерба для прочности можно пропаривать с сокращением на 1-2 ч, времени подъёма температуры. Исходя из того, что распалубочная прочность бетона должна быть не менее 50 %, а отпускная 70 % представляется возможность сокращения продолжительности изотермической выдержки.

Анализ данных табл.3.2.6. показывает, что у бетона без добавки требуемый показатель прочности достигается за 6 часов изотермической выдержки, а у бетона с добавкой рациональной продолжительностью является 4 ч, так как показатели прочности после 4 и 5 ч. практически одинаковые.

Таким образом, было установлено, что общую продолжительность тепловлажностной обработки бетона с добавкой можно сократить на 3 ч. и принять следующий режим пропаривания: $2 + 2 + 4 + 2$ ч.

По такому режиму и были пропарены образцы бетона составов в соответствие с табл. 3.2.5. для изучения кинетики роста прочности во времени. Одновременно проведено наблюдение изменения прочности и образцов бетона нормального твердения.

Результаты экспериментов представлены на рис. 3.2.9 и 3.2.10. Наиболее интенсивный рост прочности бетона с добавкой наблюдается в начальные сроки твердения до 3 сут, который составляет соответственно способу введения добавки 26 и 35 % в сравнении с показателем эталонного состава.

В дальнейшем нарастание прочности образцов бетона стабилизируется и к 720 сут. твердения показатели прочности образцов нормального твердения выше

на 10-15 %, что подтверждает положительное влияние добавки САФА-I на изменение прочности бетона во времени. Процесс твердения бетона сопровождается усадкой, обусловленной характером физико-химических процессов в сложной гетерогенной капиллярно-пористой структуре цементного камня.

В соответствие с современными представлениями полная усадка состоит из следующих составляющих: гравитационного и седиментационного уплотнения; деформаций сжатия от уплотнения коагуляционной структуры, гидратационной контракции, сжатия от высыхания; усадкой от карбонизации и др. По данным многочисленных исследователей введение пластифицирующих добавок положительно влияет на величину усадочных деформаций [41,52].

Одним из важных эксплуатационных свойств бетонных и железобетонных конструкций является модуль упругости бетона. Несмотря на большой объем исследований влияния пластифицирующих добавок на модуль упругости бетона полученные данные носят противоречивый характер. Так, в работе показано увеличение модуля упругости с добавкой СДБ, а в авторы указывают, что СДБ способствует понижению модуля упругости высокопрочного бетона. Другими исследователями установлено, что применение гвдофобно-пластифицирующих добавок практически не изменяет величину модуля упругости бетона. Снижение модуля упругости бетона авторы обычно объясняют замедлением процесса гидратации и

твердения в начальные сроки и воздухововлечением. С целью определения влияния САФА-I на деформативные свойства проведены исследования усадки, модуля упругости, упругих, пластических и полные деформаций образцов бетона класса В-25 из бетонной смеси с 0,15 % добавки. Экспериментальные исследования влияния добавки на длительные усадочные деформации (влажностная и усадка от карбонизации) выполнены на призмах размером 100 x 100 x 400 мм, твердевших при температуре $20 \pm 5^\circ \text{C}$ и относительной влажности воздуха 55 - 60 % пользуясь известной методикой. Данные по деформациям усадки, приведенные на рис. 3.2.11. показывают, что наиболее

интенсивно величина усадки нарастает в течение 40 - 50 суток. При этом усадка бетона без добавки развивается быстрее, чем усадка с САФА-І. По абсолютной величине деформации усадки бетона с добавкой ниже того же показателя эталонного бетона в 1,5 - 1,8 раза.

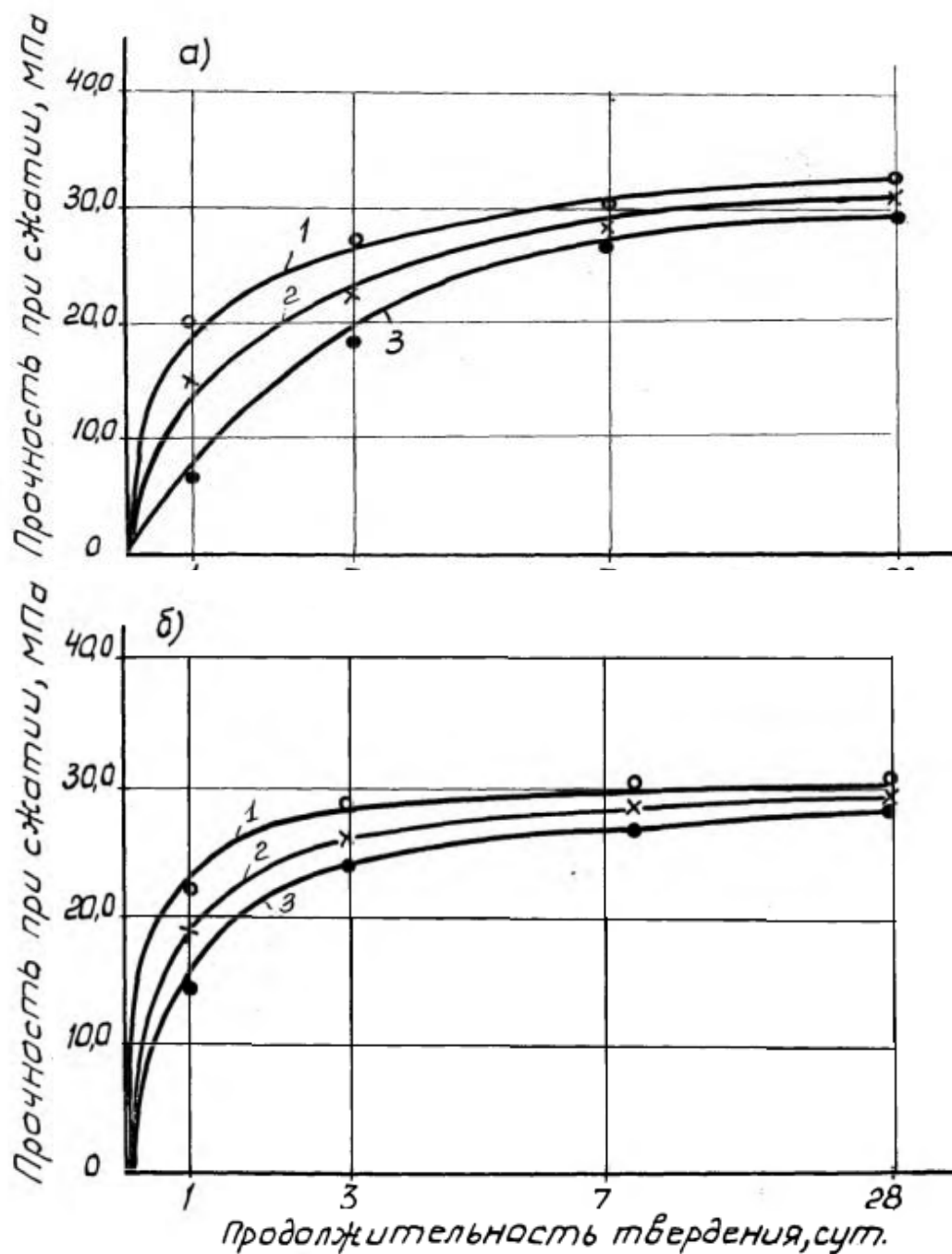
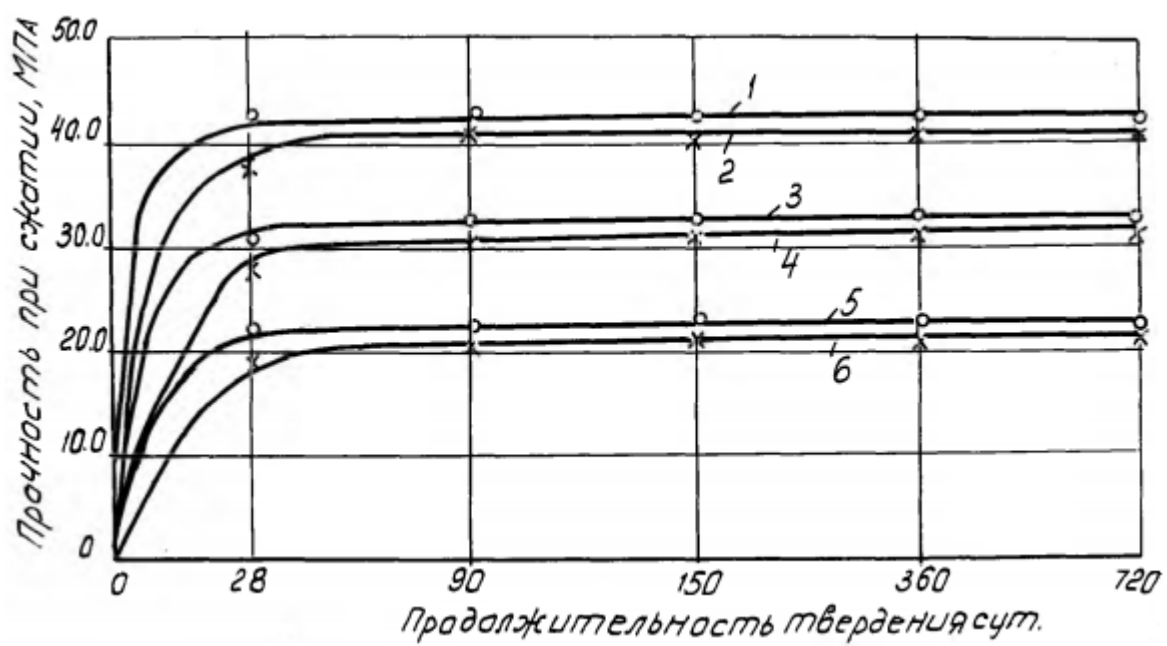


Рис. 3.2.9. Кинетика роста прочности бетона во времени:
а) образцы нормального твердения; б) пропаренные.

1 – бетон из пластифицированного цемента;
2 – тоже, с добавкой 0,15% САФА-1; 3 – эталонный состав

Полученные результаты можно объяснить тем, что как было показано выше, применение добавки 0,15 % САФА-I позволяет сократить водопотребность на 12 - 15 %, расход цемента на 50 - 75 кг/м³ а также уменьшение объёма цементного камня и обуславливает значительное изменение объёмных деформаций усадки бетона с добавкой.

Начальный модуль упругости бетона при кратковременном нагружении определен через 7, 28 и 90 суток твердения бетона в воздушно-сухих условиях при $\sigma = 0,2 R$ пр. Результаты экспериментов представлены на рис. 3.2.12, 3.2.13 и 3.2.14 и табл. 3.2.11.



3 – Бетон с добавкой 0,15% САФА-1

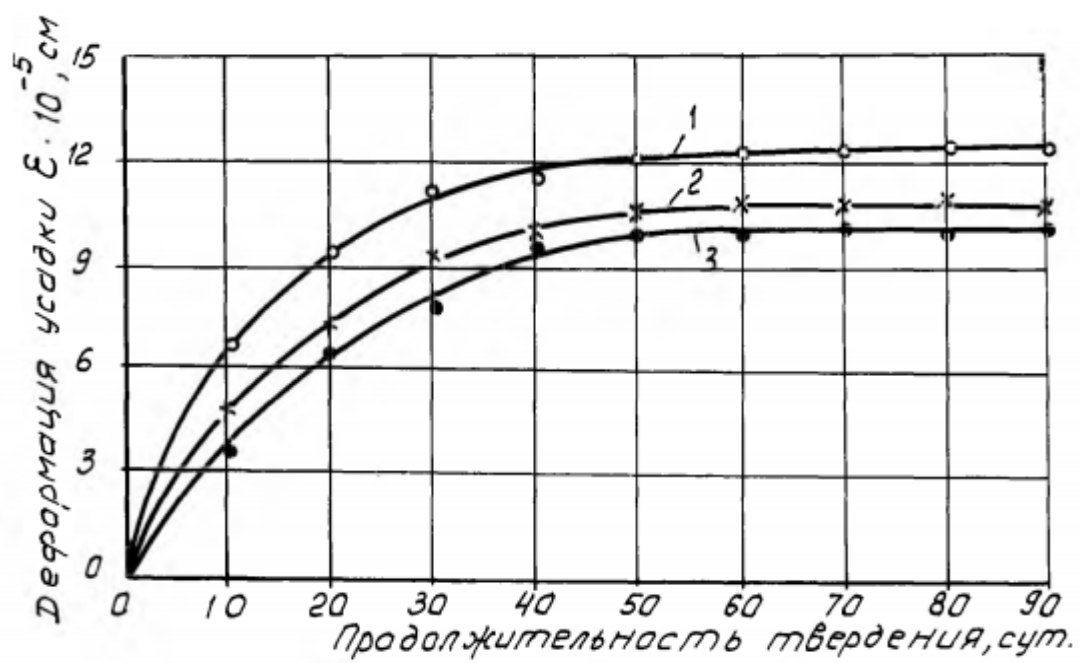


Таблица 3.2.11.

**Показатели прочности и модуля упругости бетона в зависимости
от состава и времени твердения**

Вид добавки	Количес тво добавки, %	Возра ст бетон а, сут.	Кубиковая прочность, МПа		Призменная прочность, МПа		$\frac{R_{пр}}{R_{куб}}$	Модул упругости	
			R куб.	R куб. средне е	R призме нная	R призме нная		E10 ⁵ МПа	E 10 ⁵ среднее , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Без.доб.	-	7	22,2 22,6 22,6 24,1	22,4	18,5 18,8 19,4 23,7	18,9	0,84	3,57 3,50 3,52 3,61	3,53
САФА-1	0,15	7	24,9 24,6 32,0	24,5	23,5 23,2 28,7	23,5	0,87	3,68 3,66 3,84	3,65
Без.доб.	-	28	32,8 32,5 34,6	32,4	29,1 29,4 30,8	29,2	0,86	3,82 3,80 3,85	3,82
САФА-1	0,15	28	34,2 34,4 33,3	34,3	31,5 30,7 29,8	31,0	0,90	3,92 3,91 3,89	3,89
Без.доб.	-	90	33,7 33,8 35,4	33,6	29,5 30,5 32,8	29,9	0,89	3,96 3,98 3,97	3,94
САФА-1	0,15	90	35,2 34,8	35,1	32,4 32,6	32,6	0,93	3,99 4,05	4,01

Полученные данные свидетельствуют о том, что в исследуемые сроки твердения показатели пластических, упругих и полных деформаций бетона с добавкой САФА-1 ниже, чем у эталонного бетона и к 90 сут. Возрасту уменьшились соответственно на 6,5% 1,6% и 13%. Установлено также, что значения коэффициента призмной прочности (К.П.П.) с добавкой увеличивается 0,87-0,93 а для эталонного бетона 0,84 - 0,89. Добавка САФА-I несмотря на некоторый воздухововлекающий эффект не снижает модуля упругости бетона и показатели бетона с добавкой несколько выше, чем у эталонных образцов. Это можно объяснить тем, что содержащиеся в составе смолы САФА аминные группы способствуют увеличению прочности сцепления цементного камня с заполнителем, что подтверждается также увеличением прочности на растяжение при изгибе и К.П.П. бетона с добавкой.

3.3. Водопроницаемость и морозостойкость бетона с добавками

Долговечность бетона в значительной мере предопределяется показателями водопроницаемости и морозостойкости [39,41,38,21].

Водопроницаемость и морозостойкость в большей мере зависят от структуры бетона, которая образуется при формировании и последующими условиями его твердения. Критерии. оценки структуры бетона является общий объём пор, степень замкнутости, средний размер пор, однородность пор по размерам и др.

Из существующих методов определения размеров пор и их распределения по размерам, нами использована методика Туркестанова, усовершенствованная во ВНИИЖелезобетона [33].

В таблице 3.3.1. приведены результаты определения, параметров структурной пористости бетона состава, соответствующей классу В-25.

Образцы твердели в нормально-влажных условиях в течение 28 суток.

Таблица 3.3.1.

Параметры структурной пористости образцов бетона

Состав бетона	Условия твердения	Объёмная масса, г/см ³	Истинная пористость, %	Общий объём открытых пор %	Средний размер пор, в условных единицах	Однородность пор по размерам
Эталонный	Естественное пропаренное по режиму 2+3+6+2ч	2,360	8,9	4,83	2,16	0,43
		2,350	9,3	4,87	2,19	0,45
С добавкой 0,15% САФА-1	Естественное пропаренное по режиму 2+2+4+2ч	2,352	9,5	2,85	0,33	0,58
		2,340	10	2,96	0,38	0,55
С добавкой 0,15% САФА-2	Естественное Пропаренное по режиму 2+2+4+2ч	2,345	10,1	2,98	0,41	0,56
		2,336	10,7	3,12	0,44	0,52

Общая пористость бетона с добавками несколько выше, чем эталонного состава за счет воздуховоалекающего эффекта САФА. Вместе с тем, значительно

изменяется характер пористости бетона с добавками. Так общий объём открытых пор уменьшается в 1,5 раза, а средний размер пор в 5-6,5 раз, при более равномерном распределении пор по размерам. Это можно объяснить дисперсирующим действием добавок, способствующих уменьшению размеров кристаллов гидратных новообразований.

Таким образом, при введении добавок САФА в бетонную смесь приводит к образованию в бетоне системы условно замкнутых пор значительно меньших размеров, что и предопределяет повышение водонепроницаемости и морозостойкости бетона.

Для исследования водонепроницаемости и морозостойкости был принят состав бетона В-25. Образцы естественного твердения и пропаренные выдерживали в нормально-влажных условиях в течение 28 суток, затем подвергали испытанию в соответствии с действующими стандартными методами. Результаты выполненных экспериментов приведены в табл.3.3.2. и 3.3.3.

