

10 ноя 1998

На правах рукописи

Зябликов Дмитрий Петрович

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
БЕТОНА, АРМИРОВАННОГО СМЕСЬЮ СТАЛЬНЫХ ВОЛОКОН**

**Специальность 05.23.08 – "Технология и организация
промышленного и гражданского строительства"**

Автореферат

**диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук**

Омск – 1998

Работа выполнена на кафедре "Технология строительного производства" Южно-Уральского государственного университета (г. Челябинск, Россия), исследования по структурообразованию и уплотнению сталефибробетонных смесей проводились на кафедре "Технология строительного производства" Рудненского индустриального института (г. Рудный, Казахстан).

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Головнев С.Г.

Научные консультанты: кандидат технических наук,
доцент Евсеев Б.А.;
кандидат технических наук,
доцент Мауль В.П.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Жаворонков Е.П.;
кандидат технических наук,
доцент Мартемьянов В.С.

Ведущая организация - Муниципальное предприятие "Челябметротрансстрой".

Защита диссертации состоится 26 ноября 1998 г. на заседании диссертационного совета Д 063.26.01. при СибАДИ по адресу: г. Омск, пр. Мира, 5, Зал заседаний.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СибАДИ.

Автореферат разослан 23 октября 1998 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
Д 063.26.01. к.т.н.,
профессор



Матвеев С.А.

Отзывы присылать по адресу: 644080, г. Омск, пр. Мира, 5, СибАДИ, учёному секретарю Матвееву С.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современное состояние строительного комплекса, характеризуется переориентацией на реконструкцию строительных объектов, возведением зданий в стеснённых условиях, с индивидуальными объёмно-планировочными решениями и др. Всё это диктует необходимость обеспечения надёжности и безопасности зданий и сооружений, на основе современных технологий. Одним из перспективных путей решения этих задач является применение фибробетона – бетона, армированного волокнами из различных материалов. Использование в качестве армирования смеси стальных волокон различных длин ($l/d=\text{const}$) при изготовлении сталефибробетона позволяет получать повышенные физико-механические характеристики по сравнению с бетоном армированным волокнами одинаковой длины. Однако использование дисперсного армирования в виде стальных волокон, обуславливает возникновение таких технологических проблем как комкуемость волокон при вводе в бетонную смесь, низкая удобоукладываемость сталефибробетонных смесей и т.д., что оказывает влияние на технологию производства работ.

Современная технология производства работ, применение фибробетона основана на работах: Афанасьева А.А., Головнева С.Г., Данилова Н.Н., Жаворонкова Е.П., Евсеева Б.А., Коротышевского О.В., Кравинскиса В.К., Крылова Б.А., Курбатова Л.Г., Лобанова И.А., Мауля В.П., Мчедлова-Петросяна О.П., Одинцова Д.Г., Рабиновича Ф.Н., Рыбасова В.П., Талантовой К.В., Толченого В.Д. и др., однако многие материаловедческие и технологические аспекты требуют дальнейшего осмысления.

Целью диссертационного исследования является разработка технологии применения бетона, армированного смесью (композицией) стальных волокон различных длин.

Достижение поставленной в диссертации цели осуществляется решением следующих основных задач:

- разработка способа приготовления смесей, армированных композицией стальных волокон различных длин;
- экспериментальные исследования технологических характеристик сталефибробетонных смесей;
- определение зависимости удобоукладываемости сталефибробетонной смеси и прочности затвердевшего бетона от влияния водоцементного отношения, от количества и вида добавки-суперпластификатора, от процента армирования бетонной смеси и момента времени приложения уплотняющих вибрационных воздействий;
- исследование процессов роста прочности сталефибробетона;
- исследования физико-механических характеристик сталефибробетона;
- разработка технологического регламента на приготовление и применение бетонных смесей, армированных композицией стальных волокон различных длин.

Научная новизна результатов исследований представлена:

- зависимостями влияния процента армирования, водоцементного отношения и количества добавки-суперпластификатора на технологические параметры;
- параметрами соотношений волокон различных длин в композиции и зависимостью влияния количества волокон длиной 20, 30 и 40 мм в смеси волокон на физико-механические характеристики сталефибробетона.
- выявленными границами удобоукладываемости сталефибробетонных смесей в зависимости от вида конструкций;
- технологической последовательностью приготовления и применения бетона, армированного смесью стальных волокон;
- алгоритмом и программами, позволяющими проектировать параметры сталефибробетонных смесей с заданной удобоукладываемостью и прогнозировать физико-механические характеристики сталефибробетона

Практическая ценность работы состоит в том, что

- составлены рекомендации по назначению удобоукладываемости бетонных смесей, армированных композицией стальных волокон различных длин в зависимости от вида конструкции;

- разработан и издан "Технологический регламент на приготовление и применение бетонных смесей, армированных композицией стальных волокон различных длин в условиях строительной площадки".

Внедрение результатов

- Материалы диссертационных исследований были использованы при составлении рекомендаций по технологии приготовления сталефибробетонных смесей для устройства временной крепи из торкрет бетона, перегонных тоннелей Челябинского метро.
- Получена опытная партия смеси стальных волокон с требуемым содержанием волокон различных длин в ЗАО ПТО "Градское".

