

Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь
Научно-исследовательское и экспериментально-проектное
Республиканское унитарное предприятие «Институт БелНИИС»

Утверждаю
Директор
РУП «Институт БелНИИС»



М.Ф. Марковский
2009 г.

РЕКОМЕНДАЦИИ

по проектированию и изготовлению строительных сталефибробетонных конструкций и технологии производства сталефибробетона с применением стальной фибры БМЗ

P5.03.054.09

Срок действия
с 29.07. 2009 г.
до 29.07. 2012 г.

Одобрены решением
Ученого Совета
РУП «Институт БелНИИС»
Минстройархитектуры РБ
Протокол № 5 от 18.06.2009 г.

Рег. № 054
РУП «Стройтехнорм»
от 29. 07.2009 г.

Минск 2009 г.

Республиканское унитарное предприятие	
"СТРОЙТЕХНОРМ"	
Регистрационный номер	
№	<u>054</u>
от	<u>29.07.2009г.</u>
Подпись	<u>Алексей</u>

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	5
1. Общие положения	6
2. Проектирование сталефибробетонных конструкций.....	7
2.1. Область применения.....	7
2.2. Нормативные ссылки.....	7
2.3. Определения.....	9
2.4. Условные обозначения и единицы измерений.....	9
2.5. Основные требования по проектированию сталефибробетонных конструкций	
.....	11
2.6. Материалы для сталефибробетонных конструкций.....	14
2.7. Расчет сталефибробетонных конструкций по предельным состояниям первой группы.....	17
2.8. Расчет сталефибробетонных конструкций по предельным состояниям второй группы.....	29
2.9. Требования по конструированию.....	35
3. Технология изготовления конструкций и изделий из сталефибробетона и возведения монолитных конструкций.....	37
3.1. Требования к материалам при подборе состава.....	37
3.2. Подбор состава сталефибробетона.	40
3.3. Технологические режимы производства сборных изделий и возведения монолитных конструкций из сталефибробетона. . .	56
3.4. Расчет энергосберегающих режимов тепловой обработки и выдерживания изделий.	64
3.5. Расчет рациональных режимов беспрогревного выдержи-	

вания изделий. .	69
.....	
3.6. Контроль качества.	77
.....	
3.7. Требования по безопасности труда и охране окружающей среды.....	80
Приложение А (справочное). Зависимость подвижности сталефибробетонной смеси от объемного содержания дисперсной арматуры.....	81
Приложение Б (справочное). Влияние объемного содержания стальной фибры на показатели растяжения при раскалывании сталефибробетона.....	83
Приложение В (справочное). Составы модифицированного сталефибробетона на мелком и крупном заполнителе.....	85
Приложение Г (справочное). Пример расчета состава сталефибробетона	87
Приложение Д (справочное). Ориентировочные физико-технические характеристики некоторых белорусских цементов.	91
.....	
Приложение Е (обязательное). Значения и зависимости функциональных коэффициентов прочности модифицированного бетона в возрасте одних, двух и 28-ми суток при нормальных условиях твердения.	92
Приложение Ж (справочное). Пример расчета режимов беспрогревного выдерживания изделий.	94
.....	

ПРЕДИСЛОВИЕ

Рекомендации включают общие положения, требования к материалам сталефибробетона (СФБ), расчетные формулы по проектированию сталефибробетонных конструкций и конструктивные требования. Рекомендации гармонизированы с современной нормативно-технической базой Республики Беларусь.

Основу Рекомендаций составляют результаты научных исследований сталефибробетона, выполненных в БелНИИСе, и направленных на расширение эффективных видов бетона, применяемых в технологии сборного и монолитного строительства.

Разработка Рекомендаций осуществлялась в соответствии с программой договора №248/6д-07/0872721 от 05.07.2007 г. между РУП «Институт БелНИИС» и между РУП «Белорусский металлургический завод» с целью нормативного обеспечения использования стальной фибровой арматуры.

Рекомендации предназначены для проектирования и изготовления конструкций различного назначения: промышленных полов под оборудование, и складские помещения, а также для несущих элементов балок, ригелей, забивных свай, аэродромных плит, банковских хранилищ, защитных сооружений, в том числе двойного назначения.

Основные области применения в монолитных конструкциях – полы промышленных зданий, монолитные обделки метро и тоннелей, взлетно-посадочные полосы аэродромов, стоянки автомобилей и автомобильные дороги, резервуары и бассейны, банковские и сейфовые хранилища, взрывозащитные фортификационные объекты и другие приложения; торкретсталефибробетона – ремонт и усиление железобетонных и каменных конструкций укрепление горных склонов и откосов и т.п.; сборного сталефибробетона – трубы, тубинги метро, элементы стеновых панелей и плит перекрытия, железнодорожные шпалы, дорожные плиты, малые архитектурные формы и др.

Рекомендации предназначаются для специалистов проектных организаций, занимающихся проблемами применения сталефибробетона и расчета конструкций различного назначения, а также для инженерно-технических работников предприятий стройиндустрии и строительных организаций.

Разработчики: Н.П. Блещик, Н.А. Рак, И.В. Коваль, Г.В. Мазуренок

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Рекомендации гармонизированы с современной нормативно-технической базой Республики Беларусь и учитывают существующий уровень технического состояния и оснащенности строительных организаций, а также применение новых химических модификаторов.

1.2. Рекомендации регламентируют применение стальной фибры БМЗ при изготовлении сборных или монолитных сталефибробетонных изделий и конструкций.

1.3. Стальная фибра БМЗ производится РУП «Белорусский металлургический завод» (г. Жлобин, Республика Беларусь) в соответствии с техническими условиями ТУ ВУ 400074854.628-2009 «Фибра из стальной проволоки для армирования бетона».

1.4. Сталефибробетон целесообразно использовать в тех конструкциях, в которых наиболее полно реализуются его технические преимущества по сравнению с обычным бетоном:

- повышенные прочность на растяжение и изгиб, предельная сжимаемость, трещиностойкость, водонепроницаемость, коррозионная стойкость, долговечность; пониженные деформации ползучести и усадки; высокая термостойкость и огнестойкость, высокая удельная энергия разрушения и сопротивление истираемости;

- снижение трудозатрат на арматурные работы, повышение степени механизации производства, возможность применения высокопроизводительных приемов формования армированных конструкций;

- возможность использования более эффективных конструктивных решений.

1.5. Конструкции должны изготавливаться в соответствии с СНБ 5.03.02-03 «Производство сборных железобетонных изделий и конструкций», СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции», действующими стандартами и рабочими чертежами, по утвержденным в установленном порядке технологическим регламентам, с учетом зависимостей и конструктивных требований настоящих Рекомендаций.

1.6. Для получения высокого качества сталефибробетона с фиброй БМЗ должны соблюдаться требования к материалам, бетонным смесям, условиям выдерживания отформованных изделий, бетонным и железобетонным конструкциям, предусмотренные действующей нормативно-технической и проектно-технологической документацией.

1.7. При подборе состава сталефибробетона, к которому предъявляются дополнительные требования (износостойкость, морозостойкость, водонепроницаемость и т.п.) следует учитывать общие требования нормативных документов и известные зависимости, связывающие состав бетона, свойства исходных материалов и особенности технологии производства изделий с заданными потребительскими качествами. В этих случаях состав СФБ, обеспечивающий заданные прочностные показатели при сжатии и растяжении, следует проверять на соответствие другим заданным показателям качества.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЕФИБРОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

2.1. Область применения

2.1.1. Рекомендации распространяются на проектирование сталефибробетонных конструкций с фибровым и комбинированным армированием ненапрягаемой (стержневой или проволочной) арматурой для зданий и сооружений различного назначения, изготовляемых из тяжелого бетона, эксплуатирующихся при воздействии температур не выше плюс 50°C и не ниже минус 40°C, и устанавливают обязательные технические требования к ним, порядок расчетов и конструирования.

Рекомендации распространяются на проектирование сталефибробетонных конструкций, эксплуатируемых в среде с неагрессивной степенью воздействия, при статическом действии нагрузки.

2.1.2 Рекомендации распространяются на проектирование сталефибробетонных конструкций с применением фибры производства РУП «БМЗ» по ТУ ВУ 400074854.628-2009 «Фибра из стальной проволоки для армирования бетона».

2.1.3. При проектировании сталефибробетонных конструкций, предназначенных для эксплуатации в агрессивной среде, необходимо учитывать дополнительные требования, предъявляемые к таким конструкциям соответствующими нормативными документами.

2.2. Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях использованы ссылки на следующие документы:

СНБ 5.03.01-02	Бетонные и железобетонные конструкции
СНиП 2.03.03-85	Армоцементные конструкции
ТКП 45-2.01-111-2008	Защита строительных конструкций от коррозии
СниП 3.03.01-87	Несущие и ограждающие конструкции
СТБ 1544-2005	Бетоны конструкционные тяжёлые. Технические условия.
СТБ 1545-2005	Смеси бетонные. Методы испытаний.
СТБ 1704-2006	Арматура ненапрягаемая для железобетонных Конструкций.
ГОСТ 13015.0-81	Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Приемка.
СНБ 5.03.02-03	Производство сборных железобетонных изделий.
ИСО 3898:1997	Основные положения проектирования конструкций. Условные обозначения. Основные символы.
СП 52-104-2006	Сталефибробетонные конструкции.
ВСН 56-97	Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций. — Департамент Строительства, Москва, 1997 г.

ВНП 001-01	Банк России. Здания территориальных главных управлений национальных банков и расчетно-кассовых центров Центрального Банка Российской Федерации. Москва, 2001 г.
Пособие П1-03 к СНиП 2.03.13-88 ТУ ВУ 400074854.628-2009 СТБ 1035-96 с изм. №1 СТБ 1182-99 Пособие к СНиП 3.09.01-85:	Проектирование полов. Фибра из стальной проволоки для армирования бетона. Смеси бетонные. Методы испытаний.
Пособие П1-99	Бетоны. Правила подбора составов. Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий. М. Стройиздат, 1989 г.
КХД-1-2007 с доп.	Применение добавок в бетоне. Минстройархитектуры РБ, Минск, 2000 г.
ТКП 45-5.03-21-2006 (02250)	Каталог химических добавок для бетона и строительных растворов» Минстройархитектуры РБ, РУП «Белстройцентр», Минск, 2008 г.
Пособие П1-01 к СНБ 5.03.02-03 ГОСТ 18105-86	«Бетонные работы при отрицательных температурах воздуха. Правила производства».
ГОСТ 13015.0-83	Тепловлажностная обработка сборных бетонных и железобетонных изделий. Бетоны. Правила контроля прочности.
Пособие П2-2000 к СНиП 3.03.01-87	Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Общие технические требования.
Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций. — М., НИИЖБ, ЛенЗНИИЭП, ЦНИИПромзданий, 1987 г. Рекомендации по расчёту бетонных подстилающих слоёв полов производственных зданий с учетом экономической ответственности. — М., ЦНИИПромзданий Госстроя РФ, 1987 г Руководство по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий. — М., НИИЖБ Госстроя СССР, 1979 г.	Производство бетонных работ на стройплощадке.

2.3. Определения

В настоящих рекомендациях использованы термины и определения к ним в соответствии со СНБ 5.03.01-02, СНиП 3.03.01-85, СТБ 1544-2005, СТБ 1545-2005, СТБ 1182-99, .

В настоящих рекомендациях применены также следующие термины с соответствующими определениями:

Сталефибробетон – исходный бетон (бетон-матрица), армированный равномерно распределенными в его объеме стальными фибрами.