Таблица 3.3.2.

Влияние исследуемых добавок на водопроницаемость бетона класса В-25

Виды добавок	Количество добавок, %	Прочность при Rсж 28, МПа	Водопроницаемость			
			Нормальное твердение		Пропаренное	
			Максимальное давление в ати до просачивания воды	Время выдерживания при максимальном давлении	Максимальное давление в ати до просачивания воды	Время выдерживания при максимальном давлении
Без добавки	-	29,4	4	2,05	4	1,50
САФА-1	0,15	31,8	8	3,03	6	2,50
САФА-2	0,15	30,5	10	2,41	8	2,21

Исследования показали, что показатели водонепроницаемости бетона, с добавками с 0,15 % САФА-I и САФА-2 в зависимое- ти от вида добавки и условий твердения увеличиваются в 2 - 2,5 раза.

Более высокая водонепроницаемость бетона с добавками объясняется кроме указанных выше структурными изменениями, по-видимому ещё и тем, что добавки интенсифицируют процесс гидраши цементных минералов и увеличивают объём гелеобразных масс, которые закупоривают капиллярные, седиментационные и контракционные поры и каналы.

Анализ результатов испытаний свидетельствует о том, (табл.3.3.3.) что показатели морозостойкости бетона с добавкаш САФА-I и САФА-2 в зависимости от условий начального твердения образцов в сравнении с эталонным бетоном увеличились в 1,5 -2 раза.

Повышение морозостойкости бетона с исследуемыми добавками можно объяснить образованием замкнутых пор, выполняющих роль резервных объёмов, способствующих в дальнейшем снижению кристалли - зационного давления. С другой стороны вовлеченный в бетонную смесь воздух перекрывает частично капилляры между собой, а за счёт снижения водосодержания в целом уменьшается количество капиллярных пор. Следует также отметить, что для повышения морозостойкости бетона весьма важным является ускорение связывания C_3A с гипсом в гидросульфоалюминат, а также продолжительность периода перехода свободной извести в силикат кальция. Как было показано в третьей главе введение добавки САФА способствует ускорению гидратации C_3A и сокращению периода образования силиката кальция, что в целом подтверждает также полученные количественные изменения морозостойкости бетона.

Одним из важнейших свойств бетонной смеси как было отмечено является удобоукладываемость, характеризующая в соответствии с действующими нормативными требованиями, подвижностью по осадке стандартного конуса и жесткостью. Следует отметить, что для виброуплотняемых смеси с пластифицирующими добавками оценка удобоукладываемости по подвижности не соответствует реальному поведению бетонной смеси при динамическом

воздействии. Поэтому удобоукладываемость бетонной смеси с пластифицирующей добавкой более целесообразно характеризовать виброформируемостью, что на практике может дать значительный технико-экономический эффект.

Рассмотрим на первом этапе вопрос влияния добавок АЦФ и САФА на удобоукладываемость бетонной смеси. Как известно добавки проявляют наиболее эффективное пластифицирующее действие при определенном соотношении песка к щебню. Поэтому, в начале произвели подбор состава бетонной смеси с рациональным содержанием песка и щебня. [1,2].

К примеру, для бетонных смесей с подвижностью 4-6 см, с расходом цемента 300-450 кг/м³, щебня фракции 10-20 мм и песка нормальной крупности с рациональной величиной отношения мелкого и крупного заполнителя 0,33 подвижность бетонной смеси возрастает пропорционально содержанию добавки АЦФ в 2-2,5 раза, а САФА соответственно в 2-4 раза. Исследованиями показано, что добавки АЦФ и САФА также положительно влияют на деформативные свойства бетона вследствие эффекта самонапряжения цементного камня. Эксперименты по изучению влияния добавок на длительные усадочные деформации бетона с расходом цемента 350 кг/м³ и В/Ц=0,47 выполнены при температуре 20±5°С и относительной влажности 55-60% [5,11].

Установлено, что наиболее интенсивно нарастает величина усадки в течение 40-50 сут. При этом усадка бетона без добавки развивается быстрее, чем с добавкой АЦФ-3М и САФА: по абсолютной величине деформации усадки бетона с добавкой АЦФ-3М на 32%, а с САФА на 28%, меньше чем с без добавочном тесте. Это очевидно объясняется тем, что добавки позволяют сократить количество воды на 15- 18% и цемента на 18-20%. В результате, уменьшения объема цементного теста обеспечивается значительное уменьшения контракционных явлений.

Многочисленными лабораторными исследованиями показано, что за счет пластифицирующего и воздухововлекающего действия существенно снижается

водопотребность бетонной смеси и улучшается пористость микро и макроструктуры бетона.

Истинная пористость бетона с добавкой АЦФ одинаковая, а с САФА несколько выше, чем эталонного состава за счет воздухововлекающего эффекта ПАВ. Вместе с тем, значительно изменяется характер пористости с добавкой. Так, общий объем открытых пор уменьшается в 1,5 раза, а средний размер пор - в 5-6 раз при более равномерном распределении пор по размерам, [31] с образованием в бетоне системы условно замкнутых пор значительно меньших размеров, что способствует повышению водонепроницаемости и морозостойкости бетона.

Показатели водонепроницаемости бетона с добавками в зависимости от вида ПАВ и условий твердения, увеличиваются в 2-2,5 раза. Основным фактором уплотнения и упрочнения цементного камня является снижение водопотребности [37] вяжущего вследствие пластифицирующего действия добавок АЦФ смол. Следует также отметить и дополнительный упрочняющий эффект, связанный с особенностью действия добавок на процесс гидратации и твердения в период раннего структурообразования цементного камня. Определяющее значение на формирование структуры в ранний период гидратации, а также на плотность и прочность цементного камня в процессе длительного твердения оказывают скорость и количество образующегося гидросульфата алюмината кальция.

Обычно процесс перекристаллизации с изменением фазового состава, морфологии гидратных новообразований безусловно вызывает деструктивные явления в цементном камне, что может привести к снижению прочности и долговечности бетона. В связи с этим можно предположить, что протекание этого процесса в раннем возрасте, когда цементный камень характеризуется высокими пластическими деформациями, имеет преимущества перед процессом, протекающим в последующие сроки в более хрупком цементном камне.

Оригинальная особенность эффекта действия АЦФ смол заключается в одновременном увеличении подвижности бетонной смеси с осадкой конуса 0-6

см и прочности бетона в рациональных пределах дозировок (0,1-0,15). При этом, наблюдается экстремальный характер изменения прочностных показателей, и прирост прочности при применении 0,15% достигнет 20-25%. ПАВ от веса вяжущего.

Введение в состав бетонной смеси добавки АЦФ в количества 0.15% позволяет получить равно пластичную бетонную смесь с начальной осадкой конуса 4-6 см при сокращении водосодержания на 15-17%). Общий прирост прочности для бетона с расходом цемента 270-430 кг/м³ составляет 35-38%. Упрочняющий эффект малых дозировок АЦФ смол связан с особенностями формирования микроструктуры бетона, снижением контактной пористости макроструктуры, что свидетельствует о повышении прочности сцепления цементного камня с заполнителем и подтверждается приростом прочности образцов на растяжение при изгибе на 28-35%).

При рациональной дозировке добавки АЦФ полученный прирост прочности позволяет экономить 17-20% цемента. Используя критерий удобоукладываемости по осадке стандартного конуса для бетонной смеси с подвижностью 2-3 см, в зависимости от начального расхода вяжущего, можно получить экономию цемента при введении добавки САФА в количестве 50-75 кг/м³. Экономия вяжущего для тех же смесей при оценке удобоукладываемости равной 10-15 секунд может составить 50-100 кг/м³, или на 18-22%) больше.

Пластифицирующие воздухововлекающие добавки обычно снижают темп нарастания прочности бетона, что отрицательно сказывается на продолжительности выдерживания монолитного бетона до распалубки и сроках нагружения конструкций при твердении их в нормальных условиях. Добавки АЦФ и САФА лишены этих недостатков. Наиболее интенсивный рост прочности бетона с добавками наблюдается в начальные сроки твердения до 7 сут. Так, если прирост прочности эталонного бетона после 3 сут. твердения в воздушно-влажных условиях при температуре 25- 30°С. составляет 30% то бетона с добавками САФА и АЦФ достигает 70%) прочности [7]. В дальнейшем нарастание прочности бетона стабилизируется и к 90 сут. нормального

твердения она выше на 15-18% чем у контрольного бетона. Добавку АЦФ смол целесообразно использовать; для интенсификации твердения бетона и сокращения режимов тепловлажностной обработки изделий. На примере добавки АЦФ показана возможность значительного сокращения продолжительности тепловой обработка бетона при условии оптимизации составов бетонной смеси с добавкой по виброформуемости, соответствующей удобоукладываемости обычной бетонной смеси по характеристике осадки стандартного конуса. Введение 0,15% добавки АЦФ и 0,1%. САФА в бетонную смесь позволяет сократить водопотребность соответственно на 14-18% и 18-22% и получить равнопрочную смесь по виброформуемости. Такое снижение водопотребности обеспечивает повышение прочности пропаренного бетона с добавкой АЦФ и САФА с 30-35% до 38-40% соответственно. Для получения отпускной прочности бетона, с добавками АЦФ и САФА представляется возможным сократить продолжительность тепловой обработки при стандартной температуре на 2-3 ч или снизить температуру изотермического прогрева до 60-65°C при неизменной продолжительности пропаривания.

В условиях сухого жаркого климата в летний период весьма эффективно использование солнечной, энергии в производстве железобетона. Предложен эффективный способ ускорения твердения бетона, отличающийся простотой и не требующий капитальных вложений на устройство специальных гелиополигонов. Он может быть использован в условиях обычных полигонов. Сущность метода заключается в использовании как теплоты, аккумулированной отдельными компонентами бетонной смеси, так и теплоты, воспринимаемой бетоном в процесс твердения на открытой площадке, в сочетании с пластифицированием бетонных смесей добавками АЦФ и САФА и последующим выдерживанием изделий под водонепроницаемой пленкой. Свежеотформованные изделия покрывают полимерной пленкой и выдерживают на открытой площадке в течение 1 сут. Предложенный способ интенсификации твердения бетона предполагает подбор составов бетонной смеси с добавками АЦФ и САФА по критерию виброформуемости, с учетом температуры исходных

компонентов смеси. При этом следует исходить из того, что требуемая прочность бетона в изделии после 1 сут. выдержки в естественных условиях жаркого периода года будет обеспечена при температуре бетонной смеси 35-45 °С в момент укладки ее в формы. Морозостойкость бетона при введении добавок АЦФ и САФА увеличивается в 1,5-2 раза. Повышение морозостойкости бетона добавками объясняется образованием замкнутых пор, выполняющих роль резервных объемов, способствующих в дальнейшем снижению кристаллизационного давления [33] другой стороны, вовлеченный в бетонную. Смесь воздуха перекрывает частично капилляры между собой, а за счет снижения водосодержания в целом уменьшается количество капиллярных пор. Следует также отметить, что для повышения морозостойкости бетона весьма важным является ускорение связывания $\text{Ca}(\text{OH})$ с гипсом в гидросульфаталюминат, а также продолжительность перехода свободной извести в силикат кальция. Как было отмечено выше, добавки АЦФ и САФА ускоряют гидратацию, увеличивают период образования силиката кальция и тем самым способствуют формированию напрягающей структуры цементного камня. Добавки АЦФ и САФА способствует реализации такого механизма воздействия на макроструктуру, что приводит к изменению кинетики водонасыщения бетона. Действительно, при получении бетонной смеси одинаковой подвижности с 0.15% добавок и без добавки наблюдается увеличение продолжительности водонасыщения образцов бетона. Очевидно, что эти особенности структурообразования цементного камня и способствуют существенному повышению морозостойкости бетона с добавками АЦФ и САФА.

Введение добавок АЦФ и САФА в состав бетонной смеси положительно повлиял на удобоукладываемость и на деформативные свойства бетона. Вводимые в бетонную смесь предлагаемые добавки в 2-2,5 раза увеличивают водонепроницаемость и 1,5-2 раза морозостойкость бетона. Введение добавок АЦФ и САФА в состав бетонной смеси в количестве 0,10-0,15% от массы вяжущего позволяет сократить водопотребность на 15-18% и расход цемента на 18-20%.

ГЛАВА IV

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНА

4.1. Интенсификация приготовления бетонной смеси

Под интенсификацией производства бетонных и железобетонных конструкций понимается сокращение продолжительности технологических циклов с одновременной экономией материальных, энергетических и трудовых затрат и ресурсов, а также повышение их качества.

Представление бетонов как композиционных материалов полиструктурного строения предопределяет интенсификацию процессов приготовления бетонных смесей путем обогащения, активации составляющих и раздельной технологии перемешивания. Существенные резервы ресурсосбережения заложены и в процессах приготовления бетонных смесей. Технология производства бетонной смеси совершенствуется в следующих направлениях: модернизация существующих типов смесительных установок и создание новых типов смесителей, поиск оптимальной последовательности загрузки и перемешивания компонентов бетонной смеси; разработка комплексных методов, совмещающих в себе интенсивные способы приготовления с предварительным разогревом бетонной смеси, введением минеральных наполнителей и химических добавок, направленно регулирующих свойства бетонной смеси и скорость физико-химических процессов твердения; автоматизация бетонных узлов. Экономия цемента в производстве бетонной смеси достигается при использовании отечественных турбулентных смесителей, окружные скорости которых вдвое-втрое выше, чем у рабочих органов смесителей других типов. Качество и продолжительность процесса приготовления бетонной смеси зависят от последовательности загрузки и перемешивания составляющих. В этом смысле перспективной представляется раздельная технология приготовления бетонных смесей. Такая технология

является основной в производстве асфальто и полимер- бетонных смесей и должна стать таковой и для обычных цементных смесей.

По раздельной технологии отдельно в скоростных смесителях готовится растворная часть и в обычных смесителях - смесь заполнителя с растворной частью. Раздельное приготовление смесей позволяет управлять микро и макроструктурой бетона. При этом появляется возможность модифицировать цементное вяжущее химическими добавками и минеральными наполнителями, производить перемешивание в заданном температурном-режиме и активировать поверхность заполнителей.

Продолжительность приготовления вяжущего зависит от емкости турбулентного смесителя и скорости вращения рабочего органа и определяется опытным путем при приготовлении пробных производственных замесов. Продолжительность перемешивания бетонной смеси в обычном смесителе определяется также опытным путем.

Принцип работы турбулентного смесителя по характеру воздействия на перемешиваемую смесь аналогичен действию рабочего колеса центробежного насоса. Загруженные в смеситель вода и вяжущее перемешиваются ротором, который при вращении отбрасывает смесь лопатками к стенкам корпуса и под действием собственной массы опускается на ротор. При перемешивании в турбулентном смесителе частицам смеси сообщаются высокие скорости и сложные траектории движения. В результате столкновения частиц друг об друга и при частых ударах об ротор цемента и наполнителя повышается степень смачивания, что обеспечивает равномерное распределение воды, приводящего к физическому и химическому диспергированию, сдиранию экранирующих гидросульфаталюминатных пленок с клинкерных частиц с обнажением, новых активных центров поверхности. В результате достигается ускорение и увеличение степени гидратации цемента, повышение прочности наполненного цементного камня. Таким образом, интенсивная технология приготовления бетонной смеси предполагает комплексное использование раздельного

перемешивания вяжущего и заполнителей, введение пластифицирующей добавки и дисперсного наполнителя.

Внедрение интенсивной раздельной технологии не требует коренной перестройки производства бетонных смесей и предполагает лишь оборудование бетоносмесительных узлов заводов ЖБИ путем установки дополнительного смесителя - активатора растворной смеси.

Определенные трудности во внедрении раздельной технологии приготовления бетонной смеси обусловлены рядом объективных и субъективных факторов. К первым следует отнести, прежде всего, несовершенство первичной конструкции смесителя СА-400/500. Недостатки смесителя - прилипание смеси к стенкам, зарастание входных патрубков, негерметичность некоторых узлов с выгрузкой смеси. В настоящее время указанные недостатки выявлены и большей частью устранены. Необходимо отметить, что эти недостатки не касаются сути технологии, а лишь указывают на необходимость улучшения конструкции быстроходного смесителя.

Субъективные сдерживающие факторы - инерция в психологической перестройке специалистов при отходе от привычных стереотипов в производстве и мышлении. В этой связи, учитывая хозрасчет, необходимо использовать экономические методы стимулирования внедрения раздельной технологии, к примеру, широко применяемой на предприятиях строительной индустрии. Кроме того, представляется целесообразным создание в структуре министерств и ведомств хозрасчетных экспериментально, наладочных организаций для ускорения перевода предприятий строительной индустрии на интенсивные технологии, в том числе и раздельной технологии приготовления бетонной смеси.