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на ежегодных научно-технических конференциях в Южно-Уральском государственном университете (Челябинском государственном техническом университете) (Россия) и в Рудненском индустриальном институте (Казахстан) в 1995–1998 гг.; на пятой научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава Алматинского автомобильно-дорожного института "Совершенствование техники и технологических процессов строительства автомобильных дорог и автотранспорта" (г. Алматы, 1995 г).

Достоверность экспериментальных данных, полученных аналитических выражений и зависимостей, выводов подтверждается достаточным количеством проведённых экспериментов, адекватным выбором математических моделей, применением современных методов математической обработки результатов исследований, сопоставлением полученных данных на ЭВМ с результатами экспериментов.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх разделов и основных выводов, изложенных на 135 страницах, 30 рисунков, 15 таблиц, 13 страниц библиографии (123 наименований) и содержит 19 страниц приложений.

Публикации. Основные положения представленной работы изложены в 9 печатных работах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность работы, поставлены цели исследования, а также представлены научная новизна, достоверность и практическая значимость работы.

Первый раздел посвящён анализу технологии изготовления монолитных сталефибробетонных конструкций и путей её совершенствования.

На основе анализа литературных источников и проведённых исследований была разработана структура выбора и контроля технологических параметров при производстве сталефибробетонных работ (рис. 1). Исследование технологических и физико-механических характеристик позволило обеспечить управление технологией бетонных работ и качеством сталефибробетонных конструкций.

При определении задаваемых технологических параметров изучались вопросы влияния прочности стального волокна и способа дисперсного армирования, а также влияние крупности щебня на физико-механические свойства сталефибробетона, поскольку ряд авторов утверждают, что использование щебня в составе бетонной матрицы снижает эффективность дисперсного армирования. Однако в некоторых работах говорится о возможности применения щебня в качестве крупного заполнителя для сталефибробетона без потери прочностных характеристик.

Кроме того, известно что высокопрочные волокна воспринимают более высокую нагрузку, чем низкопрочные, но изготовление таких волокон обходится значительно дороже.

Повышение прочностных характеристик сталефибробетона возможно с помощью увеличения коэффициента армирования или за счёт изменения вида дисперсного армирования. Использование смеси стальных волокон различных длин ($V/d = \text{const}$) в качестве армирования бетона позволяет обеспечивать повышенные прочностные характеристики сталефибробетона. Однако при этом возникает целый ряд проблем препятствующих использованию таких смесей при производстве работ. Основные проблемы из них – это повышенная склонность к комкованию стальных волокон при изготовлении таких смесей и низкая удобоукладываемость.

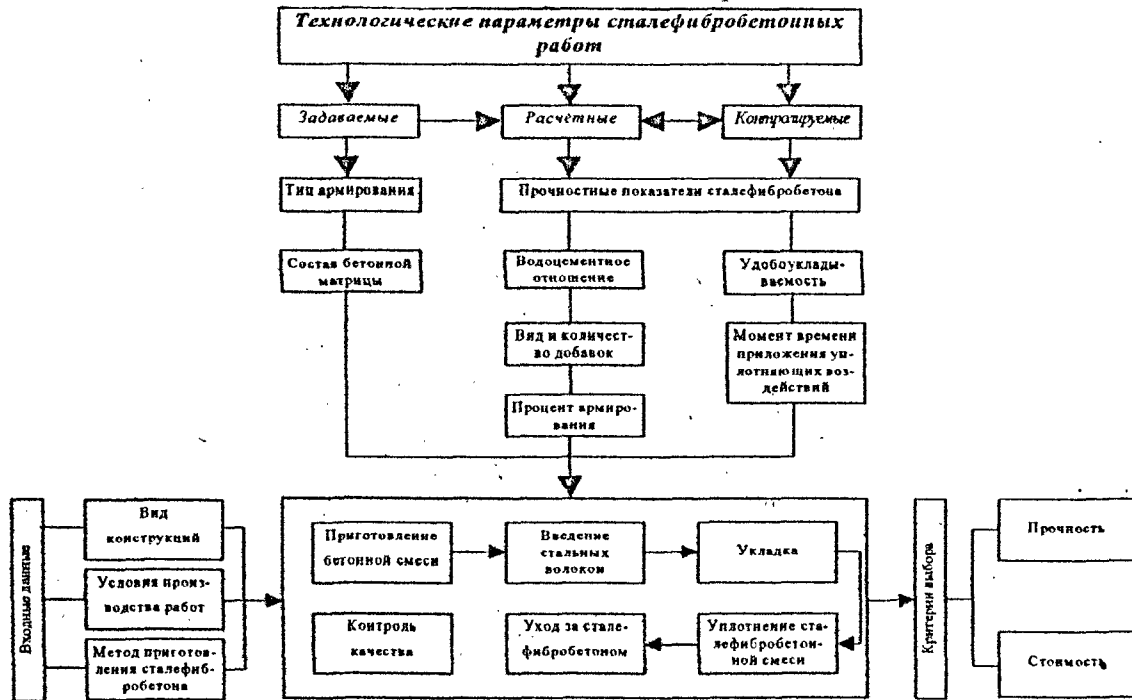


Рис.1. Структура выбора и контроля технологических параметров при производстве сталефибробетонных работ

Использование добавок суперпластификаторов позволяет обеспечить решение проблем, связанных с низкой удобоукладываемостью бетонных смесей, армированных композицией стальных волокон, без снижения прочностных свойств сталефибробетона. Однако использование добавок суперпластификаторов влияет на процессы твердения, что влечёт за собой изменение в технологии бетонных работ, отражающиеся на технологических параметрах (рис. 1) таких как: удобоукладываемость, момент времени приложения уплотняющих воздействий, прочностные показатели и др.