Исходный бетон (бетон-матрица) – конструкционный тяжелый бетон по СТБ 1544-2005 на плотных заполнителях.

Фибровая арматура (фибра) – стальные короткие волокна.

Процент фибрового армирования по объему – объем фибр в единице объема сталефибробетона в процентах.

Процент фибрового армирования по массе – отношение массы фибр, содержащихся в единице объема сталефибробетона, к массе этой единицы объема в процентах.

Коэффициент фибрового армирования – относительное содержание объема фибр в единице объема сталефибробетона.

Сталефибробетонные конструкции с фибровым армированием (фибробетонные) – конструкции из бетона, армированные только фиброй, а также имеющие дополнительно арматуру, площадь сечения которой менее значений, приведенных в таблице 11.1 СНБ 5.03.01-02.

Сталефибробетонные конструкции с комбинированным армированием (комбинированно армированные) – конструкции из фибробетона, армированные также арматурой, площадь сечения которой не менее значений, приведенных в таблице 11.1 СНБ 5.03.01-02.

2.4. Условные обозначения и единицы измерения

В настоящих рекомендациях использованы приведенные единые символы и обозначения согласно ИСО 3898:1997.

f_{cd} — расчетное сопротивление бетона сжатию по СНБ 5.03.01-02;

f_{ctd} — расчетное сопротивление бетона растяжению, по СНБ 5.03.01-02;

f_{fcd} — расчетное сопротивление сталефибробетона сжатию;

f_{fctd} — расчетное сопротивление сталефибробетона на растяжение;

f_{yd} — расчетное сопротивление ненапрягаемой арматуры, по СНБ 5.03.01-02;

f_{fd} — расчетное сопротивление растяжению фибровой арматуры;

f_{fk} — нормативное сопротивление растяжению фибровой арматуры;

γ_{fs} — частный коэффициент безопасности для фибры;

E_{cm} — модуль упругости бетона;

E_s — модуль упругости ненапрягаемой арматуры;

E_f — модуль упругости стальной фибры;

$\rho_{fm}, \rho_{fv} (\mu_f)$ — коэффициенты фибрового армирования по массе и по объему;
 ρ_{fa} — коэффициент фибрового армирования по площади сечения;
 ρ_s — коэффициент армирования ненапрягаемой (стержневой или проволочной) арматуры;
 d_f — диаметр фибры;
 d_s — диаметр ненапрягаемой (стержневой или проволочной) арматуры;
 l_f — длина фибры;
 $l_{f,an}$ — минимальная длина заделки фибр в бетоне, соответствующая их разрыву при выдергивании;
 $S_{уд.f}, S_{уд.п.}$ — удельная поверхность соответственно дисперсной арматуры и песка;
 k_{or} — коэффициент, учитывающий ориентацию фибр относительно направления главных растягивающих напряжений;
 k_n — коэффициент, учитывающий влияние на ориентацию фибр размеров сечения, перпендикулярных направлению внешнего усилия;
 φ_f — коэффициент эффективности косвенного армирования фибровой арматурой;
 η — характеристика сцепления фибр с бетоном по контактной поверхности;
 $J_{f,red}$ — момент инерции сталефибробетонного сечения, приведенного к бетонному, относительно его центра тяжести;
 $W_{f,red}$ — момент сопротивления сталефибробетонного сечения, приведенного к бетонному.
 w_k — расчетная ширина раскрытия трещин;
 w_{lim} — предельно допустимая ширина раскрытия трещин;
 q_1, q_2, q_3, q_4 — удельное тепловыделение отдельных минералов цементного клинкера;
 $m_{т.2}$ — объёмная концентрация цементного теста, находящегося в межзерновом пространстве заполнителей;
 $m_{ц.к}$ — объёмная концентрация цементного камня;
 $m_{п.з.}$ — показатель пустотности смеси заполнителей;
 G_3, G_m, G_k — соответственно общий расход заполнителей, расходы мелкого и крупного заполнителей;
 C, B — соответственно расход цемента и воды.

Другие условные обозначения и индексы к ним приняты согласно СНБ 5.03.01-02 и СНиП 2.03.03-85.

В расчетах, выполняемых в соответствии с требованиями настоящих норм, следует использовать следующие единицы измерения:

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| —силы и нагрузки | — кН, кН/м, кН/м ² ; |
| —плотность | — кг/м ³ ; |
| —напряжения и прочность | — Н/мм ² (МПа); |
| —момент (изгибающий, крутящий) | — кН·м. |

2.5. Основные требования по проектированию сталефибробетонных конструкций

2.5.1. Сталефибробетон является разновидностью дисперсно-армированного железобетона и изготавливается из мелкозернистого или тяжелого бетона (бетон-матрица), в котором в качестве арматуры используются стальные фибры, равномерно распределенные по объёму бетона. Совместность работы бетона и стальных фибр обеспечивается за счёт сцепления по их поверхности и анкеровки фибры за счёт периодического профиля и её кривизны в продольном и поперечном направлении.

По показателям прочности бетона-матрицы приняты классы бетона в соответствии с СТБ 1544-2005.

2.5.2. Сталефибробетонные конструкции в зависимости от армирования подразделяются на конструкции:

- с фибровым армированием – при армировании стальными фибрами, равномерно распределенными по объёму элемента;
- с комбинированным армированием – при армировании стальными фибрами, в сочетании со стержневой или проволочной арматурой (как в железобетоне).

2.5.3. Сталефибробетонные конструкции согласно СНБ 5.03.01-02 должны быть обеспечены с требуемой надёжностью от возникновения всех видов предельных состояний расчетом, выбором материалов, назначением размеров и конструированием.

2.5.4. Применение сталефибробетонных конструкций в средах с агрессивным воздействием на конструкции из бетона и железобетона допускается при выполнении требований СНиП 2.03.11-85, СНиП 2.03.03-85 и настоящих рекомендаций.

2.5.5. Выбор конструктивных решений сталефибробетонных конструкций следует производить, исходя из технико-экономической целесообразности применения таких конструкций в конкретных условиях строительства с учетом максимального снижения их материало-, трудо-, энергоёмкости и, стоимости, с учетом повышения долговечности и увеличения межремонтного ресурса.

Сталефибробетон рекомендуется применять в конструкциях зданий и сооружений, для которых существенное значение имеют снижение собственного веса, уменьшение раскрытия трещин, обеспечение водонепроницаемости бетона, повышение: ударной стойкости, сопротивления истиранию, продавливанию и долговечности.

2.5.6. Сталефибробетон рекомендуется для изготовления конструкций, в которых наиболее эффективно могут быть использованы следующие его технические преимущества по сравнению с традиционным железобетоном:

- повышенные трещиностойкость, ударная стойкость, вязкость разрушения, износостойкость, морозостойкость, сопротивление кавитации;
- пониженные усадка и ползучесть;

- возможность использования более эффективных конструктивных решений, чем при обычном армировании, например, тонкостенных конструкций, конструкций без стержневой или сетчатой распределительной и поперечной арматуры и др.;
- снижение трудозатрат на арматурные работы, повышение степени механизации и автоматизации производства железобетонных конструкций, например, в сборных тонкостенных оболочках, складках, ребристых плитах покрытий и перекрытий, сборных колоннах, балках, монолитных днищах емкостных сооружений, дорожных и аэродромных покрытиях; монолитных и сборных полах промышленных и общественных зданий и др.;

2.5.7. При выборе конструктивных решений следует учитывать методы изготовления, монтажа и условия эксплуатации конструкций. Форму и размеры сечений элементов следует принимать, исходя из наиболее полного учета свойств сталефибробетонных конструкций, возможности заводского механизированного и автоматизированного изготовления, удобства транспортирования и монтажа.

2.5.8. Сталефибробетонные конструкции изготавливаются с учетом требований настоящих рекомендаций различными технологическими приемами: предварительным приготовлением смеси в заводских или построечных условиях, уплотнением с помощью вибрирования и вакуумирования, роликовым формованием и прессованием, торкретированием и центрифугированием.

2.5.9. Для изготовления сталефибробетона в качестве бетона-матрицы применяется конструкционный тяжелый бетон по СТБ 1544-2005.

2.5.10. Для фибрового армирования следует использовать фибру по ТУ ВУ 400074854.628-2009.

2.5.11. При проектировании сталефибробетонных конструкций следует руководствоваться общими положениями и соблюдать расчетные требования СНБ 5.03.01-02, СНиП 2.03.03-85 и настоящих рекомендаций.

2.5.12. Сталефибробетон без комбинированного армирования рекомендуется применять в элементах конструкций:

работающих, преимущественно на ударные нагрузки и истирание;

работающих на сжатие с малым эксцентриситетом приложения продольной силы, т.е. при выполнении условий $e_0 < 0,9y$ и $e_0 < y - 10$,

в которых e_0 – эксцентриситет приложения продольной силы относительно центра тяжести сечения (в мм), y – расстояние от центра тяжести до наиболее сжатого волокна бетона (в мм);

работающих на изгиб при соблюдении условий, исключающих их хрупкое разрушение; работающих на сжатие с большими эксцентриситетами, т.е. при не выполнении условий $e_0 < 0,9y$ и $e_0 < y - 10$, а также в изгибаемых конструкциях, когда их разрушение не представляет непосредственной опасности для жизни людей и сохранности оборудования (элементы, лежащие на сплошном основании и др.).

2.5.13. Расчет сталефибробетонных конструкций производят по несущей способности (предельные состояния первой группы) и по пригодности к нормальной эксплуатации (предельные состояния второй группы) согласно основным положениям СНиП 2.03.03-85 с использованием в специально оговоренных случаях положений СНБ 5.03.01-02. Использование при расчете положений СНиП 2.03.03-85 и СНБ 5.03.01-02 следует производить согласно настоящим рекомендациям, учитывающим особенности сталефибробетонных конструкций: дисперсность армирования; возможную тонкостенность конструкции.

2.5.14. Расчет сталефибробетонных конструкций по предельным состояниям выполняется по аналогии с расчетом железобетонных и армоцементных конструкций с учетом расчетных характеристик сталефибробетона f_{fcd} , f_{fed} и др. в соответствии с положениями пп.2.5.1-2.5.8 настоящих рекомендаций.

2.5.15. Расчет бетонных и железобетонных конструкций по образованию трещин следует производить из условия, по которому усилия, напряжения, деформации в конструкциях от различных воздействий и их сочетаний не должны превышать соответствующих предельных значений, воспринимаемых конструкцией при образовании трещин.

2.5.16. Средняя плотность тяжелого и мелкозернистого бетона – матрицы, учитываемая в расчете сталефибробетонных конструкций, принимается по СНБ 5.03.01-02 с учетом указаний настоящих рекомендаций.

2.5.17. В рабочих чертежах конструкций из сталефибробетона в случае необходимости кроме требуемого содержания (расхода фибры) на 1 м^3 сталефибробетонной смеси, приводятся требования к технологическим приемам изготовления, обеспечивающим требуемые свойства фибробетона.

2.5.18. Содержание фибр в сталефибробетоне (расход на 1 м^3 СФБ смеси) определяется требованиями к его физико-механическим свойствам, назначаемым из условий применения. В зависимости от области применения сталефибробетона содержание в нем фибры рекомендуется принимать по таблице 1.

2.5.19. Определение усилий в сталефибробетонных элементах, работающих как тонкостенные пространственные конструкции, производится в соответствии с «Руководством по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий» (М., НИИЖБ, 1979).