В производстве панелей из бетона В-15 расход цемента снижен на 13%. При производстве керамзитобетона М 100 средней плотностью 1450 кг/м³ расход цемента снижен на 10,7%. Коэффициент вариации отпускной прочности тяжелого бетона от повышения однородности уменьшился с 10-15% до 4-7%. Приготовление бетонной смеси по ИРТ для формирования плит перекрытия

выполняется в секции типового БСУ, оборудованного двумя бетоносмесителями принудительного действия типа С=951 (выход готовой смеси 800 л) и весовыми дозаторами типа АВДИ-1200. Для приготовления бетонной смеси по ИРТ на БСУ установлено дополнительное оборудование, в том числе смеситель активатор типа С=600/830 и отдельный дозатор типа АВДУ-425 для дозирования песка в активаторе. Бетонная смесь по ИРТ готовится в две стадии. На первой - в смесителе активаторе готовится смесь, содержащая весь цемент, воду и пластификатор, а также 30-50% песка, идущего на замес. В качестве пластификатора применяют пластифицирующие добавки, модифицированный путем адсорбции на цементе. На второй стадии активированная растворная смесь перемешивается с крупным заполнителем (щебнем, керамзитовым гравием) и оставляется частью песка в бетоносмесителе принудительного действия. Активатор типа СА=600/830 имеет ёмкость по загрузке 830 л с выходом активированной смеси 400 л, скорость вращения ротора 740 об/мин, мощность электродвигателя 22 кВт и два выходных отверстия с затворами для выдачи активированного раствора в бетоносмесителе типа С=951. На внутренней поверхности барабана активатора приварены специальные ребра, обеспечивающие турбулентное перемешивание смеси.

К дозатору типа АВДЦ=425 (для питания активатора) подведена наклонная течка от расходного бункера песка, выходной люк дозатора увеличен до 400 мм. Управление дозатором песка, активатором и его затвором осуществляется в полуавтоматическом режиме с пульта управления оператором БОУ. Технология ИРТ на заводе состоит в следующем. В работающий активатор с плотно закрытыми выходными отверстиями последовательно вводятся: вся вода и раствор добавки на замес (за вычетом воды, содержащейся в песке и крупном заполнителе); часть песка (30-50% от количества песка, идущего на замес; весь цемент). После введения цемента компоненты перемешиваются в течение 60 с. За 20 с до окончания приготовления раствора в активаторе в работающий смеситель С=951 вводят щебень и оставшуюся долю песка. Приготовленный в активаторе раствор подается в бетоносмеситель и вся смесь

перемешивается не менее 60 с. С целью промывки смесителя активатора при приготовлении последнего перед окончанием работы замеса в активатор подается не вся вода, идущая на замес, а ее половина, установленная часть песка и весь цемент. Перемешивание компонентов осуществляется в течение 60 с. Приготовленная в активаторе смесь поступает в бетоносмеситель С=951, а затем закрывается выходное отверстие активатора и в него подается оставшаяся часть воды, идущая на замес. После промывки активатора в течении 40 с воды сливается в бетоносмеситель, в котором осуществляется ее перемешивание с бетонной смесью 40 с.

На заводе ИРТ применена для изготовления из тяжелого бетона колонн, ригелей, свай (В-25), дорожных плит, ригелей (В-30) и колонн, из керамзитобетона - наружных стеновых панелей и других изделий номенклатуры завода. Удобноукладываемость (осадка конуса) бетонной смеси составляет 5-9 см для колонн, ригелей, изделий сложного профиля; 1-4 см для свай; 10-12 см для кассетных изделий; 5-10 см для дорожных плит; 1-4 см для изделий из керамзитобетона. Отпускная прочность бетона зимой составляет 90-100%, а летом 75, 85, 100%. ИРТ применяется для экономии цемента, повышения технологичности процесса формования изделий и однородности бетонной смеси, улучшения качества, теплотехнических свойств изделия из легкого бетона. Указанные эффекты могут быть усилены за счет использования химических добавок. При внедрении ИРТ снижается запыленность на БСУ, улучшаются условия труда работающих. Специфика ИРТ и оборудования для приготовления бетонной смеси на заводе ЖБИ состоит в следующем.

Приготовление бетонной смеси по ИРТ для формирования железобетонных изделий осуществляется на БСУ завода с использованием смесителей принудительного действия типа СБ=93 и СБ=138 (выход готовой смеси 1000 л), весовыми дозаторами типа АВДИ=1200 для инертных материалов, АВДЦ=1200 для цемента и АВДЖ=425 для воды ж водного раствора добавки. Для приготовления бетонной смеси по ИРТ на БСУ установлено дополнительное оборудование, в том числе два смесителя активатора типа СА-

500/800, модернизированные ЦМИПКС МИСИ. Активаторы имеют емкость по загрузке 870 л, отработанный объем выхода активированной смеси до 650 л, мощность электродвигателя на активаторе № 1 - 22, № 2 - 30 кВт. Загрузка активаторов осуществляется через верхние отверстия, а выгрузка активированной смеси - через люк, расположенный в нижней части корпуса агрегата, по наклонному трубопроводу. Выгрузочное отверстие поверхности корпуса активатора приварены ребра для создания турбулентного перемешивания смеси. Периодическая ревизия активатора осуществляется через люк, кроме того, на верхней крышке имеется смотровое отверстие.

Бетонная смесь по ИРТ приготавливается в две стадии с совмещением отдельных операций во времени. На первой стадии в смесителе активаторе готовится растворная смесь, содержащая всю воду и пластификатор, весь песок и весь цемент, идущие на замес. На второй стадии активированная растворная смесь перемешивается с крупным заполнителем в бетоносмесителе принудительного действия.

В случае приготовления керамзитобетонной смеси в активаторе обрабатывается цементное тесто, состоящее из воды (80-110 л) и всего цемента, идущих на замес (0,75 м³).

Приготовление бетонной смеси на плотном заполнителе осуществляется в следующей последовательности.

В работающий активатор с плотно-закрытыми выходными люками отверстиями последовательно вводятся: вся вода и раствор добавки на замес (за вычетом воды, содержащейся во влажном песке и щебне); песок (100%); цемент (100%). Общий цикл активации растворной смеси при этом составляет 60-90 с. Одновременно в работающий бетоносмеситель вводится щебень (100%) и приготовленный в активаторе раствор. Бетонная смесь перемешивается не менее 45 с. Общий цикл приготовления бетонной смеси составляет около 2 мин.

При изготовлении изделий из керамзитобетонной смеси в работающий активатор вводятся: 80-100 л воды с добавкой цемент (100%). Общий цикл обработки в активаторе смеси из цемента, добавки и воды составляет 60 с. За 30

с до окончания активации смеси в бетономешалку загружается керамзитовый гравий и керамзитовый песок, оставшаяся часть воды, перемешиваются в течение 30-40 с, затем в смеситель выгружается из активатора вспененное цементное тесто, которое перемешивается вместе с заполнителями не более 3 мин во избежание разрушения пены.

В случае применения кварцевого песка в составе керамзитобетонной смеси в активаторе обрабатывается следующая смесь: 90-100 л воды вместе с добавкой; цемент (100%); кварцевый песок (100%). С целью очистки (по мере необходимости) смесителя активатора в процессе работы в него подается 30-40% воды и весь песок, идущие на замес. Водно песчаная смесь перемешивается в течение 40-60 с. Затем в активатор подается оставшаяся часть воды и цемент. Цементно песчаный раствор активируется в течение 60-90 с. Выгрузка активированной бетонной смеси осуществляется в бетоновозную тележку.

На предприятиях строительной индустрии Узбекской ССР внедрение ИРТ приготовления бетонной смеси находится на начальной, стадии. Идет освоение скоростных смесителей и отработка режимов приготовления бетонной смеси с учетом специфики применяемых исходных материалов и особенностей каждого отдельного производства.

Проведены работы по отработке режимов раздельной технологии приготовления бетонной смеси и корректировки ее состава. Эксперименты выполнены с бетонными смесями составов (кг/м³): цемент - 250-265; песок - 1060-1070; щебень - 930, вода - 98-110 л. В процессе опытно производственных работ определено влияние продолжительности активации цементно водной суспензии и расхода цемента на прочность пропаренного бетона и установлена достаточность активации в течение 60 с. Контрольными испытаниями прочности бетонных образцов установлен прирост показателя в пределах 25-45% или возможность экономии 10-12% цемента.

Положительные результаты по освоению раздельной технологии приготовления бетонной смеси получены на Ферганском производственном объединении строительных материалов.

Для внедрения раздельной технологии на бетонном заводе вместо активатора СА=400/500 осуществлена привязка скоростного турбулентного смесителя марки СБ=148. Загрузку составляющих и перемешивание в обоих смесителях осуществляют одновременно, что не увеличивает общую продолжительность приготовления бетонной смеси. В процессе опытно-производственных работ по изготовлению колонн, прогонов и плит из бетонных смесей марок В-15 и В-25 определено влияние продолжительности активации растворной смеси (100% цемента + 25% песка + 100% воды) и расхода цемента на прочность пропаренного бетона табл. 4.1.1. Установлено, что активацию растворной смеси достаточно производить в течение 60-75 с, а продолжительность перемешивания в основном смесителе составляет 90-120 с.

Данные табл. 4.1.1. доказывают, что при раздельной технологии приготовления бетонной смеси обеспечивается 95-100% ная прочность бетона после пропаривания. Уменьшение расхода цемента на 10% не снижает прочность бетона, которая составляет 78-85% от марочной. При этом бетонная смесь характеризуется повышенной однородностью и хорошей виброформируемостью.

Таблица 4.1.1.

Производственные составы бетонных смесей и прочность бетона (числитель-по традиционной технологии; знаменатель-по раздельной технологии, в скобках - оптимальные составы смеси, рекомендованные к внедрению)

Класс бетона	Подвижность бетонной смеси, о.к.см	Расход составляющих (кг) на 1 м ³) бетонной смеси				Прочность бетона (МПа) после пропаривания
		Цемент	песок	щебень	Вода	
В-25	3-5	420	900	970	189	21,0
		420	900	970	189	29,3
		(380)	(920)	(990)	(170)	(21,8)
В-25	0-1	400	1250	550	164	23,5
		400	1250	550	164	20,8
		(360)	(1270)	(570)	(151)	(22,5)
В-20	0-1	290	1150	830	130	16,8
		290	1150	830	130	19,6
		(260)	(1165)	(845)	(117)	(16,6)

В-20	3-5	$\frac{330}{330}$ (300)	$\frac{860}{860}$ (875)	$\frac{1050}{1050}$ (1065)	$\frac{170}{170}$ (158)	$\frac{15,6}{20,5}$ (16,1)
------	-----	----------------------------	----------------------------	-------------------------------	----------------------------	-------------------------------

Опыт освоения раздельной технологии на заводах строительной индустрии показал, что имеются резервы по экономии цемента, связанные с совершенствованием конструкции смесителя активатора, подбором оптимальных составов бетонных смесей, соблюдением технологической дисциплины. Значительно большая экономия цемента может быть обеспечена при комплексном использовании ИРТ, минеральных наполнителей и пластифицирующих добавок.

4.2. Наполнение бетонов

Применение наполнителей для бетона диктуется теоретическими предпосылками и практической необходимостью. Теоретические предпосылки наполнения цементного теста базируются на представлениях о неполной гидратации клинкерных минералов и длительной сохранности в цементном камне оставшихся ядер цементных зерен (30% и выше), выполняющих в результате роль наполнителей. В связи с этим возникает целесообразность замены клинкерных наполнителей более дешевыми и менее энергоемкими минеральными веществами, что может обеспечить условие более глубокой гидратации цемента, улучшение микроструктуры и свойств бетона. С другой стороны, экономия основного компонента бетонных смесей - цемента - одна из актуальных практических задач ресурсосбережения в строительстве. Наиболее эффективным, с точки зрения экономии ресурсов, является использование бетонов с минеральными наполнителями. Применение наполнителей обеспечит решение не только технических и экономических, но и экологических проблем. Вопросы применения наполнителей в бетонах на плотных и пористых заполнителях в последнее время получают интенсивное развитие. В качестве минеральных наполнителей цемента и бетонов рекомендуется использовать

вещества природного или искусственного происхождения, вторичные продукты промышленных производств и электроэнергетики, а также попутные породы при добыче сырья табл.4.2.1.

По активности минеральные наполнители делят на активные и инертные табл.4.2.1. Однако следует отметить, что такое деление наполнителей носит чисто условный характер, ибо, под активностью минеральных веществ в узком смысле обычно понимают гидравлическую активность. В более широком смысле необходимо учитывать не один, а комплекс активных факторов структурообразования. Следовательно, кроме гидравлической активности, к таким факторам следует отнести дисперсность, гранулометрический состав, активность поверхности и количество вводимого наполнителя. Варьированием этих факторов и можно повысить эффективность использования минеральных наполнителей в бетонных смесях.

Дисперсный наполнитель с момента затворения оказывает в цементном тесте пептизирующее и структурообразующее действие,

Таблица 4.2.1.

Классификация наполнителей

Вид добавки	Происхождение добавки	Название добавки	Характеристика добавки
1	2	3	4
Горные породы	Вулканические	Трассы, туфы, пепелы, пемзы	Гидравлически активные
	Осадочные породы, измененные вторичными процессами	Трепелы, диатомиты, др. Глиеж	Гидравлически активный
	Осадочные	Пески кварцевые, полевошпатные и др., песчаники, лес, известняки, доломиты, мергели и т.п.	Инертные
	Изверженные	Граниты, диабазы и др.	Инертные
	Метаморфические	Гнейсы, мраморы, кварциты	Инертные

Промышленные отходы	Химическая промышленность ПСМ	Сиштофф, кирпичный бой, недопал кирпича	Гидравлически активные
	Энергетическая промышленность	Золы некоторых углей и др. видов топлива (сланцев, торфа)	Гидравлически активные
	То же	Золы некоторых горючих сланцев	Добавки, обладающие самостоятельными вяжущими свойствами или способные к возбуждению
	Промышленность цветных металлов	Бокситовый и нефелиновый шлам	
	Металлургическая промышленность	Доменные, гранулированные шлаки, кислые и основные	
	То же	Шлаки доменные, негранулированные, мартеновские	То же
	Химическая промышленность	Шлаки электротермофосфорные	То же

ускоряя тем самым процессы гидратации и твердения цементного камня. Такое действие дисперсных наполнителей объясняется тем, что частицы наполнителя, располагаясь между отдельными зернами цемента, раздвигают их и увеличивают к ним доступ воды. Образующиеся продукты гидратации распределяются в большем объеме, так как осуществляется отвод их из зоны реакции к поверхностям частиц наполнителя.

Адгезия наполнителя к портландцементу обуславливается кристаллизацией новообразований со срастанием контактных новообразований с поверхностями минералов, входящих в состав дисперсных веществ. При этом значительное влияние на кристаллизацию новообразований оказывает наличие активных центров. В результате действия активных центров процессы кристаллизации цементного камня в зонах контакта с дисперсным наполнителем приобретают следующие отличия:

ускоряется зарождение кристаллов новообразований, увеличивается их количество, повышается степень кристалличности;

кристаллы новой фазы имеют определенную ориентированность относительно поверхности частиц наполнителя;

проявляется избирательность в составе новообразований.

Интенсивность влияния поверхности дисперсных наполнителей на процесс кристаллизации гидратных образований зависит не только от количества активных центров, но и от силы их действия, которая обусловлена кристаллическим строением минералов. Возможны различные типы кристаллических срастаний гидратных новообразований с частицами наполнителя:

слабая связь, основанная на силах электростатического притяжения;

более прочные связи, обусловленные срастанием родственных поверхностей (структурное соответствие между кристаллическими решетками минералов наполнителя и решетками важнейших гидратных продуктов), так называемое эпитаксическое срастание;

непосредственная достройка на кристаллической решетке минерала наполнителя новообразования с близким кристаллическим строением.

Установлено, что прочность цементного камня при различном водосодержании смеси зависит от тонкости помола цемента и наполнителя, а также от контактных сил сцепления между зернами наполнителя и продуктами гидратации портландцемента. Тонкодисперсные фракции участвуют в образовании цементного геля, более грубые вследствие продолжающейся гидратации цемента отсасывают воду из ранее образовавшихся пористых гелей, что и приводит к затвердению цементного камня. Скорость твердения и набора прочности цементного камня зависит от размеров поверхности зерен наполнителя. Чем больше поверхность зерен наполнителя, тем тоньше прослойки продуктов гидратации между ними, тем больше их влияние на аморфную фазу и тем быстрее твердеет цементный камень.

Применение в качестве молотого минерального наполнителя кварцевого песка насчитывает почти вековую историю. Песок является легкодоступным и повсеместно распространенным материалом. Результаты исследований

песчаного цемента И.П. Александриним, И.Н. Ахвердовым, Б.Г. Скрамтаевым позволили сделать общий вывод - простое измельчение цементного клинкера с минеральными наполнителями приводит к снижению прочности цементного камня и бетона. Поэтому для получения бетона проектной марки требуется расходовать смешанного вяжущего на 10-15%, чем обычного портландцемента. Совместный помол клинкера с минеральными веществами и применение высокодисперсных наполнителей (с дисперсностью в 1,2-1,6 раза выше, чем цемента) позволяет экономить клинкерную часть вяжущего на 10-20%. Отсюда следует, что применение минеральных веществ как в процессе производства цемента, так и введение высокодисперсных наполнителей при приготовлении бетонных смесей хотя и улучшает некоторые свойства бетонов, однако является недостаточно эффективным с точки зрения экономии клинкерной части вяжущего. Поэтому выполненными в последнее время в ТашИИТ работах и других разработках установлено, что для каждого вида минерального вещества существует своя оптимальная дисперсность наполнителя, и что нет необходимости совместного измельчения минерального вещества и клинкера при получении цемента. Напротив, минеральное вещество следует размалывать отдельно до оптимальной дисперсности и вводить его при приготовлении бетонной смеси.

Эффективность использования наполнителей может быть существенно повышена путем их активации в процессе измельчения минеральных веществ.