Во втором разделе изучалось влияние крупности и количества щебня, крупности стального волокна и вида дисперсного армирования на физико-механические свойства сталефибробетона. Также исследовались различные соотношения волокон разных длин в композиции с целью нахождения оптимального, обеспечивающего максимальный прирост прочностных свойств сталефибробетона.

В экспериментах использовались портландцементы и шлакопортландцементы марки 400, крупным заполнителем служил щебень фракции 3-10 мм и 5-20 мм, мелким – кварцевый песок с модулем крупности 2,5. Стальные волокна изготавливались из стальной ленты по ТУ-67-987-88.

При оценке влияния крупности и количества щебня, бетон армировался стальными волокнами, изучались различные количественные сочетания щебня и песка. При этом установлено, что применение щебня фракций 3-10 и 5-20 мм не влечёт за собой снижения прочностных показателей сталефибробетона по сравнению со сталефибробетоном, приготовленным без крупного заполнителя. Прирост прочности для фракции 3-10 мм составил: 32 % – при сжатии и 17 % – при растяжении на изгиб; для фракции 5-20 мм: 31 % – при сжатии и 11 % – при растяжении на изгиб. Отмечено, что чем больше крупность заполнителя, тем ниже относительный прирост прочности от применения фибрового армирования, но при этом возросшая прочность бетонной матрицы компенсирует неравномерное расположение стальных волокон в бетоне и конечная прочность не ниже прочности сталефибробетона, изготовленного без применения щебня. Однако, чем выше процент армирования, тем ниже эффективность применения щебня.

В дальнейшем принят состав с щебнем фракции 3-10 мм и получена номограмма влияния количества щебня этой фракции и песка на прочность при изгибе, как наиболее характерного вида прочности для сталефибробетона.

При исследованиях влияния прочности стального волокна на прочность сталефибробетона, из стальной ленты были изготовлены 2 партии стального волокна с одинаковыми геометрическими характеристиками. Первая партия стальных волокон имела временное сопротивление – 500 Н/мм², а вторая – 960 Н/мм². Испытания на сжатие, растяжение при изгибе и растяжение при раскалывании показали, что наибольшие прочностные показатели имеет бетон, армированный волокнами из высокопрочной стали. Однако прирост прочностных показателей не превышал 4 %. Поэтому следует сделать вывод, что для применявшихся стальных волокон прочность самого волокна существенно не влияет на прочность сталефибробетона.

Определение оптимального соотношения стальных волокон различных длин в смеси велось путём изготовления образцов с различными количественными сочетаниями волокон в композиции. По результатам эксперимента была получена формула, описывающая влияния каждого типа волокна в смеси волокон различных длин на прочностные показатели сталефибробетона:

$$Z=(x_1+A)*(x_2+B)*(x_3+B),$$

где Z – прочность на сжатие, прочность на растяжение при изгибе или растяжение при раскалывании; x_1 , x_2 и x_3 – количество волокна в % к объёму бетонной смеси, длиной соответственно 20, 30 и 40 мм; A , B и B – коэффициенты, зависящие от вида прочности: при расчёте прочности на сжатие коэффициент $A=2,698$, $B=2,630$ и $B=3,721$; при определении прочности на растяжение при изгибе – $A=1,361$, $B=1,091$ и $B=1,960$; при определении прочности на растяжение при раскалывании – 1,014, 0,723 и 1,877, соответственно.

Коэффициенты A , B и B находились по методу наименьших квадратов с помощью программы "Statistica", причём сочетание факторов x_1 , x_2 и x_3 находится в следующей зависимости – $x_1+x_2+x_3=1$.

Получено, что наибольший упрочняющий эффект в смеси волокон вносит количество волокон длиной 20 и 30 мм, тогда как увеличение содержания волокна

длиной 40 мм ведёт к снижению прочностных свойств сталефибробетона. Однако прочностные свойства бетонов, армированных смесью волокон различных длин с разными количественными соотношениями, не различаются между собой более чем на 9 процентов. Но всё же можно отметить, что наибольшая прочность наблюдается при армировании смесью волокон с содержанием волокон длиной 40 мм не более 20% от общего расхода стального волокна, поэтому для дальнейших исследований принят состав композиции с соотношением волокон длиной 20, 30 и 40 мм как 40%:50%:10%, соответственно от общего расхода стальных волокон.

Для сравнения сталефибробетонов с композицией стальных волокон различных длин со сталефибробетонами, армированными волокнами одной длины, были изготовлены образцы с композицией стальных волокон и с волокнами длиной 20, 30 и 40 мм при различных процентах армирования. При использовании в качестве армирования смеси стальных волокон различных длин с соотношением волокон длиной 20, 30 и 40 мм как 40:50:10 % прочностные характеристики сталефибробетона выше по сравнению с армированием волокнами одной длины. Если прочностные свойства матрицы принять за 100%, то прочность на сжатие бетона армированного композицией больше на 2 - 9 % бетона армированного волокнами одной длины, прочность на растяжении при изгибе больше на 5 - 33 %, а прочность на растяжение при раскалывании на 9 - 31 %.