Таблица 1

Вид конструкции	Расход фибры по массе, кг/м^3
плиты промышленных полов	25...60
конструкции жилых домов	35...120
конструкции и сооружения, эксплуатирующиеся в условиях воздействия окружающей среды	40...120
конструкции тоннелей, дорог и т.п.	50...120
Защитные, морские сооружения и др. особые случаи	120...240

--	--

2.5.20. Расчет бетонных и железобетонных конструкций по раскрытию трещин следует производить из условия, по которому ширина раскрытия трещин в конструкции от расчетных воздействий и их сочетаний не должна превышать предельно допустимых значений, приведенных в таблице 2, в зависимости от требований, предъявляемых к конструкции, условий ее эксплуатации (воздействия окружающей среды и характеристик материалов с учетом особенностей коррозионного поведения арматуры).

Таблица 2 Предельно допустимые значения ширины раскрытия трещин w_{lim}

Класс по условиям эксплуатации по таблице 5.2 СНБ 5.03.01-02	Элементы с фибровым армированием *	Элементы с комбинированным армированием со стержневой арматурой классов S240, S400, S500 и проволоочной класса S500
	Практически постоянное сочетание нагрузок по приложению А СНБ 5.03.01-02	Практически постоянное сочетание нагрузок по приложению А СНБ 5.03.01-02
X0, XC1	0,1 мм	0,15 мм
XC2, XC3, XC4	0,05 мм	0,1 мм
XD1, XD2	Не допускается	0,05 мм
*Применение только фибрового армирования допускается при специальном обосновании		

2.6. Материалы для сталефибробетонных конструкций

Бетон (матрица)

2.6.1. Для сталефибробетонных конструкций следует применять конструкционный бетон со средней плотностью не менее 2200 кг/м^3 в соответствии с СТБ 1544-2005.

2.6.2. Для сталефибробетонных конструкций в зависимости от их вида и условий работы рекомендуется применять конструкционные бетоны следующих видов, классов и марок:

а) тяжелый бетон классов по прочности на сжатие: $C^{16}/_{20}$; $C^{20}/_{25}$; $C^{25}/_{30}$; $C^{30}/_{37}$; $C^{35}/_{45}$; $C^{40}/_{50}$; $C^{45}/_{55}$; $C^{50}/_{60}$;

б) мелкозернистый бетон группы А (нормального твердения или подвергнутый тепловой обработке, на песке с модулем крупности свыше $M_k=2,0$) классов по прочности на сжатие: $C^{16}/_{20}$; $C^{20}/_{25}$; $C^{25}/_{30}$; $C^{30}/_{37}$; $C^{35}/_{45}$;

в) марок по морозостойкости – F50; F75, F100, F150, F200;

г) марок по водонепроницаемости – W4, W6, W8 и более.

Допускается применение бетона промежуточных классов по прочности.

2.6.3. Возраст сталефибробетона, соответствующий его классу по прочности на сжатие и осевое растяжение, назначается при проектировании, исходя из возможных сроков фактического нагружения конструкций проектными нагрузками, способа возведения и условий твердения бетона. При отсутствии этих данных класс бетона устанавливается в возрасте 28 суток.

2.6.4. Значение отпускной прочности сталефибробетона в элементах сборных конструкций назначается согласно указаниям ГОСТ 13015.0-83 и стандартов или технических условий на конструкции конкретных видов.

2.6.5. Требования по морозостойкости и водонепроницаемости к сталефибробетону принимаются в зависимости от условий работы сталефибробетонных конструкций в соответствии с указаниями п.5.6.2 СНБ 5.03.01-02 по аналогии с железобетонными конструкциями.

2.6.6. Для замоноличивания стыков сталефибробетонных элементов следует принимать бетон класса (марок) в зависимости от условий работы соединяемых элементов, но не менее чем класс бетона соединяемых элементов, согласно указаниям п.12.1.1.5 и 12.1.1.6 СНБ 5.03.01-02.

Нормативные и расчетные характеристики бетона (матрицы)

2.6.7. Нормативные и расчетные сопротивления тяжелого или мелкозернистого бетона-матрицы принимаются согласно указаниям п.6.1.2.9 СНБ 5.03.01-02.

2.6.8. Значения начального модуля упругости E_{cm} , коэффициента линейной температурной деформации α_t , начального коэффициента поперечной деформации (коэффициента Пуассона) и модуля сдвига принимаются в соответствии с указаниями п.6.1.3 СНБ 5.03.01-02.

Арматура

2.6.9. Для фибрового армирования используется проволоочная стальная фибра по ТУ ВУ 400074854.628-2009.

2.6.10. Процент фибрового армирования по объёму (содержание фибры в 1 м^3 смеси) указывается в проектной документации на изделие, конструкцию или сооружение.

2.6.11. Стержневая или проволоочная арматура для комбинированно армированных сталефибробетонных конструкций, а также закладные детали принимаются в соответствии с указаниями СНБ 5.03.01-02, СТБ1704.

Нормативные и расчетные характеристики арматуры

2.6.12. За нормативное сопротивление растяжению фибры f_{fk} , принимается наименьшее контролируемое значение временного сопротивления разрыву, определяемое как отношение разрывного усилия к номинальной площади поперечного сечения фибры.

Указанная контролируемая характеристика фибры принимается в соответствии установленным в ТУ значением и гарантируется с вероятностью 0,95.

2.6.13. Расчетное сопротивление фибры растяжению для предельных состояний первой группы f_{fd} определяется путем деления нормативного сопротивления f_{fk} на коэффициент надежности по фибре γ_{sf} , указанный в таблице 3.

2.6.14. Нормативное сопротивление, коэффициенты надежности и расчетное сопротивление растяжению для предусмотренной настоящими рекомендациями фибры приведены в таблице 3.

2.6.15. Модуль упругости фибры E_f , принимается равным $2,1 \cdot 10^5$ МПа.

2.6.16. При комбинированном армировании нормативные и расчетные сопротивления стержневой и проволоочной арматуры, коэффициенты условий работы и модули упругости этой арматуры принимаются согласно СНБ 5.03.01-02.

Таблица 3

Вид фибровой арматуры	Нормативные сопротивления растяжению f_{fk} , МПа	Частный коэффициент безопасности по фибровой арматуре γ_s при расчете конструкций по предельным состояниям		Расчетные сопротивления растяжению фибры для предельных состояний первой группы f_{fd} , МПа
		Первой группы	Второй группы	
1	2	3	4	5
Фибра по ТУ ВУ 400074854.628-2009 из низкоуглеродистой стали	800	1,25	1,00	640
Фибра по ТУ ВУ 400074854.628-2009 из высокоуглеродистой стали	1000	1,25	1,00	800

2.7. Расчет сталефибробетонных конструкций по предельным состояниям первой группы

2.7.1. При расчете сталефибробетонных конструкций по прочности, они рассматриваются как железобетонные с фибровой арматурой, равномерно распределенной по всему объёму (сечению) или его части (при зонном фибровом армировании).

2.7.2. Расчет сталефибробетонных конструкций по предельным состояниям первой группы производится по методике СНиП 2.03.03-85 с учетом указаний пп.2.7.5...2.7.18 настоящих рекомендаций и СНБ 5.03.01-02.

2.7.3. Расчет элементов сталефибробетонных конструкций по прочности производится для сечений, нормальных и наклонных к продольной оси. В случае необходимости производится расчет элементов на местное действие нагрузки.

2.7.4. Расчет элементов сталефибробетонных конструкций на смятие следует производить согласно п.7.4 СНБ 5.03.01-02 с заменой значений: f_{ctd} на f_{fctd} и f_{cd} , на f_{fcd} , а на продавливание – по п.2.7.23 настоящих рекомендаций.

Расчет по прочности сечений нормальных к продольной оси элемента

2.7.5. При расчёте по прочности предельные усилия в сечении, нормальном к продольной оси элемента определяются, исходя из следующих предпосылок и расчетных схем, представленных на рисунке 1 (общий случай) и рисунках 2...7:

- сопротивление сталефибробетона сжатию выражается напряжениями, равными f_{fcd} , равномерно распределёнными в пределах частей сечения элемента в сжатой зоне;
- сопротивление сталефибробетона растяжению выражается напряжениями, равными f_{fctd} , равномерно распределенными в пределах частей сечения элемента в растянутой зоне;
- напряжения в стержневой или проволоочной арматуре, расположенной в сжатой зоне сечения, принимаются постоянными, и не более f_{yd} или 500 МПа,
- напряжения в стержневой или проволоочной арматуре, расположенной в растянутой зоне сечения, принимаются постоянными и не более f_{yd} .

Расчетные сопротивления сталефибробетона следует устанавливать в зависимости от характеристик бетона, относительного содержания, формы, размеров и расположения фибр в бетоне, ее сцепления с бетоном и физико-механических свойств, а также в зависимости от размеров элемента или конструкции. При этом значения сопротивления сталефибробетона сжатию f_{fcd} и растяжению f_{fctd} могут изменяться в пределах частей сечения элемента,

в зависимости от его формы и размеров, что учитывается расчетом в соответствии с пп.2.7.6-2.7.12 настоящих рекомендаций.

2.7.6. Расчетное сопротивление растяжению сталефибробетона f_{fctd} , определяется в зависимости от класса бетона, геометрии и размеров сечения элемента в соответствии с указаниями п.п. 2.7.7-2.7.9 настоящих рекомендаций.

2.7.7. При определении f_{fctd} , различаются два случая:

1-ый случай: сопротивление растяжению сталефибробетона исчерпывается из-за обрыва некоторого количества фибр и выдергивания остальных, что определяется условием:

$$l_{f,an} < \frac{l_f}{2} \quad (1)$$

2-ой случай: сопротивление растяжению сталефибробетона исчерпывается из-за выдергивания из бетона условно всех фибр, что определяется условием:

$$l_{f,an} \geq \frac{l_f}{2} \quad (2)$$

В формулах 1 и 2 $l_{f,an}$ – длина заделки фибры в бетоне, обеспечивающая ее разрыв при выдергивании, определяемая по формуле:

$$l_{f,an} = \frac{\eta \cdot d_f \cdot f_{fk}}{f_{ctk}}, \quad (3)$$

где d_f – диаметр используемой фибры, мм; f_{fk} – нормативное сопротивление растяжению фибр, МПа; f_{ctk} – нормативное сопротивление бетона растяжению, МПа; η – коэффициент, учитывающий сцепление фибр с бетоном по контактной поверхности и принимаемый по таблице 4.

Таблица 4

Коэффициенты	Вид фибры по ТУ ВУ 400074854.628-2009		
	Анкерная	Волновая	Прямая
1	2	3	4
η	$0,09 \cdot \left(1 - \frac{12 \cdot h \cdot f_{ctk}}{d_f \cdot f_{fk}}\right)$	$0,09 \cdot \left(1 - \frac{18 \cdot w \cdot f_{ctk}}{d_f \cdot f_{fk}}\right)$	0,09
K_T	$\sqrt{1 - (0,9 - 45 \cdot \rho_{fv})^2}$	$\sqrt{1 - (1,2 - 80 \cdot \rho_{fv})^2}$	$\sqrt{1 - (1 - 50 \cdot \rho_{fv})^2}$
K_{c1}	$1 - 1,25\sqrt{2 \cdot \rho_{fv} - 0,005}$	$1 - 1,25\sqrt{2 \cdot \rho_{fv} - 0,005}$	$1 - 1,25\sqrt{2 \cdot \rho_{fv} - 0,005}$
K_{c2}	$1 - 6,25 \cdot \rho_{fv}$	$1 - 6,25 \cdot \rho_{fv}$	$1 - 6,25 \cdot \rho_{fv}$
Примечание: h – высота отгиба анкерной фибры; w – амплитуда волны волновой фибры.			