Активацию наполнителей в основном выполняют механическим (измельчение), химическим (модификация поверхности органическими или минеральными добавками) или комбинированными способами. К примеру, измельчение кварца приводит к изменению его кристаллической структуры. Кварц частично становится аморфным, что в сочетании с вскрытием новых активных поверхностей зерен повышает его реакционную способность. Использование активированных наполнителей позволяет на 30-50% экономить расход цемента при приготовлении керамзитобетонов. Существенное повышение эффективности применения дисперсных минеральных веществ

может быть обеспечено при комплексном использовании наполнителей и пластифицирующих добавок.

4.3. Химические добавки для бетонных смесей

Один из наиболее эффективных путей интенсификации производства, повышения качества, снижения себестоимости и материалоемкости железобетонных конструкций - применений химических добавок для бетонных смесей. В современной технологии бетона широко применяют различные виды химических добавок. Они позволяют направленно регулировать структурообразование цементных композиций и совершенствовать технологию бетона на всех этапах изготовления бетонных и железобетонных изделий и конструкций; приготовлении и транспортировании бетонной смеси, формовании и твердении. Химические добавки получают из побочных продуктов, либо они являются специально синтезированными веществами целевого назначения. Их используют в качестве интенсификаторов помола и придания специальных свойств цементу, для получения активированных минеральных наполнителей, обработки поверхности заполнителей, органических составляющих полимерцементных бетонах и в качестве добавок к бетонным смесям.

Простым технологическим приемом интенсификации технологии бетона служит применение химических добавок к бетонным смесям.

В соответствии с нормативными документами химические добавки к бетону подразделены на регуляторы реологических свойств бетонных смесей; регуляторы процессов схватывания и твердения; регуляторы структуры бетона и раствора. Для приготовления легких бетонов рекомендованы следующие добавки: пластифицирующие, воздухововлекающие, пенообразующие, газообразующие и ускорители твердения.

В зависимости от индивидуальных качеств добавки применяют от тысячных долей до 1-2% массы цемента в пересчете на сухое вещество и дозировки их уточняют исходя из конкретных требований, вида вяжущего,

состава бетонной смеси, качества заполнителей и условий твердения. Основным классом добавок, повышающих эффективность производства железобетонных изделий и конструкций, являются пластификаторы. Работы ученых способствовали раскрытию механизма действия добавок на процессы гидратации и твердения цемента, а также на структурообразование растворов и бетонов.

Замедление гидратации цемента в присутствии добавок ЛСТ приводит к снижению прочности цементного камня в начальные сроки твердения. Наряду с этим стабилизирующий эффект добавки способствует образованию более мелкодисперсной кристаллической структуры, вследствие чего происходит интенсивное нарастание прочности в более поздние сроки твердения. Существенным фактором, повышающим прочность бетона в поздние сроки твердения является сниженная водопотребность цемента. В бетонах на плотных заполнителях, упрочняющий эффект от введения ЛСТ в количестве 0,1-0,15% составляет 15-20% или выражается экономией цемента на 5-10%.

В последнее время интенсивно развиваются разработки по модифицированию лигносульфатных добавок для бетона. Как известно, технические лигносульфонаты представляют собой полимеры с широким диапазоном молекулярной массы и состоят из низко и высокомолекулярных фракций. Высокомолекулярная фракция характеризуется очень сильным стабилизирующим действием и замедляют процесс твердения бетона. Недостатком низкомолекулярной фракции является значительная воздухововлекающая способность, приводящая к снижению прочности бетона. Методы модифицирования и направлены на уменьшение негативного влияния низко и высокомолекулярной фракций ЛСТ, которые включают физическую, термическую и химическую обработку.

Так, ослабление стабилизирующего действия ЛСТ достигается уменьшением содержания высокомолекулярной фракции путем адсорбирования различными веществами ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, электролитами, портландцементом, фосфогипсом, металлургическими шлаками, CaCO_2 , CaOH и др. Введением в

состав ЛСТ небольших количеств модифицирующих веществ возможно уменьшение воздухововлекающей способности низкомолекулярной фракции. Примером служит добавка ЛСТ, модифицированная эфиром Н - бутилового спирта, под названием НИЛ=21. На основании выполненных исследований по модифицированию ЛСТ разработаны добавки УПБ, НСДБ, ХДСК=1, М=4, НИЛ=10, НИД=20, НИД=21 и др., применение которых в количестве 0,2-0,7% повышает пластифицирующий эффект добавки без снижения прочности бетона и позволяет экономить расход цемента до 10%.

Гидрофобизирующие ПАВ отличаются полуфункциональным действием: пластифицируют бетонные смеси с одновременной объемной гидрофобизацией материала, что способствует повышению водонепроницаемости и морозостойкости бетона. Гидрофобизирующие ПАВ делятся на однокомпонентные и комплексные. К однокомпонентным относятся добавки, получаемые из природного сырья.

Однокомпонентные гидрофобизирующие ПАВ характеризуются невысокой пластифицирующей способностью, а часть из них, помимо того, и нерастворимы в воде, что усложняет их прямое использование для бетонной смеси. Поэтому более перспективным считают комплексные добавки, приготавливаемые из гидрофобизирующего и гидрофилизирующего компонентов, что также усложняет их практическое применение.

В общем виде роль воздухововлекающих и газообразующих добавок состоит в том, что вовлеченный в бетонную смесь способствует увеличению подвижности и связности бетонной смеси, повышению водоудерживающей способности, водонепроницаемости и морозостойкости бетона. Однако вовлеченный воздух и адсорбционные пленки гидрофобизирующих ПАВ затрудняют доступ воды к частицам цемента, вследствие чего значительно замедляются процессы твердения и нарастания прочности бетона. Кроме того, как известно, каждый процент увеличения содержания воздуха приводит в среднем на 3-5% снижению прочности затвердевающего бетона.

Однокомпонентные и комплексные пластифицирующие добавки интенсифицируют процессы приготовления, укладки и уплотнения бетонных смесей на искусственных пористых заполнителях, позволяют снизить водопотребность на 5-15%, а расход цемента - на 5-10%. Применение при производстве керамзитобетонных изделий различных воздухововлекающих добавок (СНВ, СДО и др.), которые вовлекают 5-15% воздуха, оказывает существенное влияние на удобоукладываемость бетонных смесей. Отмечается, в частности, что удобоукладываемость улучшается даже если при этом вязкость растворной составляющей не меняется или возрастает. Для получения той же удобоукладываемости водосодержание легкобетонной смеси при неизменном составе снижается в среднем на 10%. В то же время отмечается, что поризация керамзитобетонной смеси воздухововлекающими добавками снижает структурную прочность свежесформованных смесей, которая необходима для восприятия механических и температурных напряжений при нанесении и заглаживании верхнего фактурного слоя и тепловой обработке изделий.

Кремнийорганические добавки вводят в керамзитобетонную смесь с водой затворения или путем обработки пористого заполнителя водными эмульсиями ГКЖ-94. В первом случае добавки позволяют уменьшить скорость диффузии жидкости в пористое тело и снизить начальную влажность керамзитобетона с 15-18% до 5-9%. Гидрофобизация керамзитового гравия уменьшает водопоглощение пористого заполнителя в 2-3 раза, водопотребность смеси на 15-20%, остаточную влажность на 35-60% и среднюю плотность бетона на 3-5%.

Ускорители твердения бетона не только позволяют сократить продолжительность или снизить температуру изотермического прогрева при тепловой обработке изделий на 20-30%, но и положительно влияет на дисперсность продуктов гидратации цементного камня и его поровую структуру, прочность и морозостойкость бетона.

Ассортимент химических добавок в технологии бетона постоянно расширяется. В последнее время предложены новые разновидности химических

добавок различного действия. Индивидуальные и комплексные добавки на основе скрубберной пасты синтетических моющих веществ и упаренной паследрожевой бражки (УПБ) позволяют снизить водопотребность бетонной смеси до 10%, вовлекают дополнительно 3-4% воздуха, повышают общую пористость в 1,5-2 раза; сокращают цикл тепловой обработки на 20-25%, увеличивают морозостойкость в 2-2,5 раза. Ряд предложенных новых добавок проявляет такое же пластифицирующее действие, как и СДБ, но вместе с тем они не тормозят процесс твердения бетона. Так, добавка СПД в количестве 0,005-0,02% способствует увеличению содержания воздуха в бетонной смеси на 3-6%, что приводит к повышению в 1,5-2,0 раза удобоукладываемости, морозостойкости и водонепроницаемости, сокращает расход цемента на 1м³ бетона в среднем на 10-15кг. Пластифицирующая добавка ПАЩ-I побочный продукт производства капролактама - обеспечивает получение бетона с водонепроницаемостью В6-В10 и морозостойкостью МРС 200 и выше, со снижением на 15-20 кг расходом цемента.

Ценные свойства индивидуальных ПАВ наилучшим образом могут быть использованы при соответствующем объединении их в комплексной добавке, составляемой из нескольких продуктов. Комплексные добавки получают объединением пластифицирующих, воздухововлекающих, газообразующих добавок и ускорителей твердения. К примеру, ПАЩ=1,+ СПД; ПАЩ=1 + С=3 и ПАЩ=1 + ОП=1 в количестве 0,2-0,3% + 0,005 + 0,01% от массы цемента. Эти добавки позволяют на 12-25 л сократить расход воды и увеличить содержание воздуха в смеси на 4-6%, морозостойкость и водонепроницаемость, снижать расход цемента на 5% или повысить прочность бетона на 10-15%. Комплексные добавки ПАЩ=1 + НК, ПАЩ=1 + СП, ПАЩ=1 + ТНФ в количестве 0,2-0,35% + 0,05 - 0,5% повышают прочность бетона на 20-25% при сохранении заданных режимов тепловой обработки. Комплексная химическая и электрофизическая активация воды затворения положительно влияет на свойства бетонной смеси и бетона: водопотребность снижается на 5-7%, схватывание ускоряется в 1,5-1,8 раза, прочность бетона повышается на 25-50% и увеличивается долговечность

бетона. Фосфатсодержащие добавки пластифицируют бетонную смесь, замедляют процесс структурообразования, способствуют повышению прочности, водонепроницаемости и морозостойкости бетона. Так, тринатрийфосфат и комплексные добавки на его основе существенно влияют на капиллярную структуру бетона, уменьшают объем открытых и увеличивают объем закрытых пор.

Однако комплексные добавки усложняют технологию приготовления бетонной смеси из-за необходимости оборудования дополнительных емкостей, дозирующих, перемешивающих и транспортирующих устройств, вследствие чего они не имеют массового применения. Поэтому наиболее перспективны целевые продукты химического производства, предназначенные в качестве добавок полифункционального назначения, совмещающие свойства пластификации, воздухововлечения и ускорения твердения.

Большинство анализируемых выше добавок являются вторичными продуктами и поэтому могут характеризоваться нестабильностью вещественного состава, что снижает эффективность их использования и более перспективными следует считать добавки целевого назначения. К ним относятся различные виды суперпластификаторов, отличающиеся сильным разжижающим действием и не снижающие прочности бетона. Суперпластификаторы представляют собой синтетические полимерные продукты целевого назначения, либо модифицированные вторичные продукты, которые вводят в бетонную смесь в количестве 0,5-0,7% массы цемента в пересчете на сухое вещество. Пластифицирующее действие СП зависит от структурообразующих и технологических факторов, однако, общим их недостатком является то, что оно ограничено во времени после введения, так как под влиянием щелочной среды цемента СП подвергаются частичной деструкции, вследствие чего дальнейшее разжижающее действие их прекращается. Суперпластификаторы делятся на 4 группы:

1. Нафталиновые - продукты конденсации сульфированного нафталинформальдегида.

2. Меламиновые - продукты конденсации сульфированного меламина с формальдегидом, а также комплексные добавки на их основе.

3. Технические лигносульфонаты и модифицированные лигносульфонаты кальция или натрия.

4. Полиолевые - производные полиоксикарбоновой кислоты.

Из целевых продуктов наиболее эффективными признаны СП первых двух групп, модифицированные лигносульфонаты, которые широко используют в европейских странах, Канаде, США, Японии. Оригинальным преимуществом СП является то, что добавки в 5- 10 раз повышают подвижность бетонной смеси, либо позволяют на 20,% и более снизить водопотребность бетонной смеси с увеличением прочности бетона на 40-60%. К достоинствам их также относится то, что применение СП позволяет получать высокопрочные бетоны на рядовых цементах. Наряду с преимуществами необходимо учитывать достаточно высокую стоимость большинства СП, что приводит к удорожанию бетонной смеси.

На снижение водопотребности бетонной смеси с СП существенное влияние оказывает минералогический состав цемента и наличие гипса в вяжущем. Особенностью подбора составов бетонной, смеси с добавками СП является и то, что во избежание расслаиваемости смеси необходимо в зависимости от расходов цемента увеличивать содержание мелкого заполнителя на 25-35% и более. В этой связи следует отметить эффективность использования в бетонных смесях с добавками СП минеральных наполнителей.

Несмотря на значительное разжижение, наблюдается сравнительно быстрая потеря подвижности бетонных смесей с СП, особенно при повышении температуры. Для увеличения продолжительности пластифицирующего действия рекомендованы ряд способов приготовления бетонной смеси с СП. Сущность их заключается в том, что при приготовлении бетонной смеси в часть воды затворения из начальной стадии перемешивания вводят обычный пластификатор (например, ЛСТ и др.), а в завершающей стадии добавку СП. В целом разжижающий эффект и увеличение продолжительности удобоукладываемости

бетонной смеси зависят от способа введения добавки СП. При введении СП в предварительно перемешанную бетонную смесь подвижность смеси существенно выше, чем при приготовлении с водой затворения. Эта особенность объясняется тем, что при введении, например СП С-3 в воду затворения добавка адсорбируется, главным образом, на поверхности C_3A и гипса. В результате этого в водном растворе значительно уменьшается содержание добавки. В случае же предварительного смачивания водой затворения в течение нескольких минут, часть гипса C_3A успевает раствориться, гидратироваться и покрыть поверхность последним слоем гидросульфатоалюминатов. В итоге существенно уменьшается количество C_3A и гипса, способных адсорбировать СП и большее количество последнего остается в растворе, что и является причиной увеличения подвижности бетонной смеси. Предложено также многократное повторное введение СП через определенные промежутки времени, что позволяет удлинить срок сохранения начальной подвижности. Следует однако подчеркнуть, что все эти способы введения СП усложняют технологию приготовления бетонной смеси. Рациональными областями применения СП является получение литых нерасслаивающихся смесей или высокопрочных бетонов. Введение добавок СП не вызывает коррозии арматуры, не ухудшает деформативные свойства бетона, а при В/Ц увеличивает газо-, водонепроницаемость.

Относительно морозостойкости бетонов СП при постоянном водосодержании бетонной смеси в литературных источниках имеются противоречивые данные. Поэтому рекомендуют использовать комплексные добавки, составленные из СП и воздуховолекающих ПАВ. Вместе с тем, учитывая сложность применения комплексных добавок на основе СП и электролитов, а также воздухововлекающих ПАВ в последнее время разработаны модифицированные СП марок СМС, СМФ, СМД, существенно улучшающие свойства бетонной смеси и бетона.

Сравнительно сильным пластифицирующим действием отличаются добавки водорастворимых фенольных смол. Применение химических модификаторов фенольного типа перспективно еще и потому, что это

способствует реализации безотходной технологии получения смол из надсмольных вод и конденсатов и позволяет решать важную проблему утилизации вредных отходов производства и охрану окружающей среды.

Исследованы свойства бетона с комплексными добавками на основе полимерсопряженного фенола (ПФП). Авторами предложен также способ приготовления бетонной смеси с комплексной добавкой ПФП + СДБ, заключающийся в том, что фенол в количестве 0,05-0,15% вводят в бетонную смесь после ее затворения водой с ССБ (0,15%). Введение полимерфенола непосредственно в воду затворения не дает желаемых результатов, поэтому предложено ПФП добавлять в бетонную смесь через 7-5 мин после ее приготовления. Недостатками полимерфенола являются сравнительно высокая стоимость, слабая растворимость в воде и необходимость в связи с этим использования щелочи или ЛСТ, а также существенное удлинение продолжительности приготовления бетонной смеси, что в совокупности снижает производительность бетоносмесительных узлов и усложняет технологию.

Повышению пластичности бетонной смеси при сохранении роста прочности во все сроки твердения способствует добавка продукта конденсации фенола с формальдегидом и сульфатом натрия. Введение в бетонную смесь оптимального количества добавки (0,01-0,1% от массы вяжущего) увеличивает подвижность смеси на 5-6 см осадки конуса, смесь при этом не расслаивается и легко укладывается в формы. В качестве пластифицирующей добавки, введение которой способствует снижению водоцементного отношения на 5-7% при сохранении равной удобоукладываемости, предложена новолачная фенолформальдегидная смола. Введение этой добавки в количестве 0,05-0,5% от веса вяжущего обеспечивает 10% -ю экономию цемента без снижения прочности бетона в возрасте 28 суток, в 1,3 раза увеличивает морозостойкость бетона.

Фенолформальдегидная смола резольного типа способствует замедлению процессов структурообразования цементных систем при нормальной и отрицательной температурах, обеспечивает прирост прочности бетона в возрасте 28 суток, но пластифицирующий эффект от введения этой добавки невелик (5-

6%). Удобоукладываемость бетонной смеси улучшается при введении 0,01-0,2% полимерэлектролита, представляющего собой смесь атрониловой кислоты, формальдегида и фенола при молярном соотношении 1:3:2. При этом введение добавки обеспечивает прирост прочности бетона до 30%. Пластифицирующая добавка на основе водорастворимых продуктов конденсации одно и многоядерного фенола с формальдегидом, позволяет не только увеличивать пластичность смеси, но и за счет снижения водоцементного отношения повысить прочность бетона на 25-30%.