Если сравнить результаты по прочности на сжатие, с результатами по прочности на растяжение, то можно отметить что волокна длиной 20 мм повышают прочность на сжатие сталефибробетона, что хорошо согласуется с данными других исследователей, в то время как более длинные волокна придают повышенные прочностные свойства на растяжение.

При постепенном приложении нагрузки к сталефибробетону более тонкие и короткие волокна включаются в работу на стадии, предшествующей образованию микротрещин, повышая тем самым порог трещинообразования, а значит и прочность материала. Далее вступают в работу более длинные и прочные волокна, блокируя развитие трещин по мере их раскрытия. Отсюда, возможно, следует сделать вывод о достаточности содержания волокон длиной 40 мм в композиции в количестве до 20%, так как основное усилие по разрушению сталефибробетона приходит-

ся на момент предшествующий образованию микротрещин, которое воспринимают волокна композиции длиной 20 и далее 30 мм. На стадии развития трещин включаются в работу волокна длиной 30 и 40 мм.

В третьем разделе изучались расчётные и контролируемые технологические параметры при производстве бетонных работ (рис. 1).

При введении стальных волокон в бетонную смесь происходит увеличение жёсткости. При одинаковом проценте армирования волокна длиной 20 мм обладают большей суммарной боковой поверхностью, чем волокна длиной 40 мм (при $l/d = \text{const}$), но более короткие волокна меньше комкуются при введении в бетонную смесь, чем длинные, что способствует снижению жёсткости бетонной смеси. Использование для армирования смеси стальных волокон различных длин, имеющих большую боковую площадь поверхности и, видимо, образующих в бетонной смеси микро- и макрокаркасы, приводит к повышению жёсткости бетонной смеси, что приводит к ухудшению технологических свойств, таких как уплотняемость, удобоукладываемость и др. Для снижения жёсткости таких смесей возможно применение пластифицирующих добавок.

При выборе добавок были проанализированы суперпластификаторы и для исследований приняты добавка - "С-3", и выпускаемая в России добавка - "Rheobuild-1000" фирмы MAC (Италия).

При изучении процессов удобоукладываемости сталефибробетонных смесей оценивалось влияние водоцементного отношения и вида и количества добавок - суперпластификаторов. Были поставлены два полных трёхфакторных эксперимента, в которых критериями оптимизации (Y) служили: жёсткость (сек), прочность на сжатие (МПа), прочность на растяжение при изгибе (МПа) и прочность на растяжение при раскалывании (МПа). Виды факторов, их уровни и интервалы варьирования представлены в табл. 1. Получены зависимости влияния водоцементного отношения, процента армирования, количества и вида добавок суперпластификаторов на критерии оптимизации.

Уровни факторов и интервалы варьирования

Фактор	Уровни факторов			Интервалы варьирования
	нижний -1	нулевой 0	верхний +1	
Процент армирования (X_1)	0,75	1,1	1,45	0,35
Водоцементное отношение (X_2)	0,35	0,4	0,45	0,05
Количество добавки, л/100 кг цемента (X_3)	0,8	1,0	1,2	0,2

Для добавки "Rheobuild - 1000"

$$Y_1 = 12,7 + 3,4X_1 - 6,4X_2 - X_3 - 0,4X_1X_3$$

$$Y_2 = 44,8 + 1,9X_1 - 8X_2 - 0,9X_3 - 0,5X_1X_2 + 0,7X_1X_3 + 0,5X_2X_3 - 0,4X_1X_2X_3$$

$$Y_3 = 5,56 + 0,25X_1 - 0,5X_2 - 0,1X_3 + 0,05X_2X_3 + 0,04X_1X_2X_3$$

$$Y_4 = 3,63 + 0,2X_1 - 0,5X_2 - 0,1X_3 - 0,06X_1X_3 - 0,04X_1X_2X_3$$

где: Y_1 – жёсткость, Y_2 – прочность на сжатие, Y_3 – прочность на растяжение при изгибе и Y_4 – прочность на растяжение при раскалывании.

Для добавки "С-3".

$$Y_1 = 16,4 + 3,4X_1 - 6X_2 - 1,9X_3 - 0,7X_1X_2 - 0,4X_1X_3$$

$$Y_2 = 46 + 2X_1 + 8X_2 - X_3 - 0,7X_1X_2 + 0,8X_1X_3 + 0,4X_2X_3 - 0,5X_1X_2X_3$$

$$Y_3 = 5,74 + 0,26X_1 - 0,53X_2 - 0,12X_3 + 0,05X_1X_2 - 0,02X_1X_3 + 0,07X_2X_3 - 0,04X_1X_2X_3$$

$$Y_4 = 3,73 + 0,16X_1 - 0,47X_2 - 0,09X_3 - 0,05X_1X_3$$

При проведении исследований было подтверждён факт, отмеченный другими исследователями, что жёсткость сталефибробетонной смеси не отражает истинной картины удобоукладываемости этой смеси. При приложении вибрации процесс уплотнения занимает существенно меньший период времени по сравнению с обычными бетонными смесями той же жёсткости. Вероятно, такое поведение сталефибробетонных смесей можно объяснить тем, что при вибрации стальные волокна выступают вторичными центрами колебаний, ускоряя и облегчая уплотнение сталефибробетонных смесей. Тем не менее проблема определения удобоукладываемости до сих пор не нашла должного решения. Поэтому нами измерялись жёст