Для волновой фибры должно выполняться следующее условие:

$$\frac{\rho_{fv} \cdot l_f}{d_f} \leq 1,1$$

2.7.8. Если имеет место 1-й случай исчерпания сопротивления осевому растяжению сталефибробетона, то величина f_{fctd} , определяется по формуле:

$$f_{fctd} = K_T \cdot k_{or}^2 \cdot \rho_{fv} \cdot f_{fd} \left(1 - \frac{l_{f,an}}{l_f} \right) + k_{c1} \cdot f_{ctd} \quad (4)$$

где k_{or} – коэффициент, учитывающий ориентацию фибр в объеме элемента в зависимости от соотношения размеров сечения элемента и длины фибры, принимаемый по таблице 5;

ρ_{fv} – коэффициент фибрового армирования по объему;

K_T и k_{c1} – коэффициенты, приведенный в таблице 4.

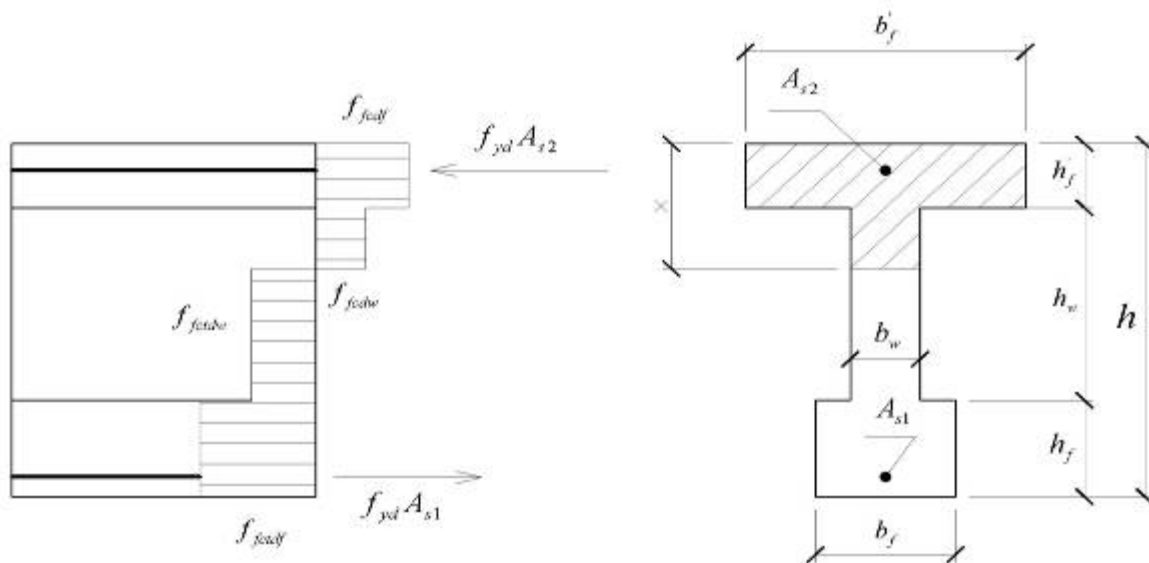


Рисунок 1. Схема внутренних усилий и эпюры напряжений в сечении, нормальном к продольной оси элемента (общий случай)

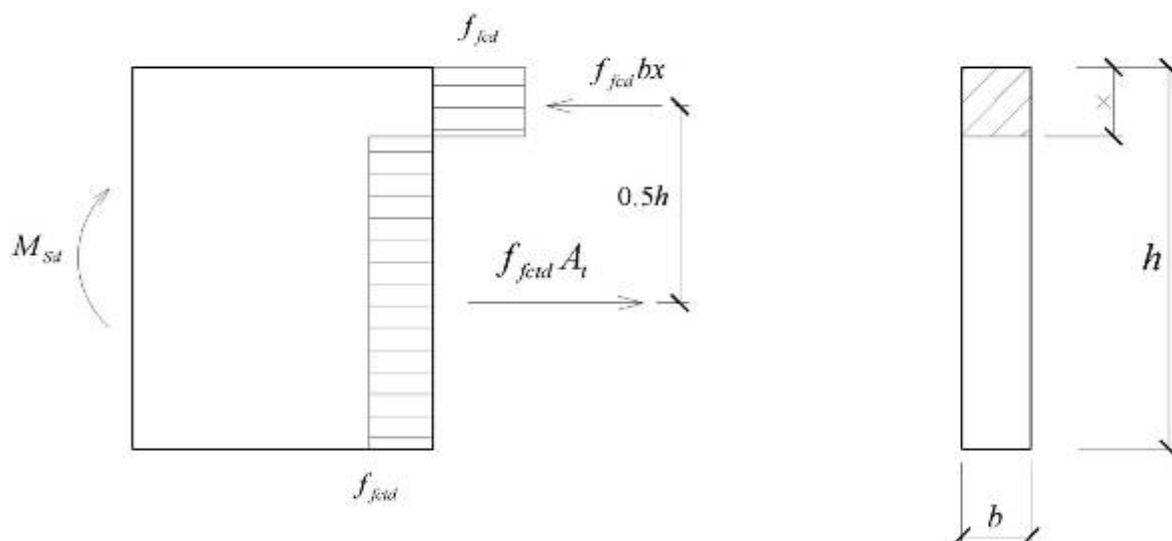


Рисунок 2. Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого элемента прямоугольного сечения, при фибровом армировании

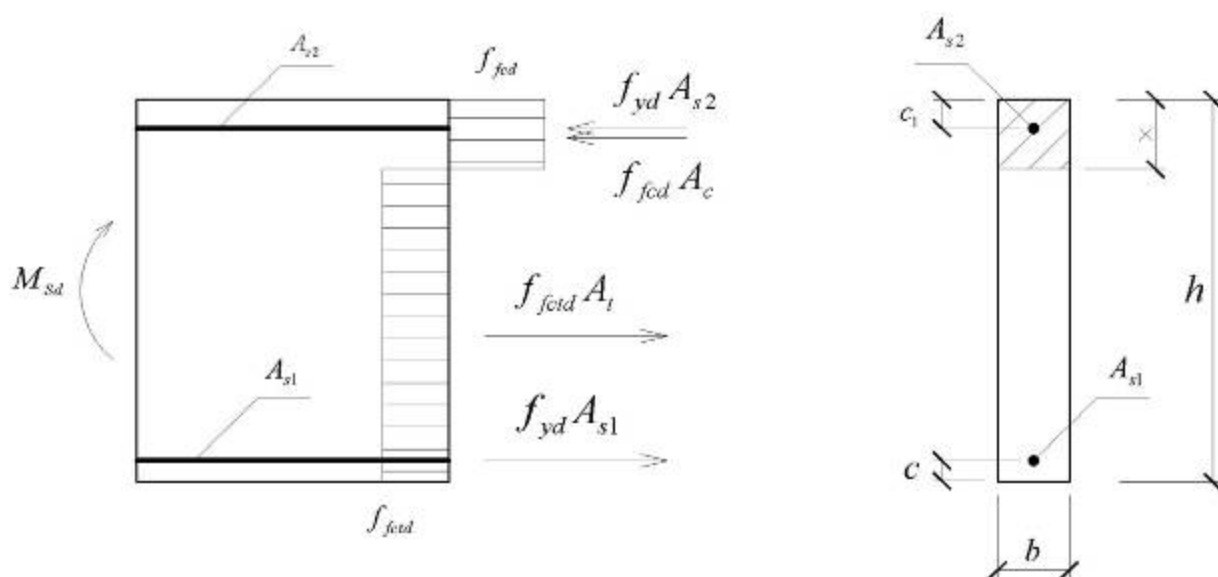


Рисунок 3. Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого железобетонного элемента прямоугольного сечения, при комбинированном армировании

A_{s1} , A_{s2} – ненапрягаемая арматура

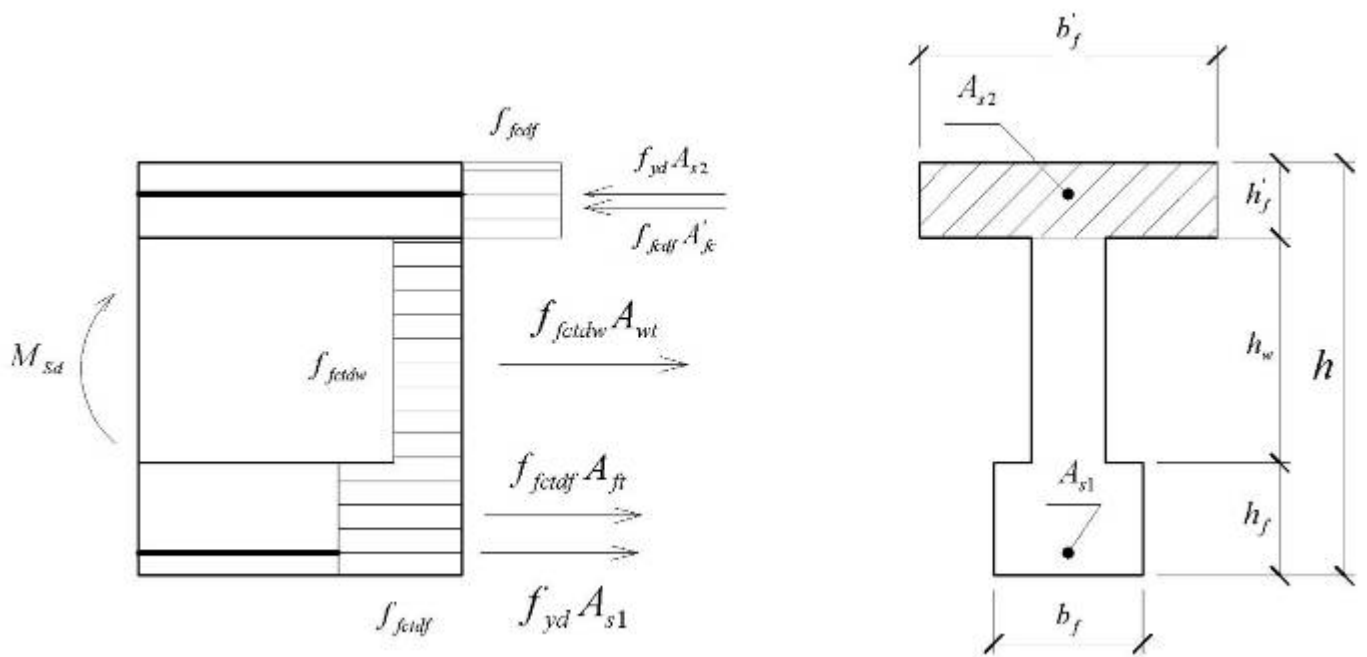


Рисунок 4. Схема распределения усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого железобетонного элемента двутаврового сечения, при комбинированном армировании и при $X \leq h_f^1$