Широкое практическое применение модификаторов фенольного типа сдерживается вследствие замедляющего их действия на процесс гидратации цемента и рост прочности бетона, а также из-за ограниченной растворимости, нестабильности свойств при хранении, короткой жизнеспособности и токсичности. В связи с актуальностью вопросов утилизации вторичных продуктов и охраны окружающей среды в ТашИИТ разработана новая добавка на основе фенолформальдегидной смолы, полученной из надсмольных вод и модифицированная лактамом. Применение этой добавки обеспечивает снижение водопотребности на 10-12% или увеличение прочности на 30-40%, что позволяет экономить 10-15% цемента. Учитывая, что все добавки фенольного типа, в зависимости от содержания свободного фенола существенно замедляют процесс гидратации и твердения цемента их целесообразно использовать для монолитного бетона.

Добавка под условным названием "ФЕСМАД" (фенолформальдегидная смола, модифицированная аминокгруппами лактама), получена на основе смолы СФ=3024 В=20. Резольная смола СФ=3024 В=20 представляет собой продукт конденсации фенола с формальдегидом, содержащихся в надсмольных водах и конденсатах - отходах при производстве фенолформальдегидных смол. Реакция поликонденсации проходят с добавкой формалина в присутствии катализаторов: на первой стадии - соляной кислоты, на второй - единого натра, в результате образуется раствор натриевых солей оксиметилированного новолака. При

оптимальном режиме поликонденсации продукты конденсации содержат от 120 до 200 мг/л фенола и 1200-1700 мг/л формальдегида.

Одним из наиболее эффективных путей усиления поверхностно активных свойств водорастворимых олигомеров является модификация их веществами, содержащими активные амидные и карбоксильные группы. В качестве модификатора фенольной смолы эффективно использование лактам ϵ -аминокапроновой кислоты либо кубовые остатки производства капролактама, которые в настоящее время не утилизируются. Кубовые остатки капролактама содержат в своем составе 62-95% мономера капролактама и 5-38% олигомеров (ди и тримеров) капролактама. Кроме того, в составе кубовых остатков присутствуют до 2% ϵ -аминокапроновой кислоты и до 1% продуктов окисления. Характер действия кубовых остатков аналогичен действию мономера капролактама, в том и другом случае механизм взаимодействия заключается в следующем: метилольные группы фенольной смолы CH_2OH взаимодействуют с аминогруппами капролактама, олигомеров капролактама и ϵ -аминокапроновой кислоты. Модификацию фенолформальдегидной смолы капролактамом производят при температуре 60-70°C в течение 15-20 мин.

Содержание свободных фенола и формальдегида в 5-6 раз ниже предельно допустимой концентрации, поэтому в отличие от токсичной смолы СФ=3024 смола СФ=3024 Б=20 нетоксична и разрешена, санитарным врачам к широкому использованию в жилищном и гражданском строительстве. Смола также негорюча и взрывобезопасна, срок ее хранения составляет 6-8 месяцев.

Новыми разновидностями добавок целевого назначения являются водорастворимые полиэлектролиты серии ВРП, С=1 и С=2. Водорастворимые полимеры типа ВРП получают поликонденсационным синтезом салициловой кислоты с формальдегидом в присутствии щелочного катализатора, а препараты С=1 и С=2 путем поликонденсации салициловой кислоты, формальдегида, моноэтаноламина и мочевины. Все эти добавки, по мнению авторов, являются пластифицирующими, не вовлекают воздуха и не замедляют нарастания прочности бетона на всех стадиях твердения. Добавку ВРП=1 рекомендовано

вводить в зависимости от аллюминатности цемента в количестве 0,02 -00,5%, а С=1 и С=2 - 0,5-2%, что позволяет сократить водопотребность на 10-15%, повысить прочность на 25-40% и сократить расход цемента до 10%. Разработан также пластификатор С=1Уз - водорастворимый полимер, синтезированный путем поликонденсации этаноламиновой соли салициловой кислоты с формальдегидом в присутствии катализатора - хлористого аммония. Добавка в количестве 0,03-0,09% позволяет получить литые бетонные смеси.

Однако, препараты содержат остродефицитную салициловую кислоту, вследствие чего имеют весьма ограниченное производство и применение. Кроме того, с повышением температуры окружающего воздуха и бетонной смеси пластифицирующий эффект резко снижается и удобоукладываемость бетонной смеси сохраняется лишь в течение 30-40 мин. Помимо этого, добавки сравнительно дорого стоят.

Таким образом, сравнивая механизм действия обычных пластификаторов ионогенного типа и суперпластификаторов, следует отметить наличие общей их особенности, заключающейся в хемосорбции молекул добавок на зернах цемента к продуктам гидратации, что за исключением СП приводит к замедлению структурообразования в коагуляционный период и набора прочности в начальные сроки твердения. Кроме того, перечисленные выше добавки монофункционального назначения.

Поэтому предпочтительны добавки неионогенного типа и полифункционального назначения. К таким относятся водорастворимые смолы марки АЦФ=ЗМ - продукты конденсации ацетона и формальдегида в щелочной среде. В промышленном масштабе на Ферганском химическом заводе фурановых соединений производятся смолы марки АЦФ=ЗМ=65, 75 и 85, получаемые путем конденсации ацетона и формальдегида при их молярном соотношении 1:3 в щелочной среде. Физико химические свойства АЦФ смол представлены в табл. 4.3.1.

Разработан способ получения метилольных производных ацетона (β-кетоспиртов), в котором в качестве катализатора использован триэтиламин.

Применение триэтиламина позволяет получить продукт высокой чистоты, так как при этом исключается возможность протекания побочной реакции. Конденсацию по этому способу проводят также в водной среде при температуре 50-60°C и мольном соотношении ацетон формальдегид, равным 1:2 с последующей отгонкой катализатора и непрореагировавшего ацетона и сушкой полученного продукта под вакуумом.

Метилолацетон представляет собой сложную олигомерную смесь β -кетоспиртов разного молекулярного состава с различным количеством оксигрупп. Продукт представляет собой бесцветную высоковязкую жидкость полностью растворимую в воде с молекулярной массой 250-260 и содержанием 23-25% гидроксильных групп.

Высокая реакционная способность метилольных производных ацетона, связанная с наличием активных гидроксильных групп, открывает, широкие возможности для их модификации. Модифицирование можно производить как в процессе синтеза смол, так и путем совмещения готовых растворимых в воде кетоноформальдегидных конденсатов. Предложены композиции АЦФ смол с многоатомными фенолами (резорцин, перогалол, таннин и др.), аминами (аммиаком, азотосодержащими соединениями - мочевиной, меламинам, дициандиамином и др.); гидроксилосодержащими соединениями (жирные спирты, простыв и сложные полиэферы, полигликоли, полиспирты с концевыми гидроксильными группами). В результате модифицирования упомянутыми выше и другими продуктами ацетоноформальдегидные смолы приобретают ряд ценных свойств и области применения их могут быть значительно расширены.

Диапазон эффективности применения АЦФ смол также может быть значительно расширен путем модификации исходных продуктов конденсации ацетона и формальдегида аминами и альдегидами. В этом случае представляется возможным в широких пределах изменить состав и свойства получаемых олигомеров. Для модификации полученных метилольных производных предложено использовать мочевины, фурфол, уротропин. Полученные смолы марки САФА характеризуются хорошей растворимостью в воде, пониженным

содержанием свободных мономеров и характеризуется наличием гидроксильных и карбонильных групп, азотных - в виде вторичного и третичного амина табл. 4.3.2.

Таблица 4.3.1.

Физико-химические показатели ацетоноформальдегидных смол

Наименование показателя	АЦФ-3М-65	АЦФ-3М-75	АЦФ-3М-85
Внешний вид	Вязкая гомогенная жидкость от светлого до коричневого оттенка		
Плотность при $20 \pm 1^\circ\text{C}$, г/см ³ не менее	1,180	1,200	1,220
Растворимость в воде при 20°C	Неограниченная		
Вязкость при 20°C , не менее а) по вискозиметру ВЗ=1,с	-	-	80
б) по вискозиметру ВЗ-4,с	-	20	65
Массовая доля сухого остатка, % не менее	65	75	85
Содержание гидроксильных групп, % не менее	16	17,5	19,0
Содержание свободного формальдегида, % не более	2,7	1,5	1,5
Концентрация водородных ионов рН не менее	6,5	6,5	6,5

Смолы с аммиаком, фурфуролом и уротропином малотоксичны, так как содержат незначительное количество свободного формальдегида. Получаемые продукты, по сравнению с исходными метилольными производными ацетона, имеют более высокую величину рН (до 9,0), активные NH - OH, - CH группы, что

обуславливает их способность отверждаться при нагревании до 100-180°C без катализатора, а также в процессе хранения при температуре 25°C в течение более 6 месяцев.

Смолы АЦФ гигроскопичны, чувствительны к действию высоких температур. При длительной сушке (106-110°C) меняется состав, за счет процессов гидратации теряется растворимость в воде. Вместе с тем смолы АЦФ выгодно отличаются от фенолформальдегидных, мочевиноформальдегидных и полиэфирных смол. Смолы марок АЦФ малотоксичны и трудносгораемы, устойчивы при хранении в обычных условиях. В течение 2-3 лет не меняется элементарный состав и растворимость в воде, при охлаждении до 60°C остаются жидкими. Полифункциональные области применения бетона, задачи интенсификации и ресурсосбережения производства железобетона и определяют эффективность использования АЦФ смол, что показано на примере цементного бетона, гипсобетона, полимерцементного бетона и клеевых композиций для ремонта и восстановления строительных конструкций.

Таблица 4.3.2.

Физико-химические показатели модифицированных АЦФ смол

Наименование показателя	Продукт			
	Метилolatedные производные ацетона (МА)	Смола, модифицированная аммиаком (САФА-1)	Смола, модифицированная фурфуролом (САФА-2)	Смола, модифицированная уротропином (САФА-3)
Содержание основного вещества, %	70-85	50-55	50-60	55-65
Вязкость, МПа, с (при 20 ⁰ С)	200-800	До 300	До 300	До 400
Плотность, г/см ³ , (при 30 ⁰ С)	1,2	1,15-1,2	1,15-1,2	1,15-1,2
Содержание свободного формальдегида, %	Не более 2,0	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,3
Водородный показатель (рН)	7,0-7,5	8-9	8-9	8-9
Содержание гидроксильных групп, % не менее	20-25	-	-	-
Растворимость в воде	Неограниченная			
Время желатинизации на плитке при температуре 180 ⁰ С	-	50-180	50-180	50-180
Условия хранения: время	2 года	Более 6 мес.	6-6 мес.	6-10 мес.
Температура, ⁰ С	25	25	25	25

4.4. Свойства бетонной смеси и бетона

Технологические свойства бетонной смеси - удобоукладываемость, расслаиваемое и водоотделение в основном определяются концентрацией связующего, количеством свободной воды из расчета В/Ц истинное, характеристик наполнителей и их соотношений, количества пластифицирующей добавки, температуры и влажности окружающей среды, а также способа транспортирования и продолжительности выдерживания смеси до укладки. Кроме приведенных выше факторов, на технологические свойства бетонной смеси оказывает также влияние природа и механизм действия пластифицирующей добавки, структура адсорбционного слоя, активность поверхности дисперсной фазы по отношению к полярным группам ПАВ, дисперсность, концентрация и адсорбционная активность наполнителя.

Одним из важнейших свойств бетонной смеси является удобоукладываемость, характеризующаяся в соответствии с действующими нормативными требованиями подвижностью по осадке стандартного конуса и жесткостью. Следует однако отметить, что для виброуплотняемых смесей с пластифицирующими добавками оценка удобоукладываемости по подвижности не соответствует реальному поведению бетонной смеси при динамическом воздействии. Поэтому удобоукладываемость бетонной смеси с пластифицирующей добавкой более целесообразно характеризовать виброформируемостью, что на практике может дать значительный технико-экономический эффект. Сравнительные данные расхода цемента, полученные по водопотребности бетонной смеси и без нее одинаковой виброформируемости и равной, подвижности по осадке стандартного конуса показывают преимущества такого подхода.

Рассмотрим сначала влияние добавок АЦФ и САФА на удобоукладываемость по осадке стандартного конуса. Добавки проявляют наиболее эффективное пластифицирующее действие при определенном соотношении песка к щебню. Поэтому для начала корректировки составов с

добавками необходимо подобрать исходный (проектный) состав бетонной смеси с рациональным содержанием песка и щебня, обеспечивающим при заданной подвижности наименьшую водопотребность или наоборот. К примеру, для бетонных смесей с подвижностью 4-6 см и расходом цемента 300-450 кг/м³ щебня фракции 10-20 мм и песка нормальной крупности рациональной величиной отношения мелкого и крупного заполнителя является 0,33. Показатель подвижности по осадке стандартного конуса для таких составов бетонной смеси увеличивается пропорционально содержанию добавки АЦФ-3М в 2-2,5 раза, а САФА-1 и САФА-2 соответственно в 2-4 раза.

Более наглядно влияние добавок на удобоукладываемость прослеживается при характеристике по виброукладываемости бетонной смеси. Если при введении добавки АЦФ-3М равноподвижная смесь получается при сокращении водопотребности на 10-12%, а с САФА-1 на 12-15%, то для равновиброформуемых смесей обеспечивается сокращение водопотребности, соответственно на 12-18 и 16-22%, в зависимости от расхода цемента. Введение добавок АЦФ смол позволяет улучшить показатель виброформуемости бетонной смеси в 3-4 раза и увеличить продолжительность консервации удобоукладываемости смеси при нормальной (20°C) в 2-5 раз, а при повышенной (50°C) температуре в 2-8 раз.

Реализация-пластифицирующего эффекта добавки АЦФ позволяет снизить водопотребность бетонной смеси с заданной удобоукладываемостью. Водопотребность бетонной смеси в значительной мере зависит не от отношения песка к щебню.

Пластифицирующий эффект добавки за счет снижения водопотребности обеспечивает прирост прочности бетона, экономию цемента и энергоресурсов.

Основным фактором уплотнения и упрочнения цементного камня является снижение водопотребности вяжущего вследствие пластифицирующего действия добавок АЦФ смол. Наряду с этим следует отметить и дополнительный упрочняющий эффект, связанный с особенностью действия добавок на процесс гидратации и твердения в период раннего структурообразования цементного

камня. Определяющее значение на формирование структуры в ранний период гидратации, а также на плотность и прочность цементного камня в процессе длительного твердения оказывают скорость и количество образующегося гидросульфоалюмината кальция (ГСАК-3).

Оригинальная особенность эффекта действия АЦФ смол заключается в одновременном увеличении и подвижности бетонной смеси с осадкой конуса 0-6 см и прочности бетона в рациональных пределах дозировок (0,1-0,2%). При этом, как и для цементного камня, наблюдается экстремальный характер изменения прочностных показателей и прирост прочности при 0,15% ПАВ составляет 20- 25% для АЦФ-3М и 10-15% - САФА-1. При введении 0,15% САФА-2 прочность бетона независимо от расхода цемента находится на уровне показателей контрольного бетона, а при содержании 0,2% снижается на 10-15%.

Добавка АЦФ-3М в количестве 0,15% позволяет получить равнопластичную бетонную смесь с начальной осанкой конуса 4-6 см при сокращении водосодержания на 10-12% и общий прирост прочности для бетона с расходом цемента 270-430 кг/м³ в размере 45-55%. В равнопластичных смесях добавки САФА-1 и САФА-2 снижают водопотребность на 12-15 и 14-18%, что обеспечивает получение общего прироста прочности бетона с 0,15% ПАВ в зависимости от расхода цемента в пределах 25-40%. Упрочняющий эффект малых дозировок АЦФ смол связан с особенностями формирования микроструктуры бетона, снижением контактной пористости макроструктуры, что свидетельствует о повышении прочности сцепления цементного камня с заполнителем и подтверждается приростом прочности образцов на растяжение при изгибе на 25-35%. Прирост прочности бетона с добавка САФА сравнительно ниже, чем со смолой АЦФ-3М, что связано с воздухововлекающей способностью ПАВ. При этом этот эффект у САФА-2 проявляется больше, чем у САФА-1, что подтверждается и уменьшением средней плотности бетонной смеси с добавками соответственно на 5-7 и 3-5%.

При рациональной дозировке добавки АЦФ-3М, использование прироста прочности позволяет экономить 15-20% цемента. Используя критерий

удобоукладываемости по осадке стандартного конуса для бетонной смеси с подвижностью 2-3 см, в зависимости от начального расхода вяжущего, можно получить экономию цемента при введении добавки САФА-1 в размере 40-75 кг/м³. Экономия вяжущего для тех же смесей при оценке удобоукладываемости по виброформуемости равной 10-15 с может составить 50-100 кг/м³, или на 12,5-25% больше.

Пласткфицирующе воздухововлекающие добавки ионогенного типа обычно снижают темпа нарастания прочности бетона, что отрицательно сказывается на продолжительности выдерживания монолитного бетона до распалубливания и сроках нагружения конструкций при твердении их в нормальных условиях. Добавки АЦФ-3М и САФА-1 лишены этих недостатков. Наиболее интенсивный рост прочности бетона с добавками наблюдается в начальные сроки твердения до 7 сут. Так, если прирост прочности эталонного бетона после 3-х сут. твердения в воздушно влажных условиях при температуре 25-30°C составляет 30%, то бетона с добавками САФА-1 и АЦФ-3М достигает 50-60% марочной прочности. В дальнейшем нарастание прочности бетона относительно стабилизируется и к 180 сут. нормального твердения они выше на 10-15%, чем контрольного бетона.