кости сталефибробетонных смесей и неармированных бетонных смесей на техническом вискозиметре, а затем при укладке этих смесей оценивалось время уплотнения. На основе этих экспериментов, были составлены рекомендации по назначению удобоукладываемости бетонных смесей, армированных композицией стальных волокон различных длин (табл. 2).

Таблица 2

Удобоукладываемость бетонных смесей, армированных композицией стальных волокон

Виды конструкций	Осадка конуса, см	Жёсткость, с
1	2	3
Подготовка под полы, основания дорог и аэродромов	0	25...30
Покрывтия дорог и аэродромов, полы, массивные конструкции (подпорные стенки, фундаменты, блоки массивов)	0	10...15
Плиты, балки, колонны большого и среднего сечения	0	6...10
Тонкие стены и колонны, балки и плиты малого сечения:		
горизонтальные элементы	0	4...6
вертикальные элементы	0	2...4

Исследования О.П. Мчедлова-Петросяна, Н.Н. Кругляцкого, И.Г. Гранковского и других учёных по определению оптимального времени приложения вибрации показали, что наибольшее увеличение прочности образцов цементного камня достигается в случае, если вибрационное воздействие прилагается в конце первой стадии структурообразования. Формирование дисперсной структуры вяжущих систем проходит в четыре, качественно отличающиеся стадии, отражающие развитие коллоидной структуры в процессе твердения. Первая стадия – интенсивная гидратация. В этот период происходит коагуляция образовавшихся коллоидных частиц и к концу стадии образуется пространственный каркас коагуляционной структуры. Вторая стадия – развитие пространственной коагуляционной структуры. Процессы структурообразования и гидратации в начале стадии замедлены,

степень гидратации незначительна, наблюдаются деструктивные явления. Третья стадия – образование пространственного каркаса кристаллизационной структуры. Интенсивно идут процессы структурообразования. Четвёртая стадия – основное повышение прочности. Скорость гидратации наименьшая.

Суперпластификаторы замедляют процессы гидратации отражающиеся и на стадиях структурообразования. Для нахождения границ стадий структурообразования исследования выполнялись с помощью резонансной установки ИГ-IP.

При нахождении оптимального времени приложения уплотняющих воздействий образцы вибрировалась через каждые 5 минут после затворения. Максимальная прочность достигнута в момент времени, совпадающий с окончанием первой стадии структурообразования. Получен прирост прочности на сжатие 10 – 12 %, который можно объяснить тем, что в дисперсной системе происходит разрушение гелевых оболочек в конце первой стадии структурообразования путём механических воздействий, которые обнажают, разрывают внутренние полости, увеличивая общую поверхность, что способствует образованию зародышей кристаллов. При дальнейшем формировании более уплотнённой структуры изменяются условия зародышеобразования и роста кристаллов. Смыкание полостей геля, уменьшение внутренней поверхности приводят к затруднению роста образовавшихся кристаллов гидратов. В результате они более дисперсны и анизометричны. Все эти факторы и приводят к повышению прочности системы.

Вид добавки – суперпластификатора влияет на протекание процессов структурообразования, что окажет влияние на прочность сталефибробетона. Поэтому изучалось влияние добавок – суперпластификаторов на прочностные показатели сталефибробетона по сравнению с бетоном без добавок.

В результате проведённых исследований установлено, что бетоны с добавками в возрасте до 3-х суток имеют более низкий темп набора прочности по сравнению с бетоном без добавки. В возрасте до 1-х суток сталефибробетон с добавкой "Rheobuild –1000" имеет более высокие показатели чем бетон с добавкой "С-3", но к третьим суткам прочностные показатели выравниваются. После 3-х суток бетоны, пластифицированные добавками, имеют более высокую скорость набора прочности и к 28 суткам прочностные показатели сталефибробетона с "Rheobuild –1000" рав-

ны, а сталефибробетона с добавкой "С-3" несколько выше прочностных показателей сталефибробетона без добавок.

Четвёртый раздел посвящён разработке технологии приготовления и применения бетонов и смесей, армированных композицией стальных волокон различных длин, охватывает вопросы назначения технологических параметров (подбор % армирования, количества суперпластификатора и В/Ц; определение удобоукладываемости сталефибробетонной смеси, прогнозирование физико-механических характеристик в процессе набора прочности бетона) при производстве бетонных работ, а также экономической оценке.

Используя полученные зависимости влияния параметров армирования, вида и количества добавок суперпластификаторов, водоцементного отношения на жёсткость и прочность сталефибробетона был разработан алгоритм (рис. 2) и программа, позволяющие реализовать представленные в первом разделе схему (рис. 1) и рассчитывать технологические параметры при производстве сталефибробетонных работ.