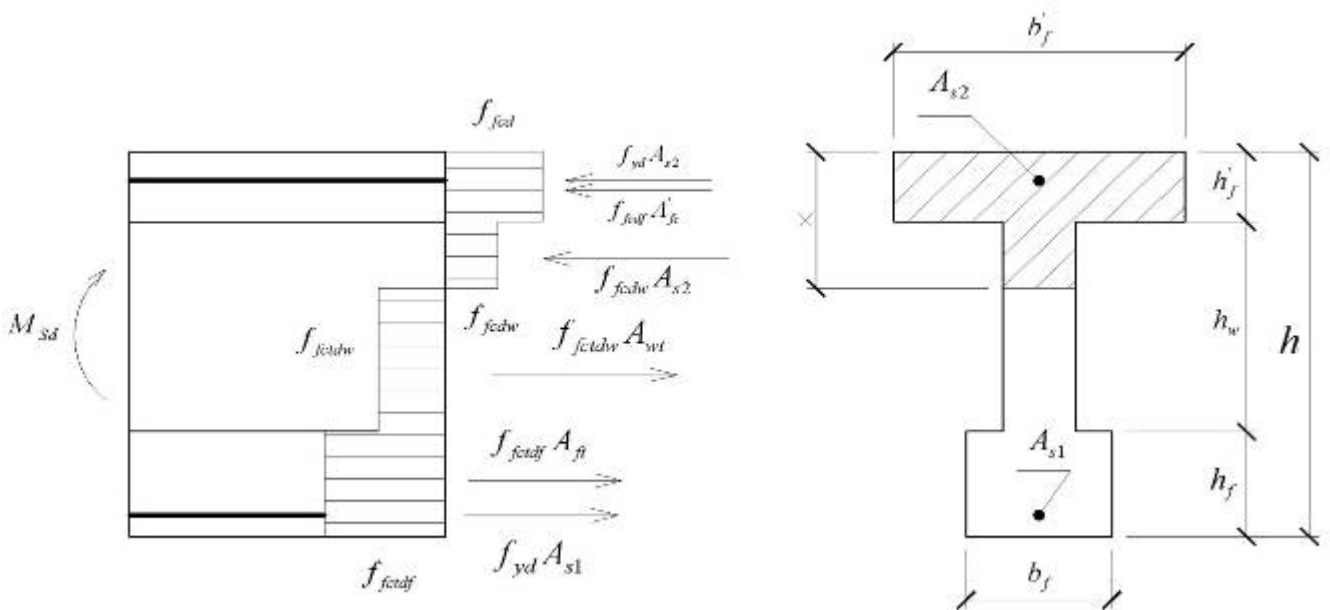


Рисунок 5. Схема распределения усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого железобетонного элемента двутаврового сечения, при комбинированном армировании и при $X > h_f^1$

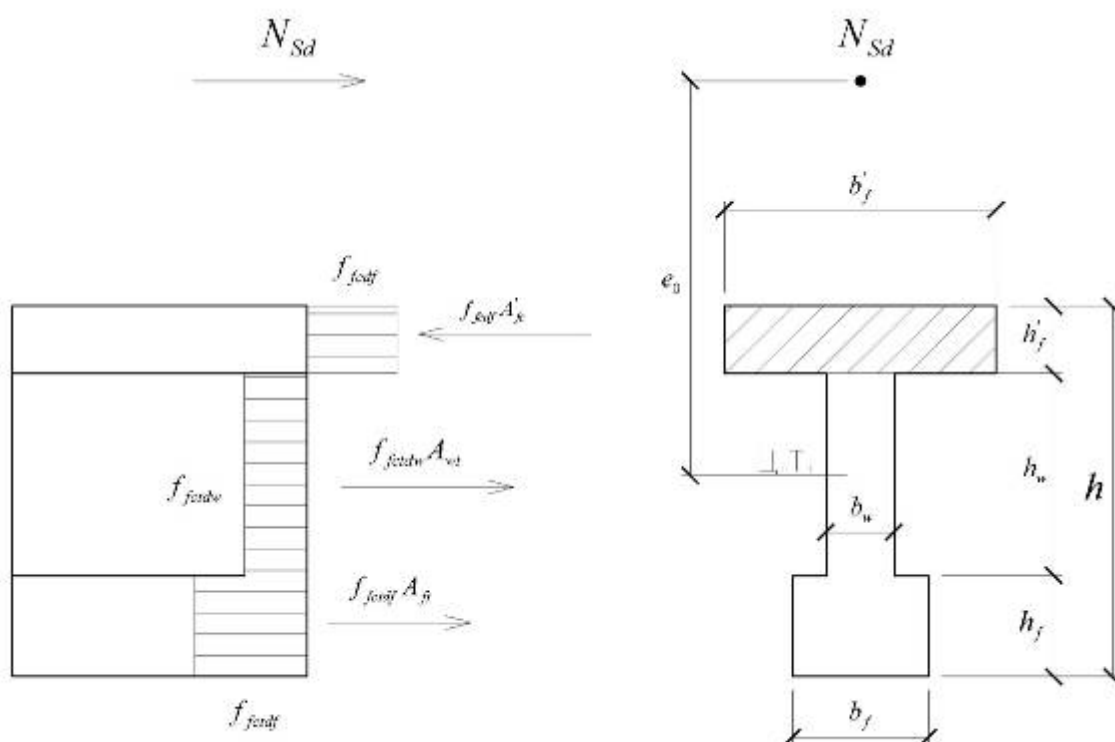


Рисунок 6. Схема распределения усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно сжатого элемента двутаврового сечения, при фибровом армировании

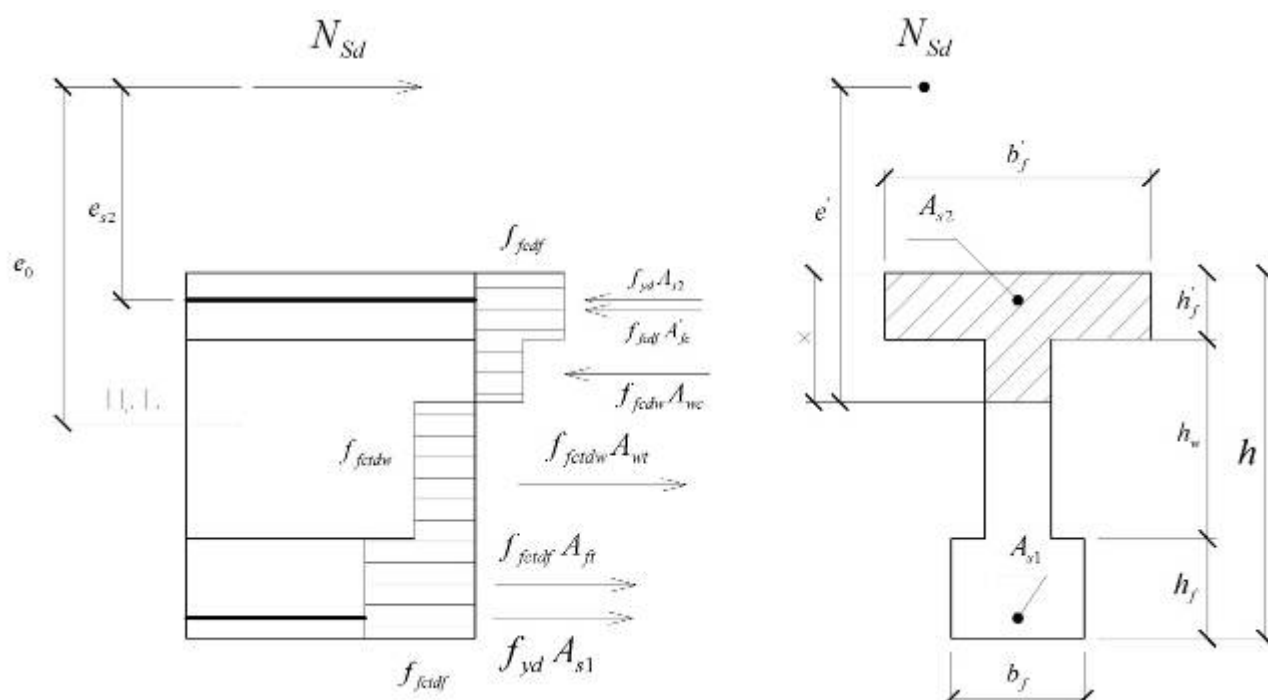


Рисунок 7. Схема распределения усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно сжатого элемента двутаврового сечения, при комбинированном армировании и при $X \leq x_f$

A_{s1} , A_{s2} – ненапрягаемая арматура

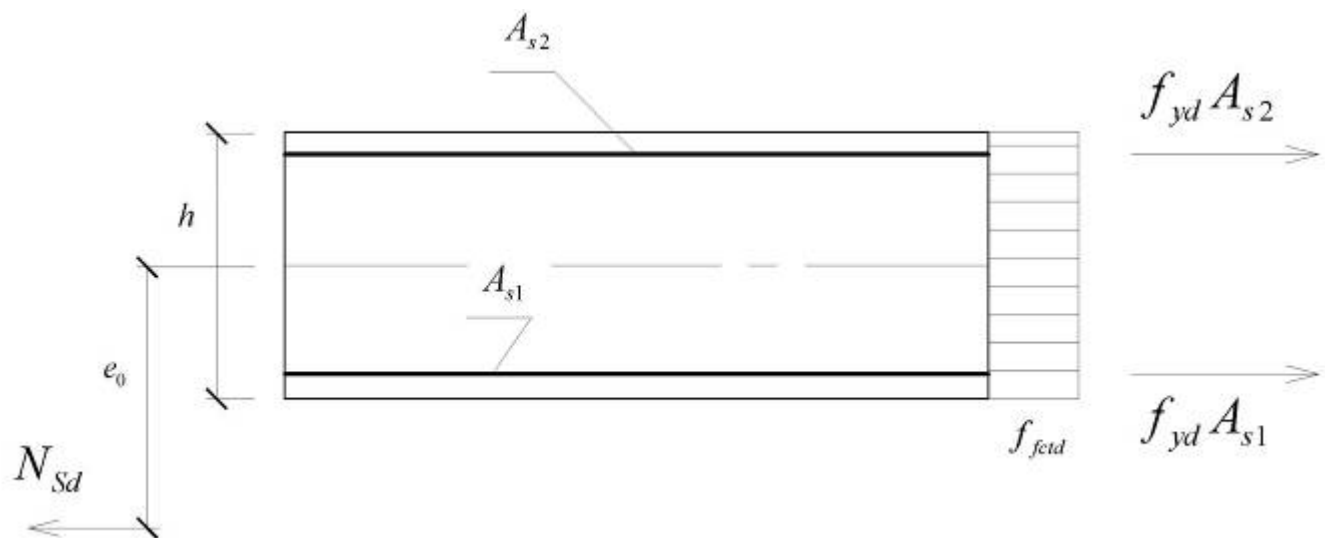


Рисунок 8. Эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно растянутого элемента прямоугольного сечения, при приложении продольной силы N в пределах ядра сечения

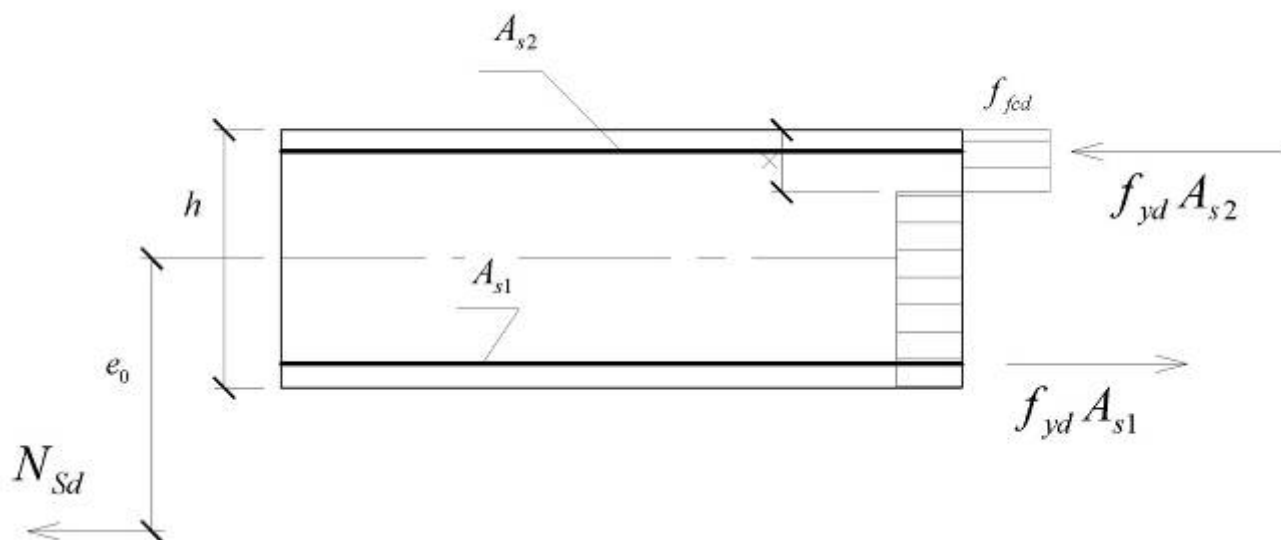


Рисунок 9. Эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно растянутого элемента прямоугольного сечения, при приложении продольной силы N за пределами ядра сечения

A_{s1} , A_{s2} – ненапрягаемая арматура.