Добавки АЦФ смол целесообразно использовать для интенсификации твердения бетона и сокращения режимов тепловлажностной обработки изделий. На примере добавок смол АЦФ-3М и САФА-1 показана возможность значительного сокращения продолжительности тепловой обработки бетона при условии оптимизации составов бетонной смеси с добавкой по виброформуемости, соответствующей удобоукладываемости обычной бетонной смеси по характеристике осадки стандартного конуса.

Введение 0,15% добавки АЦФ-3М и 0,1% САФА-1 в бетонную смесь позволяет сократить водопотребность соответственно на 12-18% и 16-22% и получить смесь одинаковой с бездобавочной виброформуемостью. Такое снижение водопотребности. Обеспечивает повышение прочности пропаренного бетона с добавкой АЦФ-3М и САФА-1 с 70 до 100-110 и 95-100%. Для получения

отпускной прочности бетона (расход цемента 364 кг/м³) с добавками АЦФ-3М и САФА-1 представляется возможным сократить продолжительность тепловой обработки при стандартной температуре на 4-5 ч или снизить температуру изотермического прогрева до 55-65°C при неизменной продолжительности пропаривания.

Одним из важных эксплуатационных свойств бетонных и железобетонных конструкций является модуль упругости бетона. Несмотря на большой массив информации о влиянии пластифицирующих добавок на модуль упругости бетона, полученные различными авторами результаты носят противоречивый характер. Известно увеличение модуля упругости бетона с добавкой СДБ, а другие данные указывают, что СДБ способствует понижению модуля упругости высокопрочного бетона. Также установлено, что применение гидрофобно пластифицирующих добавок практически не изменяет величину модуля упругости бетона. Снижение модуля упругости бетона вытекает из механизма действия ионогенных ПАВ и объясняется замедлением процесса гидратации и твердения в начальные сроки и воздухововлечением. Добавки АЦФ-3М и САФА-1 положительно влияют на деформативные свойства бетона вследствие эффекта самонапряжения цементного камня. Эксперименты по изучению влияния добавок на длительные усадочные деформации (влажностная и усадка от карбонизации) бетона с расходом цемента 350 кг/м³ и В/Ц-0,47 выполнены при температуре 20±5°C и относительной влажности 55-60%.

Наиболее интенсивно нарастает величина усадки в течение 40-50 сут. При этом усадка бетона без добавки развивается быстрее, чем с АЦФ-3М и САФА-1. По абсолютной величине деформации усадки бетона с добавкой АЦФ-3М на 32%, а с САФА-1 на 44% ниже того же показателя эталонного бетона. Это объясняется тем, что добавки позволяют сократить водопотребность на 12-18% и расход цемента на 14-20% и соответственно уменьшить объем цементного камня и объемных деформаций усадки бетона с добавками.

Добавки АЦФ-3М и САФА-1 положительно влияют на снижение показателей пластических, упругих и полных деформаций бетона при сжатии,

следствием чего является некоторое увеличение модуля упругости и коэффициента призмной прочности.

Таким образом, пластифицирующий и упрочняющий эффект, вносимые АЦФ смолами в процесс формирования микро и макроструктуры бетона, положительно влияют на деформативные характеристики бетона. На практике добавки можно использовать для получения высокомарочного бетона из портландцемента; марки 400, либо для сокращения расхода цемента в равнопрочных бетонах.

Важнейшими свойствами, обеспечивающими долговечность бетона, являются водонепроницаемость и морозостойкость бетона, зависящие главным образом от структурных характеристик порового пространства бетона.

Добавки АЦФ смол за счет пластифицирующего и пластифицирующе воздухововлекающего действия существенно снижают водопотребность бетонной смеси и улучшают пористость микро и макроструктуры бетона. Критерием оценки структуры бетона является общий объем пор, степень замкнутости» средний размер пор, однородность пор по размерам и др.

Истинная пористость бетона с добавкой АЦФ-3М одинаковая, а с САФА несколько выше, чем эталонного состава за счет воздухововлекающего эффекта ПАВ. Вместе с тем, значительно изменяется характер пористости с добавкой. Так, общий объем открытых пор уменьшается в 1,5 раза, а средний размер пор в 5-6 раз при более равномерном распределении пор по размерам. Это можно объяснить снижением водопотребности и диспергирующим действием добавок, способствующих повышению однородности размеров кристаллов гидратных новообразований. Таким образом, введение добавок АЦФ-3М и САФА в бетонную смесь приводит к образованию в бетоне системы; условно замкнутых пор значительно меньших размеров, что и предопределяет повышение водонепроницаемости и морозостойкости бетона.

Показатели водонепроницаемости бетона с добавками в зависимости от вида ПАВ и условия твердения, увеличиваются в 2-2,5 раза. Более высокая водонепроницаемость бетона с добавками объясняется еще и тем, что добавки

интенсифицируют процесс гидратации цементных минералов и увеличивают объем гелеобразных масс, которые, вероятно, закупоривают капиллярные, седиментационные и контракционные поры и каналы. Проницаемость и морозостойкость в большей мере зависит от структуры бетона, которая образуется при формовании и последующем условии его твердения.

Морозостойкость бетона при введении добавок АЦФ, САФА увеличивается в 1,5-3 раза. Повышение морозостойкости бетона с добавками объясняется образованием замкнутых пор, выполняющих роль резервных объемов, способствующих в дальнейшем снижению кристаллизационного давления. С другой стороны, вовлеченный в бетонную смесь воздух перекрывает частично капилляры между собой, а за счет снижения водосодержания в целом уменьшается количество капиллярных пор. Следует также отметить, что для повышения морозостойкости бетона весьма важным является ускоренная связывания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с гипсом в гидросульфоямината также продолжительность перехода свободной извести в силикат кальция. Как было отмечено выше, добавки АЦФ-3М и САФА ускоряют гидратацию C_3A , увеличивают период образования силиката кальция и тем самым способствуют формированию напрягающей структуры цементного камня. Представляется, что сочетание локальных расширений без общего расширения структуры за счет образования ГСАК-3 может вызвать диспергацию макропор вследствие локального обжата крупных капилляров. Применение гидраксилсодержащих смол АЦФ-3М и САФА способствует реализации такого механизма воздействия добавок на микроструктуру, что приводит к изменению кинетики водонасыщения бетона. Действительно, при получении бетонной смеси одинаковой подвижности с 0,15% добавок и без добавки наблюдается увеличение продолжительности водонасыщения образцов бетона. Очевидно, что эта особенность структурообразования цементного камня и способствуют существенному повышению морозостойкости бетона с добавками АЦФ-3М и САФА.

Тонкость помола и фракционный состав цемента играют существенную роль при формировании структуры цементного камня. При повышении тонкости помола наблюдается значительное снижение производительности мельниц и увеличение расхода энергозатрат. Введение интенсификаторов помола в мельницу при помоле клинкера приводит к увеличению производительности мелющего агрегата, а при одинаковой производительности увеличивается тонкость помола цемента.

В данной работе показана эффективность использования в качестве интенсификатора помола пластифицирующей водорастворимой ацетоноформальдегидной добавки САФА. Установлено, что оптимальным пределом дозирования является 0,1-0,15% добавки САФА, которую следует вводить в первую камеру мельницы методом распыления водного раствора смолы.

При введении 0,1-0,15% добавки САФА повышается производительность мелющего агрегата на 26-29%. Введением 0,1-0,15% добавки САФА достигается максимальное понижение твердости. А при увеличении количества добавки сверх оптимального адсорбционный эффект понижения прочности твердых тел заметно снижается, это по-видимому, обусловлено агрегированием второго адсорбционного слоя.

Для более полной характеристики цемента необходимо учитывать его фракционный состав, так как при одинаковой удельной поверхности она и предопределяет активность цемента.

Таблица 4.4.1.

Показатель прочности исследуемых цементов

Добавки	Кол-во вводимой добавки, %	Предепрочности $\left(\frac{R_{изг}}{R_{сж}} \text{ МПа}\right)$ через сут		
		3	28	90
Контрольные	-	$\frac{5,3}{32,1}$	$\frac{6,9}{45,2}$	$\frac{7,2}{48,3}$
САФА	0,02	-	-	-
САФА	0,10	$\frac{6,3}{43,3}$	$\frac{7,7}{55,8}$	$\frac{7,9}{58,1}$
САФА	0,15	$\frac{5,8}{41,2}$	$\frac{7,5}{54,3}$	$\frac{7,7}{56,3}$

Показано, что в цементе, полученном совместным помолом клинкера с введением 0,1% САФА, по сравнению с контрольным, наблюдается уменьшение количества крупных фракций 60-80 и 40-60 мк на 45-55% при одновременном увеличении количества фракций 20-40 мк на 8-10% и фракций 10-20 мк на 35-45%, тогда как при введении 0,02% ТЭА наблюдается уменьшение крупных фракций на 35-40% и увеличение мелких фракций на 20-25%.

Исследуемые цементы были подвергнуты физико-механическим испытаниям. Несмотря на увеличение количества мелких фракций, нормальная густота снизилась на 3% и водопотребность на 10-12%. Это подтверждает, что добавка обладает пластифицирующим действием. Начало схватывания удлинилось на 12-18 мин., а конец сократился на 48-65 мин. Улучшение гранулометрического состава цементов положительно повлияло на кинетику структурообразования цементного теста в кристаллизационный период и привело к повышению прочности как в ранние, так и в последующие сроки твердения.

Результаты физико-механических испытаний свидетельствуют о том, что прочность цемента сводом 0,1-0,15% САФА, по сравнению с эталонным, через 3, 28 и 90 суток твердения увеличивается, соответственно, на 30-35, 20-22 и 18-20%.

Полупромышленное испытание добавки САФА в качестве интенсификатора помола клинкера производилив мельнице производительностью 500 кг/час. Результаты испытаний подтвердили данные, полученные лабораторными экспериментами. Установлено, что повышается производительность мельниц на 25-27% и при одновременном увеличении активности на 30-32%. Таким образом, проведенные исследования показали, что наибольшее увеличение тонкости помола или повышение производительности мельниц, улучшение гранулометрического состава цемента обеспечиваются при совместном помоле клинкера с введением 0,10-15% добавки САФА.

Полученные данные еще раз подтвердили, что пластифицирующая добавка САФА является эффективным интенсификатором помола и может найти широкое применение в цементной промышленности.

При производстве бетонных работ в условиях сухого жаркого климата, бетонная смесь в процессе приготовления и транспортирования может нагреваться до 40-50°C. Предварительный разогрев бетонной смеси в условиях сухого жаркого климата положительно влияет на формирование структуры и свойства затвердевшего бетона, снижает температурный градиент и, тем самым, выравнивает температурное поле по сечению конструкций. Однако температурный фактор затрудняет технологию переработки бетонной смеси вследствие быстрой потери подвижности и удобоукладываемости. Поэтому для обеспечения нормальной технологии бетонных работ в условиях сухого жаркого климата необходимо выполнять специальные требования.

Одним из путей снижения негативного влияния тепла солнечной радиации в технологии бетона является применение химических добавок, позволяющих увеличить подвижность и жизнеспособность бетонной смеси при повышенной

температуре. Как показали проведенные исследования по сохранению удобоукладываемости бетонной смеси, применение широко распространенной добавки сульфитно-дрожжевой бражки не дает требуемого эффекта, так как СДБ вызывает значительное водоотделение и способствует расслоению бетонной смеси.

Применение добавки ВРП-1, специально синтезированной для бетона, позволяет сохранять заданную подвижность бетонной смеси в течение 30 мин. Однако исследования бетонной смеси с добавкой ВРА-1 были выполнены при температуре окружающего воздуха 37°C в тени и 52°C на солнце.

В других исследованиях для сохранения подвижности бетонных и растворных смесей предложено использовать комплексную гидрофобно-пластифицирующую добавку, состоящую из кубовых остатков жирных синтетических кислот и концентрата сульфитно-дрожжевой бражки.

Установлено, что при температуре окружающего воздуха (30-35)°C достигается консервация подвижности растворной смеси в течение двух часов.

Признанные в настоящее время наиболее эффективные добавки к бетону - суперпластификаторы - вводятся в довольно большом количестве от 0,5 до 1%, но с повышением температуры бетонной смеси эффект пластификации снижается. Исходя из выше изложенного, представляется целесообразным продолжить поиск и исследование новых видов ПАВ, более эффективно влияющих на свойства нагретой бетонной смеси и бетона.

В статье, с целью определения эффективности и рациональных областей, представлены результаты исследования влияния добавок ПАВ на предельное напряжение сдвига и формируемость бетонной смеси в зависимости от вида и количества ПАВ, температуры бетонной смеси и расхода цемента. Объектом проведенных исследований была бетонная смеси с ОК = (6 - 8) см, расходом портландцемента 450 кг/м³, в качестве мелкого заполнителя использовали песок МКр=2,7 а крупного - щебень фракции (10-20) мм при В/Ц = 0,47. В качестве добавок использовали продукты конденсации (3 - кетоспиртов с аминами, карбамидами и альдегидами). 3 - кетоспирты представляют собой продукты

конденсации ацетона и формальдегида в соотношении 1:2 с триэтиламином. Конечные продукты представляют собой водорастворимые жидкости, молекулярной массой 250-600 г/моль и содержащие 19-25% оксигрупп.

Добавки, условно названные САФА - 1, 2, 3, 4, вводили в воду затворения в количестве 0,1; 0,5 и 0,2 % от массы цемента в пересчете на твердое вещество. Температура бетонной смеси в процессе испытания составляла 20 и 50°C. Предварительно приготовленную смесь и воду нагревали в термошкафу в течение одного часа до 55°C, а перед началом испытания перемешивали с водой затворения и определяли ее объемную массу. В ходе проведения испытаний измеряли жесткость бетонной смеси, и из нее формовали образцы-кубы для последующего определения прочности при сжатии.

Заданную температуру бетонной смеси в ходе проведения испытания поддерживали путем выдерживания ее в гермошкафу. Результаты выполненных испытаний представлены в табл. 5.4.2.

Анализ экспериментальных данных показал, что величина предельного напряжения сдвига (τ) эталонной бетонной смеси за 45 мин выдерживания при $t = 20^\circ\text{C}$ изменилась с 1800 до 2050 а при 50°C за 15 мин с 2030 до 2050. Продолжительность консервации удобоукладываемости сократилось втрое, при этом жесткость бетонной смеси составила соответственно 40 и 70 сек.

Таблица 4.4.2.

Зависимость жесткости и средней плотности бетонной смеси от вида и содержания добавки и температуры

Добавка	Содержание, %	Показатель свойств при температуре, °C (20/50)		
		Продолжительность выдерживания, мин	Жесткость, сек	Средняя плотность, кг/м ³
САФА-1	-	45	40	2350
		15	70	2348
	0,1	60	10	2342
	0,15	30	15	2346
	0,2	25	10	2348
		45	20	2340

		<u>90</u>	<u>12</u>	<u>2336</u>
		<u>60</u>	<u>20</u>	<u>2330</u>
		75	12	2340
		<u>45</u>	<u>20</u>	<u>2338</u>
	0,1	<u>90</u>	<u>15</u>	<u>2332</u>
	0,15	<u>60</u>	<u>20</u>	<u>2228</u>
	0,2	<u>120</u>	<u>18</u>	<u>2330</u>
		<u>90</u>	<u>25</u>	<u>2225</u>
		75	15	2340
		<u>45</u>	<u>20</u>	<u>2335</u>
	0,1	<u>90</u>	<u>18</u>	<u>2330</u>
	0,15	<u>60</u>	<u>20</u>	<u>2324</u>
	0,2	<u>105</u>	<u>20</u>	<u>2328</u>
		<u>75</u>	<u>25</u>	<u>2320</u>
		105	10	2335
		<u>60</u>	<u>15</u>	<u>2330</u>
	0,1	<u>135</u>	<u>15</u>	<u>2325</u>
	0,15	<u>90</u>	<u>20</u>	<u>2325</u>
	0,2	<u>165</u>	<u>20</u>	<u>2335</u>
		<u>120</u>	<u>25</u>	<u>2330</u>

При введении всех четырех видов ПАВ в выбранных пределах дозировки величина t снизилась в 1,5-3 раза пропорционально увеличению количества добавки. Формуемость бетонной смеси в зависимости от температуры улучшилась в 3-4 раза при увеличении продолжительности консервации удобоукладываемости бетонной смеси при 20 $^{\circ}$ C в 2-5, а при 50 $^{\circ}$ C в 2-8 раз.

Как известно, при введении пластифицирующих добавок прочность бетона при одинаковым В/Ц находится на уровне показателя эталонного бетона или может быть ниже до 15%. Поэтому представляет интерес проверить влияние исследуемых ПАВ на прочность образцов бетона. Отформованные образцы твердели в течение 28 суток в нормальных условиях. Полученные результаты приведены в таб.5.4.3.

Таблица 4.4.3.

**Изменение прочности образцов бетона в зависимости
температуры смеси, вида и содержания добавки**

Добавка	Температура смеси, °С	Прочность образцов бетона через 28 суток твердения, МПа при содержания добавки, %			
		0	0,10	0,15	0,2
САФА-1	20	39,5	41,0	44,3	38,0
	50	41,0	47,5	48,3	42,5
САФА-2	20	39,5	42,5	47,5	37,5
	50	41,0	51,3	52,4	40,2
САФА-3	20	39,5	40,8	42,6	37,5
	50	41,0	42,6	39,5	38,2
САФА-4	20	39,5	41,6	43,8	37,0
	50	41,0	43,0	44,6	39,5

Эксперименты показали, что прочность образцов бетона с добавкой изменяется экстремально, и наибольшие показатели достигаются при $T=50^{\circ}\text{C}$ с содержанием ПАВ 0,1-0,15%. Разработанные добавки показывают, что они одновременно улучшают формуемость и повышают прочность бетона, при этом показатели прочности бетона с добавками 0,1-0,15% на 10-13% выше, чем прочность образцов контрольного бетона. Лучший прочностной эффект показали добавки САФА-1 и САФА-2.