Программа разбита на три модуля, первый модуль программы позволяет рассчитывать жёсткость бетонной смеси армированной смесью стальных волокон различных длин и прочность сталефибробетона в 28 суточном возрасте. Второй модуль обеспечивает прогнозирование момента времени наступления интересующего вида прочности (прочность на сжатие, прочность на растяжение при изгибе или прочность на растяжение при раскалывании), а третий модуль позволяет прогнозировать прочностные свойства на любой момент времени в возрасте от 1 до 28 суток. Работа программы начинается с первого модуля, после завершения которого, следует выбирать один из следующих модулей. Также в программе заложена возможность перехода от одного модуля к другому и возможность возврата к началу программы.

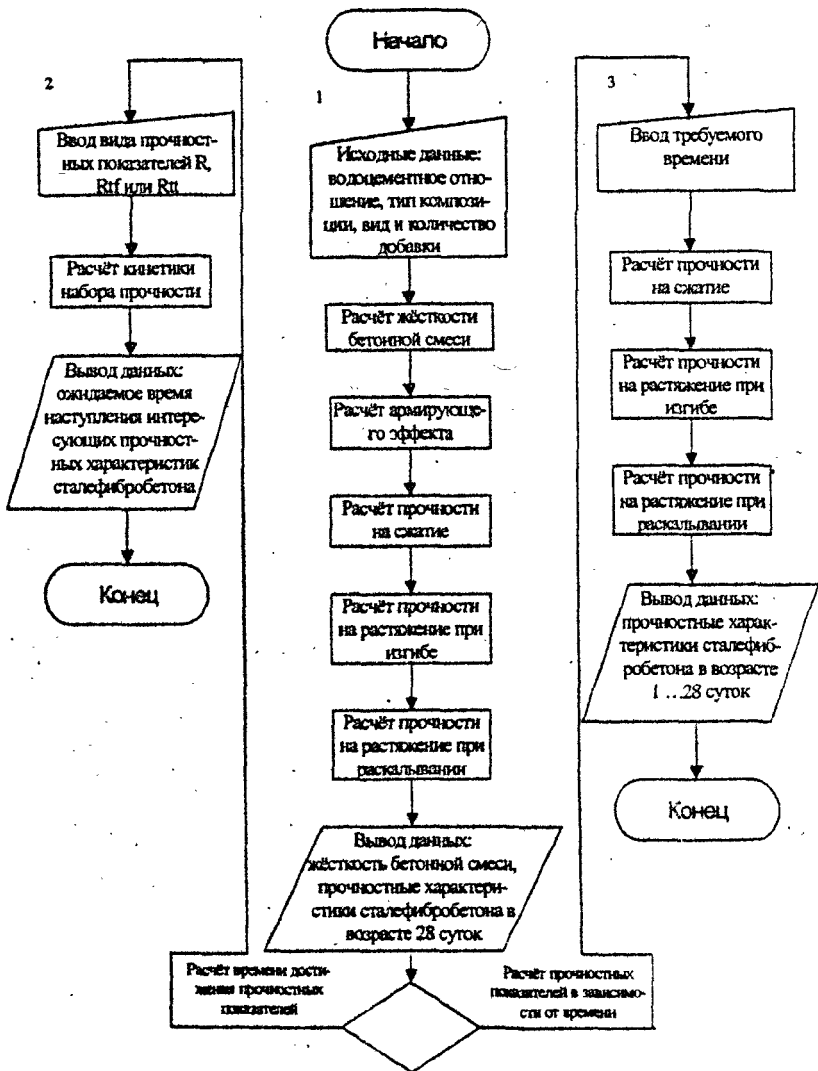


Рис. 2. Блок-схема расчёта технологических параметров бетонов, армированных композицией стальных волокон различных длин

Выполненные исследования бетонов, армированных композицией стальных волокон различных длин, показали их преимущества по сравнению с бетонами, армированными волокнами одной длины. Для получения смеси стальных волокон длиной 20, 30 и 40 мм с соотношением 40%:50%:10%, соответственно, было разработано техническое решение по расположению фрез и количеству ножей для комплектования блока фрез существующего оборудования по приготовлению смеси стальных волокон различных длин из листа в едином технологическом режиме.

Приготовление сталефибробетонных смесей связано с повышенными затратами на введение стальных волокон в смесь и равномерное их распределение. Получение качественного бетона и облегчение ввода волокон в бетонную смесь обеспечивает устройство – сепаратор 6 (рис. 3), установленное на передвижной платформе 5. На платформе также располагается ленточный транспортер 4 и гидравлический консольный кран 8. Кран служит для подачи затаренных в ящики стальных волокон 7 на платформу, а ленточный транспортер для подачи сепарированных волокон в приёмный лоток 3 автобетоносмесителя, из которого они попадают в смесительный барабан 2 автобетоносмесителя 1, где и происходит их смешивание с бетонной смесью.