2.7.9. Если имеет место 2-ой случай исчерпания сопротивления осевому растяжению сталефибробетона, величина f_{ctd} определяется по формуле:

$$f_{ctd} = f_{ctd} \cdot \left(K_T \cdot \frac{k_{or}^2 \cdot \rho_{fv} \cdot l_f}{8 \cdot \eta \cdot d_f} + k_{c2} \right) \quad (5)$$

где K_T и k_{c2} – коэффициенты, приведены в таблице 4.

2.7.10. Значения коэффициентов η и K_T в случаях применения прогрессивных технологий могут быть уточнены после экспериментального обоснования в соответствующем порядке по согласованию с РУП «Институт БелНИИС».

2.7.11. Для определения значения f_{fcd} , значение коэффициента k_{or} принимается по таблице 4 различным, для отдельных частей сечения рассчитываемого элемента (верхней полки, нижней полки, стенки, ребра и т.п.) в зависимости от их размеров и длины фибры.

Таблица 5- Значения коэффициентов ориентации фибры в зависимости от размеров сечения растянутого элемента

h/l_f	Значение K_{or} при b/l_f							
	0.5	1	2	3	5	10	20	Более 20
0,2	0,98	0,93	0,78	0,732	0,695	0,665	0,651	0,637
0,4	0,97	0,92	0,77	0,724	0,686	0,658	0,642	0,628
0,6	—	0,91	0,76	0,718	0,681	0,653	0,638	0,624
0,8	—	0,90	0,75	0,707	0,671	0,643	0,628	0,615
1,0	—	0,87	0,73	0,687	0,652	0,624	0,610	0,597
1,5	—	—	0,69	0,649	0,615	0,589	0,577	0,564
2	—	—	0,67	0,630	0,597	0,573	0,559	0,548
3	—	—	—	0,612	0,580	0,556	0,543	0,532
5	—	—	—	—	0,556	0,543	0,530	0,519
10	—	—	—	—	—	0,533	0,520	0,510
20	—	—	—	—	—	—	0,516	0,505
Более 20	—	—	—	—	—	—	—	0,500

Примечание: b и h – больший и меньший размеры сечения, перпендикулярного к направлению внешнего растягивающего усилия.

2.7.12. Расчетное сопротивление сжатию сталефибробетона f_{fcd} определяется в зависимости от класса бетона, вида и размеров фибры, геометрии и размеров сечения элемента. При этом учитывается только работа фибр, ориентированных нормально к направлению внешнего сжимающего усилия и удовлетворяющих условию (1) п.2.7.7 настоящих рекомендаций.

Значение f_{fcd} определяется по формуле:

$$f_{fcd} = f_{cd} + K_n^2 \cdot \varphi_f \cdot \rho_{fv} \cdot f_{fd}, \quad (6)$$

где: k_n – коэффициент, учитывающий работу фибр в сечении, перпендикулярном направлению внешнего сжимающего усилия, принимаемый по таблице 6;

φ_f – коэффициент эффективности косвенного армирования фибрами, вычисляемый по формуле:

$$\varphi_f = \frac{5 + L}{1 + 4,5L}, \quad (7)$$

Где

$$L = \frac{K_n^2 \cdot \rho_{fv} \cdot f_{fd}}{f_{cd}} \quad (8)$$

Таблица 6-Значения коэффициентов ориентации фибры в зависимости от размеров сечения сжатого элемента

h/l_f	Значение K_n при b/l_f							
	0.5	1	2	3	5	10	20	Более 20
0,2	0,126	0,263	0,449	0,511	0,560	0,597	0,616	0,636
0,4	0,122	0,259	0,444	0,506	0,555	0,591	0,610	0,629
0,6	0,122	0,257	0,441	0,502	0,551	0,589	0,606	0,624
0,8	0,122	0,253	0,429	0,494	0,542	0,578	0,596	0,614
1,0	0,118	0,247	0,422	0,480	0,527	0,563	0,580	0,597
1,5	0,110	0,232	0,399	0,454	0,498	0,531	0,548	0,565
2	0,110	0,226	0,387	0,440	0,484	0,517	0,532	0,549
3	0,105	0,219	0,375	0,428	0,470	0,510	0,517	0,532
5	0,1	0,214	0,367	0,418	0,458	0,490	0,504	0,520
10	0,1	0,210	0,360	0,410	0,449	0,481	0,495	0,510
20	0,1	0,207	0,356	0,406	0,446	0,475	0,490	0,505
Более 20	0,1	0,205	0,353	0,401	0,442	0,470	0,485	0,5

Примечания:

1.) b и h – больший и меньший размеры сечения, перпендикулярного к направлению внешнего сжимающего усилия.

2.) Значения K_n даны для случаев, когда длина рассчитываемого элемента не менее $10 l_f$.

2.7.13. Расчет по прочности сечений, нормальных к продольной оси сталефибробетонного элемента, когда сила действует в плоскости оси симметрии, производится согласно основным положениям СНБ 5.03.01-02, пп.3.3-3.40 СНИП 2.03.03-85 с использованием приведенных в нем формул и с учетом положений пп.2.7.1–2.7.16 настоящих рекомендаций.

При этом расчёт сталефибробетонных элементов при только фибровом армировании ведется как армоцементных элементов с арматурой, приведенной к равномерно распределенной по сечению элемента (см. п.3.2 СНИП 2.03.03-85).

Расчет элементов при комбинированном армировании ведется как армоцементных элементов с комбинированным армированием (см.п.3.3–3.19

СНиП 2.03.03-85), с учетом изменений в расчетных формулах, приведенных в пп.2.7.14...2.7.18 настоящих рекомендаций, используя приведенные в них расчетные схемы усилий и эпюр напряжений в сечениях сталефибробетонных элементов.

2.7.14. При расчете по прочности сталефибробетонных конструкций фибровую арматуру следует принимать равномерно распределенной по сечению элемента с коэффициентом приведенного армирования по площади, определяемым по формулам:

$$\text{для растянутой зоны} \quad \rho_{fa} = \rho_{fv} \cdot k_{or}^2; \quad (9)$$

$$\text{для сжатой зоны} \quad \rho'_{fa} = \rho_{fv} \cdot k_n^2, \quad (10)$$

где k_{or} и k_n коэффициенты, принимаемые соответственно по таблицам 5, 6.

2.7.15. Расчет прочности нормальных сечений изгибаемых, внецентренно сжатых, центрально- и внецентренно растянутых сталефибробетонных элементов производят по формулам (1)...(5), (7)...(23) пп.3.5-3.13 СНиП 2.03.03-85 с заменой в них параметров и их значений, используемых для армоцемента, на соответствующие параметры и их значения для сталефибробетона в соответствии с таблицей 7.

Таблица 7 -Расчетные параметры, предусмотренные СНиП 2.03.03-85, заменяемые соответствующими параметрами настоящих рекомендаций

Параметры, заменяемые в формулах СНиП 2.03.03-85	Параметры, используемые для сталефибробетона
$R_m \cdot \mu_{ml}$	f_{fctd}
R_{cl} или $R_b + R_{mc} \cdot \mu_{ml}$	f_{fcd}
R_{cfl}	f_{fcdf}
R_{cwl}	f_{fcdw}

Другие обозначения и величины в указанных формулах СНиП 2.03.03-85 принимаются без изменений.

2.7.16. Значения параметров f_{fctd} , f_{fcd} , f_{fcdf} (для полки) и f_{fcdtw} , f_{fcdw} , f_{fcdf} (для ребра или стенки) определяют по пп. 2.7.7–2.7.12 настоящих рекомендаций с использованием в формулах (4)–(6) значений коэффициентов ориентации соответственно для отдельных частей сечения элемента: k_{nf} – для сжатой полки; k_{orf} – для растянутой полки; k_{orw} – для растянутой зоны сечения ребра или стенки; k_{nw} – для сжатой зоны сечения ребра или стенки.

2.7.17. При расчете сталефибробетонных конструкций по п.п.2.7.13–2.7.16 настоящих рекомендаций используются расчетные схемы внутренних усилий и напряжений, приведенные для элементов:

изгибаемых – на рисунках 2...5;
 внецентренно сжатых – на рисунках 6, 7;
 внецентренно растянутых – на рисунке 8, 9.

2.7.18. При расчете по прочности изгибаемых элементов сталефибробетонных конструкций рекомендуется соблюдать условие $x \leq \zeta_{\text{lim}} \cdot h$, где ζ_{lim} определяется согласно п.7.1.2.4 СНБ 5.03.01-02 с учетом замены f_{cd} на f_{fcd} и при $k_c = 0,80$.

Расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента

2.7.19. Расчет сталефибробетонных элементов по наклонным сечениям выполняют на действие: поперечной силы по наклонной полосе между наклонными трещинами; поперечной силы по наклонной трещине и изгибающего момента по наклонной трещине в соответствии с положениями пп.3.21–3.23 СНиП 2.03.03-85 и пп.2.7.20 – 2.7.22 настоящих рекомендаций.

2.7.20 Расчет сталефибробетонных элементов прямоугольного сечения на действие поперечной силы для обеспечения прочности по наклонной полосе между наклонными трещинами выполняют с учетом указаний и по формулам (44) и (46) СНиП 2.03.03-85. При этом значение φ_{wl} определяют по формуле:

$$\varphi_{wl} = 1 + 5 \frac{E_f}{E_{cm}} \rho_{faw} \quad (11)$$

где $\rho_{faw} = \rho_{fv} \cdot k_{nw}^2$ (k_{nw} – см. п.7.16 настоящих рекомендаций).

Значение правой части в формуле (45) СНиП 2.03.03-85 принимают не более 1,3.

2.7.21. Расчет сталефибробетонных элементов по прочности на действие поперечной силы по наклонной трещине выполняют с учетом указаний и по формулам (47)-(51) СНиП 2.03.03-85. При этом в формулах (48), (49), (50) и (51) производят замену величин:

Q_m на Q_{fc} ; q_{mw} на q_{fcd} , $R_{mw} \cdot \mu_{mw1}$ на f_{fctw} где f_{fctw} определяется по пп.2.7.15–2.7.16, 2.7.17 настоящих рекомендаций и формулам (4), (5) с заменой в них коэффициента k_{or} на k_{nw} (п.2.7.15).

2.7.22. Расчет сечений, наклонных к продольной оси сталефибробетонных элементов на действие изгибающего момента выполняют в соответствии с положениями п.3.23 и по формуле (52) СНиП 2.03.03-85.