ГЛАВА V

5. Опытнo-производственные работы и технико-экономическое обоснование результатов исследований

5.1. Рациональные области применения добавок САФА

Положительные результаты всесторонних лабораторных исследований влияния добавок САФА-I и САФА-2 на основные свойства бетонной смеси и бетона дали основания рекомендовать их к практическому внедрению в технологии монолитного и сборного железобетона.

Как было показано выше, применение добавки САФА-I позволяет получить целый ряд положительных эффектов:

- улучшить удобоукладываемость бетонной смеси и повысить прочность бетона;
- сократить продолжительность тепловлажностной обработки;
- интенсифицировать процесс твердения в начальные сроки;
- улучшить поровую структуру, повысить водонепроницаемость и морозостойкость бетона;
- сократить расход цемента.

Пластифицирующее действие добавки предполагает сокращение продолжительности перемешивания, и уплотнения бетонной смеси при формировании конструкции. Интенсифицирующий эффект добавки твердения открывает возможности для сокращения расхода пара для пропаривания, времени выдержки монолитной конструкции до распалубливания и сроков производства работ, увеличения оборачиваемости опалубки. Поэтому добавка САФА-I может быть рекомендована для изготовления монолитных и сборных железобетонных конструкций.

Добавка САФА-2 оказывает практически суперпластифицирующий эффект с одновременной консервацией удобоукладываемости бетонной смеси при высокой положительной температуре окружающего воздуха. Учитывая эти

преимущества добавки, её целесообразно использовать для литой технологии монолитного бетона, особенно, в условиях сухого жаркого климата.

С целью получения конкретных данных технико-экономической эффективности практического применения исследуемых добавок выполнены экспериментальные работы в производственных условиях. Опытно-производственные работы по изготовлению монолитных и сборных железобетонных конструкций.

Общая методика проведения экспериментов заключалась в следующем.

На первом этапе осуществляли уточнение производственных составов, бетона с добавками в лабораторных условиях. Затем производили приготовление пробных замесов бетонной смеси с добавкой на бетоносмесительном узле, в процессе которых устанавливали продолжительность перемешивания смеси с добавкой в данном бетоносмесителе. Качество бетонной смеси и бетона при этом оценивали по изменению объёмной массы, подвижности, однородности прочности образцов.

Возможность сокращения продолжительности тепловлажностной обработки и выдержки бетона до распалубливания выявляли непосредственно в тех условиях, в которых осуществлялось бетонирование монолитных конструкций и изготовление сборных элементов. Фактические затраты времени на изготовление сборных элементов определяли путем хронометража рабочего времени.

В результате экспериментов устанавливались данные по сокращению расхода цемента, энергетических и трудовых затрат, которые были положены в основу расчета технико-экономической эффективности применения добавок САФА.

5.2. Опытнo-производственные работы

Опытнo-производственные работы по применению добавки САФА-I для изготовления плит мощения из бетона В-15 были выполнены в условиях производственной. Для изготовления плит мощения применяли бетон класса В-15 состава (кг/м³): сульфатостойкий портландцемент М-400-300; песок с $M_{кр} = 2,9 - 600$; щебень фр.5-20 мм - 1200; вода - 174 л или $в/ц = 0,58$.

Уточнение производственного состава бетона с добавкой 0,15 % САФА-I выполнили следующим образом. Сначала определили водопотребность бетонной смеси с добавкой для получения одинакового с эталонным составом показателя подвижности, затем экономию расхода цемента. Результаты проведенных экспериментов представлены в табл.5.2.1.

Таблица 5.2.1.

Показатели подвижности бетонной смеси и прочности образцов бетона с добавкой САФА – I

Наименование состава бетонной смеси	Показатели подвижности и прочности при сжатии	
	О.К. см	$R_{сж}^{28}$, МПа
Эталонная	2,3	19,2
С добавкой 0,15% САФА-1	6,6	24,3
То же, со сниженным на 15% воды	3,5	27,3
То же, со сниженным на 18% воды	2,5	29,5

При введении 0,15 % добавки САФА-I подвижность бетонной смеси увеличилась почти в три раза, а прочность бетона на 47 %. Учитывая полученный прирост прочности далее был уточнен расход цемента. При расходе цемента 275 и 250 кг/м³ показатели подвижности бетонной смеси и прочности бетона составил соответственно 3-2,1 см и 28,0-20,5 МПа. Таким образом, была установлена возможность сокращения расхода цемента на 50 кг/м³ и произведено уточнение других составляющих бетона. Добавку при

приготовлении бетонной смеси вводили непосредственно в бетономешалку. Принципиальная схема подачи добавки в бетоносмеситель в полигонных условиях приведена на рис. 5.2.1.

Производственное приготовление бетонной смеси с добавками и изготовление плит было осуществлено в несколько этапов. Сначала была приготовлена бетонная смесь с добавкой САФА и сокращенным на 18 % расходом воды, из которой были приготовлены плиты.

Плиты изготавливали в металлической опалубке методом горизонтального формования. Уплотнение бетонной смеси производили площадочным вибратором. Бетонные плиты твердели в естественных условиях. В процессе изготовления плит производили контроль качества приготовленной смеси с добавкой путем определения подвижности и прочности при сжатии образцов - кубов.

В ходе испытания было проверено влияние добавки на продолжительность перемешивания бетонной смеси. Как показано в работе продолжительность перемешивания одного замеса бетонной смеси на гравитационных смесителях С-339 и С-302 с объёмом готового замеса 250 и 800 л пределах соответственно может быть принята в 60-120 с. А качество свежеприготовленной бетонной смеси оценивают показателем однородности прочности (коэффициентом вариации). Продолжительность перемешивания варьировали от 30 до 120 с. Результаты испытаний пробных замесов бетонной смеси с 0,15 % добавки САФА-I приведены в табл. 5.2.2.

Таблица 5.2.2.

**Зависимость коэффициента вариации прочности, % от времени
перемешивания бетонной смеси**

Состав бетонной смеси	Время перемешивания, с			
	30	60	90	120
Эталонный с 0,15% САФА	15,4	13,8	10,1	9,8
	10,1	7,8	7,5	7,3

Полученные данные свидетельствуют о том, что введение добавки САФА-I позволяет сократить продолжительность перемешивания бетонной смеси в 2 раза без ущерба для однородности прочности бетона.

В дальнейшем продолжительность перемешивания одного замеса бетонной смеси с добавкой была принята равной 60 с.

При введении добавки САФА-I в бетонную смесь со сниженным на 18 % воды показатель подвижности бетонной смеси составил 3,0 см, а прочности 28,7 МПа, или на 43 % больше, чем исходного состава. Затем были приготовлены замесы бетонной смеси со сниженным на 50 кг/м³ расходом цемента. Испытания показали, что при подвижности 1,8 см, прочность бетона составила 29,5 МПа. В процессе изготовления плит было также установлено, что затраты времени на разравнивание и уплотнение бетонной смеси можно сократить на 30-40 %. При этом качество поверхности плит было достаточно высоким.

Наиболее эффективным при устройстве комбинированных русловых опор мостов является способ бетонирования их методом вертикально-подншадавшейся трубы (ВПТ). К бетонной смеси и бетону буронабивных свай, изготавливаемых методом ВПТ, предъявляются специальные требования. Подвижность бетонной смеси должна быть в пределах 16-20 см, водоотделение должно составлять 1-2 %; прочность бетона назначается на 10% выше проектной. Бетонирование должно производиться непрерывно на всю длину скважины. При изготовлении буронабивных свай в жаркий период года, как показывает опыт, бетонная смесь в течение одного часа теряет свою первоначальную подвижность. При бетонировании глубоких скважин возникают неизбежные технологические перерывы, в результате чего, при производстве бетонных работ в этот период может не обеспечиваться главное требование: что определяет качество и эксплуатационную надежность сооружения в целом.

Учитывая высокую актуальность сохранения удобоукладываемости бетонной смеси буронабивных свай, были выполнены опытно-производственные работы по определению влияния добавки САФА-2 на консервацию подвижности бетонной смеси, предназначенной для комбинированных, русловых опор моста.

Температура окружающего воздуха в тени в период проведения работ составляла 45°С. Эксперименты выполнены при введении добавки САФА-2 в

количестве 0,2 % в бетонную смесь состава (кг/м³): портландцемент сульфатостойкий – 400; песок с Мкр 3,0 - 551; щебень фр. 5-20 мм – 1100; вода - 248; В/ц - 0,55. В результате проведенных экспериментов выявлено, что бетонная смесь без добавки теряет свою первоначальную подвижность в течение одного часа, а в удобоукладываемость смеси с 0,2% САФА-2 сохраняется в течение 3-3,5 ч. (рис. 5.2.1.). Прочность образцов бетона, твердевших во влажных условиях соответственно составила 28,8 и 32,0 МПа. Проверка влияния передозировки САФА-2 на прочность бетона показала, что при введении 0,3% добавки, $R_{сж}^{28}$ составила 30,0 МПа.

Добавку САФА-I использовали для изготовления сборных железобетонных изделий широкой номенклатуры из бетона класса В-15 и В-25; фундаментные блоки, плиты перекрытий, тротуарные плиты и т.п.

Результаты лабораторных экспериментов по корректировке производственных составов с добавкой САФА-I представлены в таблицах, 5.2.3 и 5.2.4.

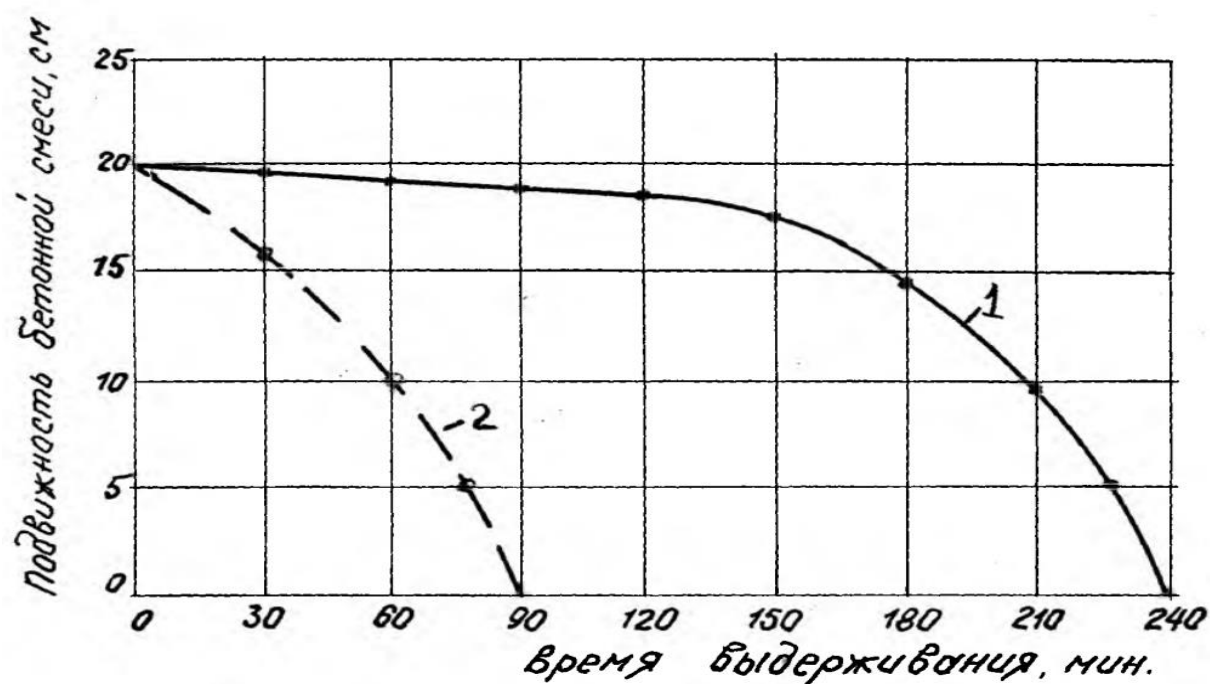


Рис.5.2.2. Изменение подвижности бетонной смеси во времени:

- 1- с добавкой 0,2 % САФА-2;
2- эталонный состав

Таблица 5.2.3.

Показатели подвижности бетонной смеси и прочности образцов бетона с добавкой САФА-1

Наименование конструкции	Марка бетона	Условия твердения	О.К.	Прочность присжати, МПа ч/з сут.	
				7	28
Сборные железобетонные изделия	B15	30-35 ⁰ C влажность 55-60%	3-4	17-18	22-24
- . -	- . -	Пропаренные	- . -	15-16	21-22
- . -	B25	30-35 ⁰ C влажность 55-60%	- . -	27-28	34-36
- . -	- . -	Пропаренные	- . -	25-26	31-33
Бурунабивные	B25	влажность 30-35 ⁰ C	- . -	28-29	33-35
Монолитный железобетонный фундамент	B25	влажность 55-60%	- . -	26-28	33-36

Таблица 5.2.4.

**Показатели подвижности бетонной смеси и прочности образцов
бетона с добавкой САФА-1**

Наименование конструкций	Класса бетона	Расход составляющих, кг/м ³				
		Цемент проект уточн.	Песок	Щебень	Вода, лит	Добавки
1	2	3	4	5	6	7
Сборные железобетонны е изделия	В-15	270	994	998	145	0,5
	В-25	230	890	990	150	0,54
		360				
		310				

Анализ данных табл. 5.2.3. показывает, что при выдерживании образцов бетона с САФА-1 при температуре 35°C и влажности 55-60 % добавка интенсифицирует процесс твердения и прочность при сжатии через 7 суток твердения составляет 85-90 %, а в 28-ми сут. возрасте 110-120 % от проектной марки.

С целью установления возможности сокращения продолжительности выдерживания бетона до распалубливания была изучена кинетика изменения прочности и в более ранние сроки. Образцы бетона с добавкой испытывали на сжатие через 1, 2, 3 и 4 сут. твердения при температуре 30-35°C и влажности 55-60 %. Эксперименты показали, что прочность при сжатии образцов бетона с добавкой и эталонного состава класса соответственно составила 35(20), 50(30), 60(40) и 70(50) % от проектной. Учитывая, что распалубочная прочность бетона должна быть не менее 50 % от марочной, было установлено, что при использовании добавки САФА-1 продолжительность выдерживания бетона можно сократить в 2 раза и разборку опалубки можно производить через 2 сут. от начала бетонирования. Бетонирование фундаментов осуществляли в летнее время, расстояние транспортирования от бетоносмесительного узла до объекта составляло 30 км. Бетонную смесь транспортировали миксором подавали к месту укладки в насосом, уплотнение производили глубинными вибраторами. Поэтому

для обеспечения надлежащего качества бетонирования необходимо было обеспечить требуемой удобоукладываемости бетонной смеси. С учетом времени приготовления, транспортирования, к месту укладки, общая продолжительность предварительного выдерживания составляла в среднем 1,5 часа. Как показали проведенные работы эталонная бетонная смесь за это время теряла первоначальную подвижность и становилась неудобоукладываемой. Применение же добавки САФА-I позволило сохранить удобоукладываемость и осуществить нормальный процесс бетонирования. Использование добавки для приготовления монолитных сборных железобетонных конструкций и изделий, как видно из данных таблицы 5.2.5. позволило сократить расход цемента в составах бетона класса В-15 и В-25 соответственно на 40, 50 и 70 кг/м³. Хронометражные измерения показали, что при бетонировании конструкций и изготовлении сборных изделий из бетонной смеси с добавкой продолжительность укладки и уплотнения в среднем сокращается в 1,5-2 раза.

Результаты экспериментов по уточнению производственных составов бетонной смеси с 0,15 % добавки приведены в таблице 5.2.5.

Таблица 5.2.5.

Составы бетонной смеси с добавкой САФА-1

Марка бетона	Содержание и соотношение составляющих бетона, кг/м ³						К-во добавки, кг/м ³	Экономия расхода цемента, кг/м ³
	$\frac{\text{Ц}}{\text{В}}$	В, л	Ц	П	Щ	$\frac{\text{П}}{\text{Щ}}$		
В-15	1,76	174	306	745	1165	0,64	—	—
	$\frac{1,76}{1,76}$	$\frac{174}{154}$	$\frac{306}{271}$	$\frac{745}{759}$	$\frac{1165}{1184}$	$\frac{0,64}{0,64}$	0,406	35
В-25	2,24	172	385	702	1171	0,6	—	—
	$\frac{2,24}{2,24}$	$\frac{172}{152}$	$\frac{385}{340}$	$\frac{702}{715}$	$\frac{1171}{1193}$	$\frac{0,6}{0,6}$	0,510	45
В-30	2,72	202	549	617	1102	0,56	—	—
	$\frac{2,72}{2,72}$	$\frac{202}{180}$	$\frac{549}{490}$	$\frac{617}{635}$	$\frac{1102}{1135}$	$\frac{0,56}{0,56}$	0,735	59

Примечание: в числителе приведены данные эталонной бетонной смеси, а в знаменателе с 0,15% САФА-1.

Данные табл. 5.2.5. свидетельствуют о том, что в зависимости от класса бетона расход цемента можно сократить на 10-12 %.