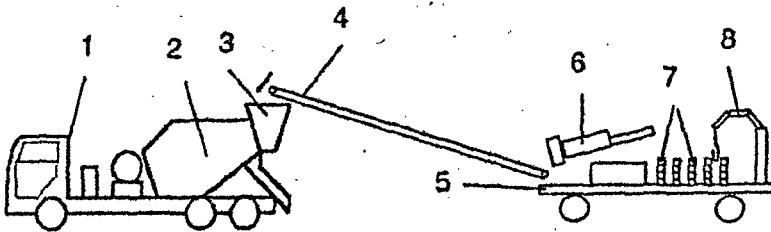


Рис. 3. Оборудование для приготовления сталефибробетонных смесей:

1 – автобетоносмеситель; 2 – смесительный барабан; 3 – приёмный лоток автобетоносмесителя; 4 – ленточный конвейер; 5 – платформа; 6 – сепаратор; 7 – тара со стальными волокнами; 8 – гидравлический консольный кран

Технологическая последовательность приготовления и применения сталефибробетона:

1. Смесь стальных волокон различных длин изготавливается в едином технологическом режиме путем одновременной рубки стального листа в продольном и поперечном направлениях.
2. Для удобства работы стальные волокна затариваются по 20-25 кг в картонные коробки.
3. При сепарации оператор высыпает по 3 - 6 (в зависимости от процента армирования) предварительно вскрытых коробок в минуту в приёмный лоток сепаратора.
4. Приготовление бетонной смеси ведётся в автобетоносмесителях, возможно приготовление как в пути следования автобетоносмесителя, так и в условиях строительной площадки.
5. После окончания перемешивания бетонной смеси предварительно разделённые волокна по ленточному конвейеру через загрузочный бункер автобетоносмесителя попадают в смесительный барабан, где происходит их смешивание с бетонной смесью.
6. Для обеспечения однородности бетонной смеси и недопущения комкования стальные волокна вводятся без выключения вращения смесительного барабана. После окончания ввода волокон сталефибробетонная смесь дополнительно перемешивается.
7. Транспортировка к месту укладки и укладка сталефибробетонной смеси происходит с использования стандартного оборудования.
8. Продолжительность укладки сталефибробетонной смеси после её приготовления должна проходить в интервал времени от момента затворения до окончания первой стадии структурообразования, что обусловлено сокращением энергетических затрат и повышением прочностных характеристик. Определение временных интервалов границ стадий структурообразования сотрудникам строительных лабораторий следует вести на резонансной установке ИГ-1Р.
9. Если продолжительность приготовления и укладки сталефибробетонной смеси меньше заданного периода времени, то с целью получения максимального прироста прочности сталефибробетонную смесь выдерживают до окончания первой стадии структурообразования.

10. При уплотнении сталефибробетонных смесей необходимо использовать вибрационное уплотняющее оборудование (вибраторы глубинные, поверхностные, наружные и др.).

Таким образом, разработана технология приготовления бетонных смесей, армированных смесью стальных волокон различных длин, при этом используя предложенный механизированный комплекс можно готовить сталефибробетонные смеси на любых строительных объектах, в том числе при реконструкции, так как не требуется больших площадей для размещения оборудования. Бетонная смесь готовится в автобетоносмесителях, а волокна вводятся непосредственно в бетонную смесь в процессе её приготовления.

Предложенная модернизация станка для получения смеси стальных волокон различных длин с заданным соотношением содержания волокон, которая применялась для выпуска опытной партии стального волокна в количестве 100 кг. Запуск производства по выпуску смеси стальных волокон различных длин с заданным соотношением планируется в 1999 году.

Материалы исследований были использованы при составлении рекомендаций по технологии приготовления сталефибробетонных смесей для устройства временной крепи из торкрет бетона перегонных тоннелей Челябинского метро.

Разработан технологический регламент на приготовление и применение бетонных смесей, армированных композицией стальных волокон различных длин, в условиях строительной площадки.

Оценивая эффективность применения смеси стальных волокон различных длин для армирования бетонов, показал возможность осуществления экономии стальных волокон (от $12,5 \text{ кг/м}^3$) без снижения прочностных свойств сталефибробетона.

Основные выводы

1. Исследованы технологические параметры и разработана способ приготовления бетонных смесей, армированных смесью стальных волокон различных длин, при этом получено:

– удобоукладываемость бетонной смеси для рассмотренных составов находится в прямо пропорциональной зависимости от водоцементного отношения и расхода добавок суперпластификаторов и обратно пропорциональной зависимости от процента армирования. Получены эмпирические формулы, выражающие зависимость жёсткости, прочности на сжатие, прочности на растяжение при изгибе и прочности на растяжение при раскалывании от этих параметров. Разработаны рекомендации по назначению удобоукладываемости сталефибробетонных смесей в зависимости от вида конструкций;

– момент времени приложения уплотняющих воздействий, совпадающий с моментом окончания первой стадии структурообразования характеризуется приростом прочности на сжатие (10 – 12 %);

– оптимальные моменты времени приложения вибрационного уплотнения составляют 15-25 минут после затворения при использовании добавки "Rheobuild – 1000" и 25-35 минут для добавки "С-3";

– по сравнению со сталефибробетонной смесью без добавок, темпы набора прочности сталефибробетонной смеси с добавками суперпластификаторами до 3-х суток замедлены. После 3-х суток темпы набора прочности сталефибробетонов с добавками возрастают и к 28 суточному возрасту прочностные характеристики сравниваются с бетоном изготовленным без применения суперпластификаторов.