При этом в формуле (52) производят замену величин: $R_m \cdot \mu_{mf1}$ на f_{fctf} ; $R_{mw} \cdot \mu_{mw1}$ на f_{fctw} где f_{fctf} ; и f_{fctw} – величины, определяемые по пп. 2.7.7-2.7.9 и 2.7.15 настоящих рекомендаций.

Расчет на продавливание

2.7.23. Расчет на продавливание плитных конструкций из сталефибробетона (без поперечной арматуры) рекомендуется производить по формуле (12)

$$F \leq 0,7 \cdot f_{ctd} \cdot u_m \cdot d \quad (12)$$

где: F – продавливающая сила; f_{ctd} – принимается в соответствии с пп.2.7.7–2.7.9 и 2.7.15 настоящих рекомендаций и по формулам (4), (5) с заменой в них коэффициента k_{or} на k_n ; d – полная высота сечения элемента; U_m – среднеарифметическое значений периметров верхнего и нижнего оснований пирамиды, образующейся при продавливании в пределах рабочей высоты сечения.

При определении u_m и F предполагается, что продавливание происходит по боковой поверхности пирамиды, меньшим основанием которой служит площадь действия продавливающей силы, а боковые грани наклонены под углом 45° к горизонтали.

Продавливающая сила F принимается равной силе, действующей на пирамиду продавливания, за вычетом нагрузок, приложенных к большему основанию пирамиды продавливания (считая по плоскости расположения растянутой арматуры) и сопротивляющихся продавливанию

Расчет на отрыв

2.7.24. Расчёт сталефибробетонных элементов на отрыв от действия нагрузки, приложенной к его нижней грани или в пределах высоты его сечения производится по указаниям п. 7.4.2 СНБ 5.03.01-02,

Расчет закладных деталей

2.7.25. Расчёт анкеров закладных деталей для сталефибробетонных конструкций производится в соответствии с указаниями п.12.1.2 СНБ 5.03.01-02.

При расчётах в формуле (12.5) СНБ 5.03.01-02 величина f_{cd} (прочность бетона) в ней заменяется величиной f_{fcd} (прочность сталефибробетона).

2.8. Расчет сталефибробетонных конструкций по предельным состояниям второй группы

2.8.1. Расчет сталефибробетонных конструкций по второй группе предельных состояний производится в соответствии с положениями СНиП 2.03.03-85 и указаниями настоящих рекомендаций.

Расчет по второй группе предельных состояний включает:

- расчет по образованию трещин;
- расчет по раскрытию трещин, нормальных и наклонных к продольной оси элемента;
- расчет по деформациям.

Расчет по закрытию трещин для сталефибробетонных конструкций не производится.

Расчет по образованию трещин

2.8.2. Расчет элементов сталефибробетонных конструкций по образованию трещин, нормальных и наклонных к продольной оси элемента, производят в соответствии с указаниями пп.4.1-4.2, 4.13 СНиП 2.03.03-85, как для армоцементных конструкций из бетона соответствующего вида и класса, а также согласно п. 2.8.3 настоящих рекомендаций.

2.8.3. Момент трещинообразования M_{crc} для сталефибробетонных элементов определяют по формуле (75) п.4.13 СНиП 2.03.03-85. При этом величину W_{pl} определяют по формуле

$$W_{pl} = \frac{2(J_{cc} + \alpha_f \cdot J_{fcI} + \alpha_f \cdot J_{ftI})}{h - x} + S_{ct} \quad (13)$$

где: J_{cc} , J_{fcI} и J_{ftI} – моменты инерции сжатой зоны бетона, площадей сечения фибровой или фибровой и стержневой (проволочной) арматуры, расположенной соответственно в сжатой и растянутой зонах сечения, относительно нулевой линии; S_{ct} – статический момент площади сечения растянутой зоны бетона относительно нулевой линии; а α_f – отношение модулей упругости фибровой арматуры E_f и бетона E_{cm} .

Положение нулевой линии определяют по формуле

$$S_{cc} + \alpha_f \cdot S_{fcI} - \alpha_f \cdot S_{ftI} = \frac{(h - x) \cdot A_{ct}}{2} \quad (14)$$

где: S_{cc} , S_{fcI} и S_{ftI} – статические моменты площадей сечения сжатой зоны бетона, площадей сечения фибровой или фибровой и стержневой (проволочной) арматуры, расположенной в сжатой и растянутой зонах сечения, относительно нулевой линии.

Значения J_{fcI} и J_{ftI} , S_{fcI} и S_{ftI} вычисляют с учетом коэффициентов фибрового армирования по площади ρ'_{fa} , ρ_{fa} и ρ_{faw} , определяемых по формулам

$$\rho'_{fa} = \rho'_{fjf} \cdot k_{nf}^2 \cdot k_{an} \quad (15)$$

$$\rho_{fa} = \rho_{nf} \cdot k_{orf}^2 \cdot k_{an}, \quad (16)$$

$$\rho_{faw} = \rho_{fjw} \cdot k_{orw}^2 \cdot k_{an} \quad (17)$$

Коэффициенты k_{nf} , k_{orf} и k_{orw} , учитывающие ориентацию фибр в полках и ребре, принимаются по таблице 5.

Значение коэффициента k_{an} определяется по формуле

$$k_{an} = 1 - \beta \cdot \frac{l_{fan}}{l_f} \quad (18)$$

где

$$\beta = \frac{M - 0,9 \cdot M_{crc}}{M_{lim}}$$

Здесь l_{fan} – см. формулу (3); M и M_{crc} – см. п.4.13 СНиП 2.03.03-85; M_{lim} – расчетный изгибающий момент (из расчета по предельным состояниям первой группы).

2.8.4. Элементы сталефибробетонных конструкций рассчитывают по раскрытию трещин:

нормальных к продольной оси элемента;

наклонных к продольной оси элемента.

Расчет ширины раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента

2.8.5. Ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента,

$$w_k = \delta \cdot \varphi_l \cdot \eta_{fI} \cdot \eta_{red} \frac{\sigma_f}{E_f} \cdot 20 \cdot (3,5 - \rho_{red}) \cdot \sqrt[3]{d_f}. \quad (19)$$

где: δ – коэффициент, принимаемый равным для элементов:

изгибаемых и внецентренно сжатых 1,0

растянутых 1,2;

φ_l – коэффициент, принимаемый равным при учете: кратковременных нагрузок и непродолжительного действия постоянных и длительных нагрузок... 1,00;

многократно повторяющейся нагрузки, а также продолжительного действия постоянных и длительных нагрузок для конструкций из бетона:

тяжелого 1,50;

мелкозернистого группы А.... 1,75.

Значение φ_l для мелкозернистого бетона в водонасыщенном состоянии умножают на коэффициент 0,8, а при попеременном водонасыщении и высушивании – на коэффициент 1,2;

η_{f1} – коэффициент, учитывающий влияние фибрового армирования, определяемый по формуле:

$$\eta_{f1} = \frac{0,5}{0,5 + m} \quad (20)$$

Значение коэффициента m определяется по формуле:

$$m = \frac{1}{\frac{40 \cdot d_f^2 \cdot (\rho_{fa} + 5 \cdot \rho_s)}{\eta_{red}^2 \cdot A} + 1}; \quad (21)$$

где: A – площадь поперечного сечения элемента (мм^2), трещиностойкость, которого определяется;

η_{red} – приведенный коэффициент армирования, определяемый по формуле:

$$\eta_{red} = \frac{\eta_{f2} \cdot \rho_{faw} + \eta_s \cdot \rho_s}{\rho_{faw} + \rho_s} \quad (22)$$

где η_{f2} – коэффициент, принимаемый для фибры, равным 1,0;

ρ_{faw} – определяется по формуле (17) п. 2.8.3;

η_s – коэффициент, принимаемый для: стержневой арматуры периодического профиля 1,0; стержневой арматуры гладкой 1,3; проволоочной арматуры периодического профиля 1,2; проволоочной арматуры гладкой 1,4;

σ_f – условные напряжения в крайнем растянутом волокне или приращение напряжений от действия внешней нагрузки (при наличии предварительного напряжения), определяемое по п.2.8.6 настоящих рекомендаций;

ρ_{red} – приведенный коэффициент армирования по площади сечения, определяемый по формуле:

$$\rho_{red} = \rho_{fan} + \rho_s, \quad (23)$$

но не более 0,02;

d_{red} – приведенный диаметр фибровой и стержневой арматуры, определяемый по формуле:

$$d_{red} = \frac{d_f^2 \cdot \rho_{faw} + d_s^2 \cdot \rho_s}{d_f \cdot \rho_{faw} + d_s \cdot \rho_s}, \quad (24)$$

2.8.6. Напряжение σ_f определяют по формулам (56)-(58) СНиП 2.03.03-85 и с учетом положений пп.4.5, 4.6 СНиП 2.03.03-85, пп.2.8.7 и 2.8.8 настоящих рекомендаций.

2.8.7. При расчете σ_f , как и для армоцементных конструкций, рассматривают сечение, приведенное к эквивалентному стальному сечению, с единой упругой характеристикой. В растянутой зоне к стальному сечению при-

водят только фибровую и стержневую (проволочную) арматуру с эквивалентной площадью сечения, а в сжатой зоне – арматуру и бетон с эквивалентными площадями сечения, приведенными к фибровой арматуре при $\alpha_s = E_s/E_f$ и $\alpha_c = E_{cm}/E_f$;

2.8.8. При определении σ_f в формулу (56) СНиП 2.03.03-85 вместо значения μ_m и подставляют значение ρ_{red} .

В формулах (57) и (58) СНиП 2.03.03-85 величину W_{sl} заменяют величиной W_{f1} , определяемой по формуле:

$$W_{f1} = \frac{J_{f1}}{1,3 \cdot y_c} \quad (25)$$

где J_{f1} – момент инерции приведенного сечения (см. п.2.8.7 настоящих рекомендаций);

y_c – расстояние от центра тяжести сечения, приведенного к стальному, до растянутой грани сечения.

Расчет ширины раскрытия трещин, наклонных к продольной оси элемента

2.8.9. Ширину раскрытия трещин, наклонных к продольной оси изгибаемых элементов, при фибровом и комбинированном армировании определяют по формуле:

$$w_{crc} = \varphi_l \cdot k_1 \cdot (h_w + 30 \cdot d_f) \frac{\eta_{f1}}{\rho_{faw}} \cdot \frac{k_2^2}{E_f^2}, \quad (26)$$

где φ_l – см. формулу (18); k_1 – коэффициент, принимаемый равным, $(20 - 1400 \cdot \rho_{faw}) \cdot 10^3$, η_{f1} – см. формулу (18); $\rho_{faw} = \rho_{fv} \cdot k_n^2$; (k_n – принимается по таблице 5);

$$k_2 = \frac{Q}{b_w \cdot h_w} \quad (27)$$

Здесь Q – наибольшая поперечная сила на рассматриваемом участке длины элемента от действующей нагрузки.

Расчет элементов сталефибробетонных конструкций по деформациям:

2.8.10. Деформации (прогибы, углы поворота) элементов сталефибробетонных конструкций вычисляют по формулам строительной механики, определяя входящие в них значения кривизны согласно п.2.8.14 настоящих рекомендаций. Величина кривизны и деформаций сталефибробетонных элементов отсчитывается от их начального состояния.