Для введения добавки в бетонную смесь в заводских условиях приготавливали водный раствор САФА соответствующей плотности. Схема подачи добавки в бетоносмеситель представлена на рис.4.2.1. В процессе приготовления пробных замесов с добавкой была определена продолжительность перемешивания смеси. Продолжительность перемешивания эталонной смеси составляла 120 с., а объёмная масса 2400 кг/м³. Результаты выполненных испытаний приведены в таблице 5.2.5.

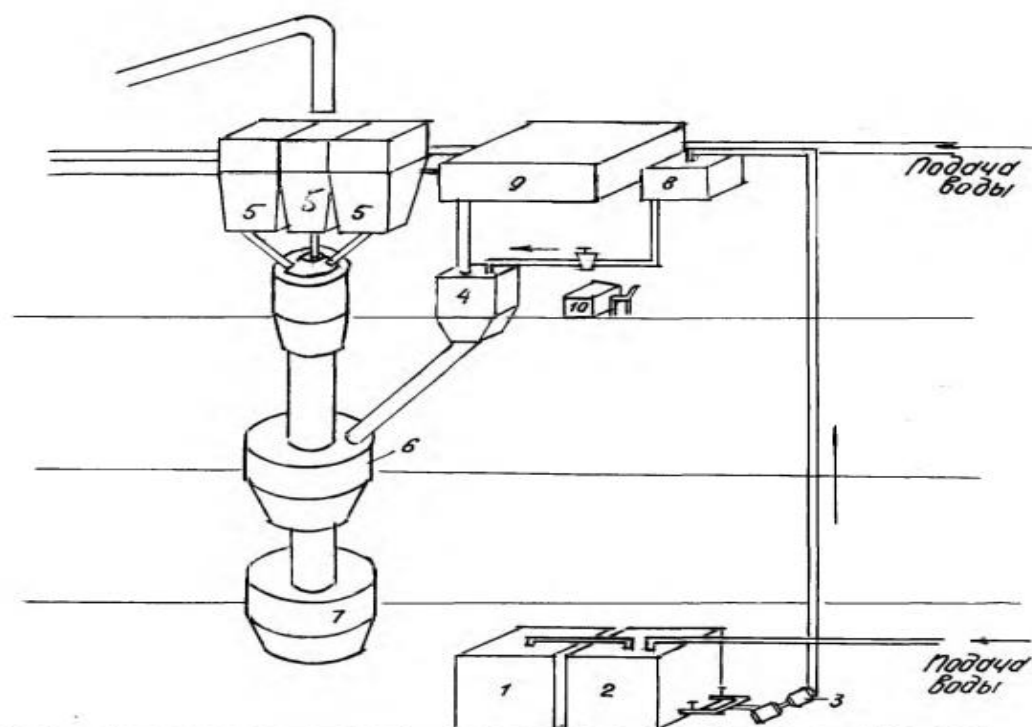


Рис.5.2.3. Схема приготовления и подача добавки в условиях бетоносмесительного узла.

- 1- ёмкость для добавки;
- 2- ёмкость для приготовления раствора добавки;
- 3- насос для подачи добавки;
- 4- дозатор воды и добавки;
- 5- бункера для заполнителей;
- 6- бетоносмеситель;
- 7- бункер для складирования бетона;
- 8- малая ёмкость для добавки;
- 9- ёмкость для воды;
- 10 - рабочее место для оператора.

Таблица 5.2.6.

**Показатели объёмной массы, объёма воздуха и однородности
прочности бетона с добавкой в зависимости от времени перемешивания
бетонной смеси**

Продолжительность перемешивания, с	Объёмная масса бетонной смеси кг/м ³	Объём вовлеченного воздуха, %	Однородность прочности, %
30	2,380	0,8	9,5
60	2,350	2,1	7,1
90	2,320	3,3	7,8
120	2,300	4,1	8,2

Данные таблицы 5.2.6. показывают, что при применении добавки САФА-1 продолжительность перемешивания бетонной смеси следует принять равной 60 с. В ходе испытаний также была определена виброформуемость бетонной смеси класса В-15, В-25 и В-30 непосредственно перед укладкой в конструкцию. Продолжительность выдерживания бетонной смеси до укладки в среднем составляла 15-20 минут. Проведенные испытания показали, что виброформуемость бетонной смеси с добавкой в зависимости от расхода пемента составила 10-20 с, а эталонной 20-40 с.

Тепловлажностная обработка изделий производилась в термоформах. Теплоноситель подавался с температурой 80-85°С. Принятая продолжительность тепловой обработки составляла 13 ч. С целью определения возможности сокращения продолжительности тепловлажностной обработки были выполнены эксперименты непосредственно на железобетонных изделиях, изготовленных из бетона класса В-15, В-25 и В-30. Прочность бетона после пропаривания изделий определя неразрушающим методом прибором «Бетон-12». Продолжительность тепловой обработки в ходе испытаний сокращали на 2 ч. на стадии изотермической выдержки, а также при неизменной общей продолжительности снижали температуру теплоносителя до 60-65°С.

Результаты выполненных экспериментов приведены в таблице 5.2.7.

Таблица 5.2.7.

**Показатели прочности бетона в зависимости от продолжительности
тепловой обработки и температуры теплоносителя**

Класса бетона	Прочность бетона, % от проектной сразу после пропаривания		
	Пропаривание при $t^0=80-85^0\text{C}$ в течение 14 ч.		Пропаривание при $t^0=60-65^0\text{C}$ в течение 13 ч.
	13	11	
В-15	$\frac{60}{84}$	$\frac{57}{70}$	$\frac{55}{68}$
В-25	$\frac{70}{89}$	$\frac{61}{73}$	$\frac{57}{71}$
В-30	$\frac{72}{91}$	$\frac{63}{75}$	$\frac{60}{73}$

Примечание: в числителе приведены данные для эталонного бетона, в знаменателе с добавкой 0,15% САФА

Таким образом, выполненные эксперименты показали возможность сокращения общей продолжительности тепловой обработки изделий на 2ч. или снижение температуры теплоносителя до 60-65⁰С.

Периодический контроль качества изготовленных изделий свидетельствует, что прочность бетона с добавкой во всех случаях равна или на 16-18 % больше, чем у изделий без добавки. Примечательным является и то, что изделия, изготовленные из бетонной смеси с добавкой, отличаются полным отсутствием усадочных трещин, характерных дефектов, появляющихся при обработке изделий в термоформах с открытой поверхностью.

4.3. Техничко-экономическое обоснование результатов исследований

Техничко-экономическое обоснование применения смолы САФА в качестве добавки для бетонной смеси выполнено в виде расчета эффективности её использования для изготовления монолитных железобетонных конструкций.

Как показали опытно-производственные работы применение добавки САФА позволяет:

- сократить продолжительность выдерживания бетона до распалубливания в 2 раза;
- увеличить срок службы вибраторов в 1,5 - 2 раза;
- уменьшить количество рабочих в бригаде на 1 чел;
- сократить сроки производства бетонных работ за счёт ускорения процесса перемешивания, уплотнения и твердения бетонной смеси и бетона;
- снизить расход цемента;

Таким образом, экономический эффект от применения добавки САФА достигается за счет снижения текущих и капитальных затрат на изготовление 1м³ конструкций.

На основании результатов проведенных опытно-производственных работ и технико-экономических исследований с участием автора разработаны «Рекомендации по применению ацетоноформальдегидных смол в качестве добавок к бетону».

Литература

1. Тахиров М.К. Бетоны с добавкой ацетоноформальдегидных смол. – М.: Стройиздат 1988. С-103.
2. Адылходжаев А.И., Соломатов В.И. Основы интенсивной раздельной технологии бетона. –М.: «Стройиздат», 1993г.
3. Калашников В.И. Основные принципы создания высокопрочных и особовысокопрочных бетона// Популярное бетоноведение. -2008. №3. 102-107.
4. Калашников В.И. Терминология науки о бетоне нового поколения // Строительные материалы. -2001. №3. 103-106.
5. Соломатов В.И., Тахиров М.К., Коротин М.М. Бетон с АЦФ добавкой для транспортного строительства. –М.: Транспорт, 1986.
6. Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М. Общие представления о бетонных смесях с порошковой активацией. Межвузовская научно-практическая конференция «Иновационные технологии в строительстве» выпуск «10, 2015г. С 3-4.
7. Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М. К вопросу определения однородности бетонных смесей. Вестник ТашИИТ №1. 2015г. С 3-7.
8. Фалиқман В.Р. Новое поколение суперпластификаторов “Бетон и железобетон” 2000 № 5 с 6-10
9. Высоцкий С.А. и др. Оптимизация состава бетона с дисперсными минеральными добавками // Бетон и железобетон. 1990. №1. С 7-9.
10. Баженов Ю.М. Технология бетонов XXI / Академические чтения РААСР. Новые научные направления строительного материаловедения Часть 1. Белгород, 2005. С 9-20.
11. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. 2-е изд., перераб. и доп. –М.: 1998. С 768.

12. Ким К.Н., Бабаев В.А. реологические свойства бетонной смеси с добавками суперпластификаторов. –М. В.кн. Бетон с эффективными суперпластификаторами НИИЖБ, 1989-54с.
13. Соломатов В.И., Тахиров М.К., Тахер Шах Мд. Интенсивная технология бетонов. –М.: Стройиздат, 1989. С 289.
14. Состав, структура и свойства цементных бетонов / Под ред. Г.И. Горчаков. –М.: Стройиздат, 1986. С 143.
15. Хигерович М.И., Байер В.Е. Гидрофобно- пластифицирующие добавки для цемента, растворов и бетонов. –М.: Стройиздат, 1989 с 126.
16. М.К. Тахиров. Влияние природы межфазных взаимодействий на адгезионную и когезионную прочность системы «полимер: наполнитель». В кн. Теория и технология бетона и железобетона. –Т.: ТАСИ, 1998, 64-73.
17. Вед Е.И. Оптимальная дисперсность цемента «цемент» , 1991.
18. Соломатов В.И., Адылходжаев А.И., Салихов Б.Г. Цементные бетоны с наполнителями из отходов производства // Пути ресурсосбережения в производстве строительных материалов и изделий. Пенза: ПДНТИ. 1989. С.22-24.
19. Баженов Ю.М. Технология бетона. Издательство Ассоциации Высших учебных заведений. М.: 2002.500с.
20. Гордон С.С. Производство морозостойких железобетонных конструкций. Механизация строительства. 2001. №7, с. 22-26.
21. Бабаев В.А. Бетоны с высокоэффективным пластификатором М.1998.
22. Бабаев В.А. О влиянии температурного фактора на гидротацию цемента с добавками суперпластификаторов С-3. М;1998.
23. Тохилов М.К., Соломатов В.И., Наров Р.А. Рекомендации по применению ацетоноформальдегидных смол в качестве добавок. Ташкент 1993.
24. Тахиров М.К., Наров Р.А. «Об свойствах бетонной смеси добавками новых ПАВ в условиях сухого жаркого климата». Архитектура и строительство Узбекистан, 1983 №1 г.Ташкент.

25. Ковалев К.Н. Физико-химические основы технологии строительных материалов. М.; «Новое издание» 2016.
26. В.И.Соломатов, М.К.Тохиров., Р.А.Наров. Исследование по применению добавки САФА в качестве интенсификатора помола. Тезисы докл. Всесоюзной конференции «Совершенствование технологии крупнопанельного и внедрение объемно блочного домостроения» в г.Ташкент, 27-29 ноябр 1989г.
27. Наров Р.А. Влияние добавки САФА на структуру образцов цементного камня первая междуранодная научно-техническая конференция. Ташкент, 30-31 октября 1995г.
28. Хрулев В.М. Технология и свойства композиционных материалов для строительства –Уфа «ТАУ», 2001,с 3-19.
29. Наров Р.А. Реалогические свойства бетонной смеси с добавками САФА. Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте, инновационная технология в строительстве. Научные труды республиканской научно-технической конференции с участием зарубежных ученых. ТашИИТ, Ташкент 2018.
30. Самигов Н.А. Строительные материалы и изделия. Учебное пособие. –Т.: «Фан ва технология» 2015.
31. Наров Р.А. Влияние добавки САФА на водонепроницаемости и морозостойкость. Научно практический журнал. Вестник. ТашИИТ 2/3, Ташкент 2017.
32. Крыхтин Г.С. Определение оптимальных добавок дозировок ПАВ при помолце цементного клинкера. Труды НИИцемента 1989г. Вып 35.
33. Наров Р.А. Рациональные смеси заполнителей для бетона. Научно практический журнал «Архитектура, Строительство Дизайн » ТАСИ $\frac{3}{4}$ 2017.
34. СНиП 5.01.23-88. Типовые нормы расхода цемента для приготовления сборных и монолитных бетонных и железобетонных изделия и конструкции. М.: Стройиздат 1989-55 стр.

35. Горчаков Г.И. Зависимость морозостойкости и водонепроницаемость бетонов от их структуры и температурных деформации. Москва 1984г.
36. Дворкин Л.И. Испытание бетонов и растворов. Москва 2014г.
37. Усов Б.А. Методы подбора состава модифицированных бетонов. Учебное пособие. Москва. ИНФРА –М 2018г. 78с.
38. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона перевод с немецкого языка. Киев. Оранта, 2004.
39. Самигов Н.А. Строительные материалы и изделия учебное пособие –Т.: «Фан ва технология», 2015, 404 стр.
40. Рояк С.М. Интенсификация процессов тонкого измельчения клинкера с помощью ПАВ, цемент №5 1990.
41. У.А. Газиев, Д.Ш. Кадырова Добавки в растворные и бетонные смеси. Учебное пособие Т.: ТАСИ, 2014.
42. Козлов В.В. Сухие строительные смеси –М., изд АСВ, 2000-96с.
43. Тахиров М.К. Соломатов В.И. Рекомендации по применению ацетоноформальдегидных смол в качестве добавок. Ташкент 1993г.
44. Бараков В.Г. Модифицированные бетоны. М.: Строиздат, 1998. 768с.
45. Повышение качества и эффективности изготовления бетонных и железобетонных конструкции за счет химических добавок. Тезисы докладов Всесоюзной конференции Вильнюс, 22-24 апреля 1989г-М, 1998-264с.
46. Х.А.Акрамов, Ш.Т. Рахимов, Х.Н.Нуритдинов, М.Т.Туропов Бетон тўлдирувчилари технологияси. Ўқув қўлланма. Тошкент 2010йил.
47. Наров Р.А. Влияние наполнителей и пластифицирующей добавки АЦФ не усадочную деформацию бетона. Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте. Республиканская научно –техническая конференция с участием зарубежных ученых. Ташкент -2017. 150-152с.
48. Б.А. Аскарлов, Х.А. Акрамов, Х.Н. Нуритдинов “Бетон технологияси” ўқув қўлланма, 1-2 қисм Тошкент 2005й.

49. Наров Р.А. Реологические свойства бетонной смеси с добавками АЦФ. Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте. Иновационные технологии в строительстве научные труды республиканской научно-технической конференции с участием зарубежных- ученые Выпуск12. Ташкент -2017 45-46с.
50. Наров Р.А. Влияние пластифицирующих добавок на прочность сцепления бетона с арматурной. Научно практический журнал «Архитектура строительство Дизайн» ¾ Ташкент 2018г.
51. Ратинов В.Б. Классификация добавок по механизму их действия еа цемент. Труды международного конгресса по химии цемента М., Стройизда, 1988.
52. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона перевод с немецкого языка. Киев. Оранта, 2004.
53. Туляганов А.А. Основы безобжиговых щелочных вяжущих и бетонов. –Т.: «Навруз» 2015.
54. Самигов Н.А. «Қурилиш материаллари ва буюмлари» Ташкент - 2013й.
55. Э.У. Қосимов Қурилиш ашёлари. Маълумотнома. Тошкент -2011й.
56. С.С.Қосимова, А.А. Туляганов, Х.Х.Камилов “Нанотехнологии в производства цемента и бетона”, Ташкент, 2008г.
57. ГОСТ 10180-78. Бетоны. Методы определения прочности на сжатия и растяжения.
58. ГОСТ 310.2-76. Цементы. Методы определения тонкости помоле.
59. ГОСТ 310. 3-76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.
60. ГОСТ 101.81-76. Бетоны. Методы определения подвижности, жесткости бетонной смеси.
61. ГОСТ 100.60-76. Бетонны. Методы определения морозостойкости.
62. ГОСТ 12730.5-78. Бетоны. Метод определения водопроницаемости.
63. <http://www.sunspire.ru/articles/part32/>

- 64. [http:// econf.rae.ru/fpdf/article095.pdf](http://econf.rae.ru/fpdf/article095.pdf)
- 65. <http://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-resheniya-zadachi-proektirovaniya-sostava-betona-metodom-matematicheskogo-planirovaniya-eksperimenta>
- 66. [http:// ntcemit.ru/innovacionnye-stroitelnye-tehnologii](http://ntcemit.ru/innovacionnye-stroitelnye-tehnologii)
- 67. <http://www.psdom.ru/catalog/top-20-innovacionnyh-stroitelnyh-tehnologiy>
- 68. <http://ancb.ru/publication/read/1140>

НАРОВ РУСТАМ АЛИХАНОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ БЕТОНА С ДОБАВКАМИ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ПРОДУКТОВ МЕТИЛОЛАЦЕТОНА**

МОНОГРАФИЯ

TOSHKENT – “INNOVATSIYA -ZIYO” -2019

Muharrir Xolsaidov F.B.

Nashriyot litsenziyasi AI №023, 27.10.2018.

Bosishga 25.03.2019 da ruxsat etildi. Bichimi 60x90.
“Times New Roman” garniturası.
Ofset bosma usulida bosildi.

Shartli bosma tabog`i 11. Nashr bosma tabog`i 10,5.
Adadi 50 nusxa.