2. Установлено, что армирование бетонных смесей смесью стальных волокон различных длин выпадает физико-механические характеристики сталефибробетонов по сравнению с армированием волокнами одной длины. Определены параметры состава композиции стальных волокон различных длин, способствующие повышению прочностных показателей сталефибробетона (до 33%).

3. Оценены факторы, влияющие на физико-механические свойства сталефибробетона, при этом получено, что:

– применение щебня (фракция 3 – 10 мм) в качестве крупного заполнителя повышает прочностные характеристики (прирост прочности до 32 %);

– прочность используемых типов стальных волокон практически не влияет на прочность сталефибробетона;

– влияние соотношений количества стальных волокон одной длины в смеси волокон различных длин на прочностные характеристики сталефибробетона – не значительно (до 9%).

4. В результате проведённых исследований технологических и физико-механических свойств смесей и бетонов, армированных смесью стальных волокон различных длин, выработаны основные требования к технологии проведения бетонных работ, реализованные в технологическом регламенте. Выданы рекомендации по сепарации и вводу стальных волокон в бетонную смесь и определена область рационального применения технологии монолитных бетонных работ со смесью, армированной композицией стальных волокон различных длин.

5. Разработан алгоритм и программы для ЭВМ, позволяющие выполнять оперативный контроль и прогнозирование технологических свойств сталефибробетонных смесей и сталефибробетонов.

6. Результаты исследования физико-механических свойств бетонных смесей, армированных композицией стальных волокон различных длин, доказывают, что применение этих смесей обеспечивает снижение материальных и трудовых затрат за счёт экономии расхода бетона и стали, за счёт совмещения стадий армирования и приготовления бетонной смеси и более высоких физико-механических характеристик сталефибробетона. Применение в качестве армирования бетонов смеси стальных волокон позволяет осуществлять экономию стальных волокон (от $12,5 \text{ кг/м}^3$) без снижения прочностных свойств сталефибробетона.

Основные положения диссертационной работы представлены в следующих опубликованных работах:

1. Армирование сталефибробетона волокнами различных длин. / Ябליков Д.П., Головинев С.Г., Евсеев Б.А.; Южно-Ур. гос. ун-т, 1998. – 5 с.: ил. 1, библиогр. – 3 назв / Дел. в ВИНИТИ 15.04.98 № 1150 – В 98
2. Армирование сталефибробетона волокнами разных длин. / Ябליков Д.П., Евсеев Б.А., Головинев С.Г., Мауль В.П. // . Технология, экология строительных

конструкций и материалов: Межвуз. сб. науч. тр. – Алматы: КазГАСА, 1998. – С. 274 – 279.

3. Исследование и развитие строительных материалов и технологий для реабилитации строительных конструкций и объектов. Отчет о НИР / Южно-Ур. гос. ун-т, Челябинск; Головнев С.Г., Стуков А.И., Байбурун А.Х., Молодцов М.В., Зябликов Д.П. и др. № ГР 01.980002429; Инв. №02.980002169, 1998.
4. К вопросу о жесткости сталефибробетонных смесей. / Головнев С.Г., Евсеев Б.А., Коваль С.Б., Зябликов Д.П., Молодцов М.В., Пикус Г.А.; Южно-Ур. гос. ун-т, Челябинск, 1998. – 4 с.: библиогр. – 6 назв. / Деп. в ВИНТИ 25.08.98 № 2648 – В 98.
5. Приготовление сталефибробетонных смесей в автобетоносмесителях. / Зябликов Д.П.; Южно-Ур. гос. ун-т, Челябинск, 1998. – 5 с.: ил. 2, библиогр. – 1 назв. / Деп. в ВИНТИ 17.06.98 № 1825 – В 98.
6. Разработка составов фибробрызгбетона для крепления обводнённых и нарушенных участков скальных грунтов "Мокрым" и "Сухим" способами бетонирования для Челябинского метрополитена: Отчет о НИР / Южно-Ур. гос. ун-т, Челябинск; Евсеев Б.А., Коваль С.Б., Молодцов М.В., Зябликов Д.П. и др. № ГР 01.9.80 003280; Инв. № 029.80 002731, 1998.
7. Рекомендации по технологии приготовления сталефибробетонных смесей для устройства временной крепи из торкрет бетона, перегонных тоннелей Челябинского метро. / Евсеев Б.А., Коваль С.Б., Молодцов М.В., Зябликов Д.П., Пикус Г.А.; Южно-Ур. гос. ун-т, 1998. – 8 с.: библиогр. – 8 назв. / Деп. в ВИНТИ 20.04.98 № 1185 – В 98.
8. Структурообразование в бетонных смесях с добавками - суперпластификаторами. / Головнев С.Г., Мауль В.П., Зябликов Д.П.; Южно-Ур. гос. ун-т, Челябинск, 1998. – 7 с.: ил. 5, библиогр. – 2 назв. / Деп. в ВИНТИ 17.06.98 № 1824 – В 98.
9. Технологический регламент на приготовление и применение бетонных смесей, армированных композицией стальных волокон различных длин, в условиях строительной площадки / Зябликов Д.П.; Южно-Ур. гос. ун-т, 1998. – 13 с.: ил. 4, библиогр. – 8 назв. / Деп. в ВИНТИ 25.08.98 № 2647 – В 98.