2.8.11. Кривизна сталефибробетонных элементов определяется:

а) для участков элемента, где в растянутой зоне не образуется трещины, нормальные к продольной оси элемента, – как для сплошного тела;

б) для участков элемента, где в растянутой зоне имеются трещины, нормальные к продольной оси, – как отношение разности средних деформаций крайнего волокна сжатой зоны бетона и крайнего волокна растянутой зоны (или продольной растянутой арматуры при комбинированном армировании к высоте сечения элемента (или рабочей высоте сечения)).

Элементы или участки элементов рассматриваются без трещин в растянутой зоне, если трещины не образуются при действии частого сочетания нагрузок по приложению А СНБ 5.03.01-02.

Определение кривизны сталефибробетонных элементов на участках без трещин в растянутой зоне

2.8.12. Полное значение кривизны изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов на участках, где образуются нормальные или наклонные к продольной оси элементы трещины, определяют по формуле:

$$\frac{1}{r} = \left(\frac{1}{r} \right)_1 + \left(\frac{1}{r} \right)_2 \quad (28)$$

где $\left(\frac{1}{r} \right)_1$ и $\left(\frac{1}{r} \right)_2$ – кривизны соответственно от кратковременной части переменных нагрузок и от совместного действия постоянных нагрузок и практически постоянной части переменных нагрузок, определяемые по формулам

$$\left(\frac{1}{r} \right)_1 = \frac{M}{B_{f1}} \quad (29)$$

$$\left(\frac{1}{r} \right)_2 = \frac{M \cdot \varphi_{b2}}{B_{f1}} \quad (30)$$

где M – момент от соответствующей внешней нагрузки относительно оси, нормальной к плоскости действия момента и проходящей через центр тяжести приведенного сечения; B_{f1} – жесткость сталефибробетонного элемента при кратковременном действии нагрузки, определяемая по формуле:

$$B_{f1} = 0,85 \cdot E_{cm} \cdot J_1, \quad (31)$$

где E_{cm} – модуль упругости бетона, принимаемый по СНБ 5.03.01-02;

J_1 – момент инерции сечения, приведенного к бетонному и включающего в себя площадь бетона, фибровой или фибровой и стержневой арматуры, приведенной к бетону.

При этом коэффициент приведения для фибровой арматуры $\alpha_f = E_f / E_{cm}$, для стержневой арматуры $\alpha_s = E_s / E_{cm}$, а приведенные проценты армирования фибровой и стержневой (проволочной) арматурой определяются в соответствии с п. 2.8.3 формул (15) – (18) настоящих рекомендаций;

φ_{b2} – коэффициент, учитывающий влияние длительной ползучести бетона и принимаемый для: любого вида бетона-матрицы при непродолжительном действии нагрузки равным 1,0; тяжелого бетона-матрицы при продолжительном действии нагрузки равным 2,0 и 3,0 при влажности воздуха окружающей среды 40-75 % и ниже 40 % соответственно; мелкозернистого бетона-матрицы группы А при продолжительном действии нагрузки равным 2,6 и 3,9 при влажности воздуха окружающей среды 40-75 % и ниже 40 % соответственно.

Определение кривизны сталефибробетонных элементов на участках с трещинами в растянутой зоне

2.8.13. Кривизны изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых сталефибробетонных элементов прямоугольного, таврового и двутаврового сечений на участках, где образуются нормальные к продольной оси элемента трещины, определяют по указаниям и с использованием формул, приведенных в пп. 4.12-4,15 СНиП 2.03.03-85 с учетом п.2.8.14 настоящих рекомендаций.

2.8.14. Полное значение кривизны сталефибробетонных элементов определяют в соответствии с п.4.12 СНиП 2.03.03-85 со следующими изменениями:

значения ρ в формуле (72) СНиП 2.03.03-85 заменяют на $\left(\frac{I}{r}\right)$ – с соответст-

вующими индексами: $\left(\frac{I}{r}\right)_{tot}$, $\left(\frac{I}{r}\right)_5$, $\left(\frac{I}{r}\right)_6$ и $\left(\frac{I}{r}\right)_7$, а ρ_4 принимают равной 0.;

определение величин $\left(\frac{I}{r}\right)_5$, $\left(\frac{I}{r}\right)_6$ и $\left(\frac{I}{r}\right)_7$, производят по формуле (73) СНиП

2.03.03-85, при этом: значение B_{f1} определяют по формуле (29) настоящих рекомендаций с уменьшением на коэффициент $1/\varphi_{c2}$,

значение B_{f3} при кратковременном действии нагрузки принимают равным:

$$B_{f3} = \frac{0,9 \cdot E_f \cdot J_{f1}}{1,3} \quad (36)$$

значение B_{f3} при длительном действии нагрузки принимают равным:

$$B_{f3} = \frac{0,5 \cdot E_f \cdot J_{f1}}{1,3} \quad (37)$$

значение J_{f1} определяют согласно п. 2.8.7 настоящих рекомендаций.

Высоту сжатой зоны определяют по формуле:

$$x = h - \frac{S_c}{A_{red} + 0,5 \cdot A_{ov}} \quad (38)$$

где S_c – статический момент приведенной к бетону площади сечения без учета площади бетона растянутых свесов полки относительно растянутой грани;

A_{red} – площадь приведенного к бетону сечения, включающая в себя площадь бетона сжатой и растянутой зон (без учета площади растянутых уширений), стержневой арматуры, приведенной к бетону при $\alpha_s = E_s / E_{cm}$, площадь фибровой арматуры, приведенной к бетону при $\alpha_f = E_f / E_{cm}$, A_{ov} – площадь уширений растянутой зоны бетона.

Расчет прогибов сталефибробетонных элементов

2.8.15. Прогибы a_k сталефибробетонных элементов определяют в соответствии с указаниями п.8.3.2 СНБ 5.03.01-02, используя результаты расчетов по пп.2.8.11-2.8.14 настоящих рекомендаций.

2.9. Требования по конструированию

2.9.1. При проектировании сталефибробетонных конструкций для обеспечения условий их изготовления, совместной работы бетона и арматуры и требуемой долговечности рекомендуется руководствоваться следующими положениями.

2.9.2. Размеры сечений элементов конструкций рекомендуется принимать, исходя из следующих условий:

а) толщина плоских плит или полок ребристых плит сборных конструкций рекомендуется не более 30 мм;

б) толщину полок или стенок элементов рекомендуется принимать не менее 15 мм, а для плит междуэтажных перекрытий – не менее 30 мм.

2.9.3. При вертикальном изготовлении конструкций ширину ребра по верху, включая вут, рекомендуется принимать, больше ширины ребра по низу на размер не менее $0,5l_f$.

2.9.4. Сопряжение ребер конструкции с полками рекомендуется принимать по радиусу не менее $0,6l_f$ или с устройством вута с размером проекции не менее $0,75l_f$.

2.9.5. При проектировании конструкций следует сочетать размер сечений элементов, размеры фибр и коэффициент фибрового армирования таким образом, чтобы минимальная площадь поперечного сечения элемента или его части A_{min} отвечала условию

$$A_{min} \geq \frac{4d_f^2}{\rho_{fv} \cdot k_{or}} \quad (39)$$

2.9.6. Коэффициент фибрового армирования по объему рекомендуется принимать в пределах $0,005 \leq \rho_{fv} \leq 0,020$ для конструкций, работающих на растяжение, изгиб и сжатие.

Допускается при экономическом обосновании принимать $\rho_{fv} > 0,020$ для конструкций, подверженных ударным, истирающим, температурным воздействиям, или при предъявлении к конструкциям повышенных требований к трещиностойкости, но не более 0,025.

2.9.7. Минимальные значения коэффициента фибрового армирования рекомендуется принимать, соблюдая следующее условие

$$\rho_{fv, \min} = \frac{1,5 \cdot C \cdot f_{ctd}}{f_{fd} \cdot k_{or}^2 \cdot \left(1 - \frac{30}{f_{fd}} - \frac{l_{fan}}{l_f} \right)} \quad (40)$$

где C – коэффициент, принимаемый равным 1,0 для элементов, работающих при осевом и внецентренном растяжении с малыми эксцентриситетами, и 0,6 – для изгибаемых элементов.

2.9.8. Для несущих конструкций следует применять комбинированное армирование.

2.9.9. Расстояние между отдельными арматурными стержнями или прядями, располагаемыми в верхней зоне поперечных сечений, рекомендуется принимать не менее 30 мм.

2.9.10. Длина зоны анкеровки стержневой или проволоочной арматуры при комбинированном армировании должна приниматься по указаниям раздела 11 СНБ 5.03.01-02.

2.9.11. Толщина защитного слоя сталефибробетона до арматуры при условии обеспечения его равномерного фибрового армирования принимается согласно п.5.4 СНИП 2.03.03-85.

2.9.12. Радиус свободного погиба r свежееотформованного листа при изготовлении сталефибробетонных конструкций во избежание разрывов и сдвигов рекомендуется принимать не меньше $3t$ и $100d_f$.

При специальных устройствах листогибочного поддона или последующем (повторном) вибрировании радиус погиба может быть принят меньшим по экспериментальным данным.

2.9.13. Толщину плит или стенок тонкостенных конструкций рекомендуется принимать не менее $1/200$ их свободного пролета.

В слоистых элементах, в которых утеплитель может содействовать повышению устойчивости плит, их толщина может быть менее $1/200$ их наибольшего размера или расстояния между ребрами.

При этом принятая толщина должна быть обоснована в соответствующем порядке.

3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА И ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

3.1. Требования к материалам при подборе состава

3.1.1. Цемент, заполнители, фибра, химические добавки, вода для приготовления бетонной смеси должны отвечать требованиям государственных и отраслевых стандартов и технических условий на эти материалы.

До начала работ по подбору состава бетона согласно СТБ1182-99 и приготовлению опытных замесов следует провести испытания материалов в соответствии с действующими на территории Республики Беларусь стандартами, техническими условиями и настоящими Рекомендациями.

При несоответствии материалов требованиям указанной нормативно-технической документации необходимо оценить их качество испытанием в бетонах и составить технико-экономическое обоснование возможности и целесообразности их применения.

3.1.2. Для приготовления сталефибробетона следует применять бездобавочные портландцементы или портландцементы с минеральной добавкой до 20%, отвечающие требованиям ГОСТ 10178-85 с активностью не менее 40 МПа.

Предпочтительными для монолитного строительства, а также беспроемной и малоэнергоёмкой технологии производства железобетонных изделий являются бездобавочные портландцементы ПЦ500-Д0, содержащие в клинкере трехкальциевого силиката более 55 % и трехкальциевого алюмината – 5...9%.

3.1.3. Для снижения расхода цемента, увеличения объема цементного теста в смеси, уменьшения тепловыделения, улучшения физико-технических и механических свойств бетона могут использоваться тонкодисперсные вещества – **золы уноса**, отвечающие требованиям ГОСТ 25818-91, **молотые шлаки**, **доломиты** другие минеральные добавки, имеющие соответствующую нормативно – техническую документацию, оговаривающую технические требования и применение в бетонах.

3.1.4. В целях получения бетонов с классами прочности при сжатии С40/50 и выше с удобоукладываемостью соответствующей высокоподвижной, литой или самоуплотняющейся смеси СУБ (SCC) рекомендуется применять микрокремнезем МКУ-85 (ТУ РФ 5743-048-02495332-96) или добавки на его основе (МБ10-01...МБ 30-01) в количестве 5...15 % от массы вяжущего.

3.1.5. В качестве мелких заполнителей следует применять кварцевые пески по ГОСТ 8736-93 и настоящим Рекомендациям:

- природные (в естественном состоянии), природные фракционированные и природные обогащенные;
- дробленые и дробленые фракционированные.

Рекомендуется применять средние или крупные пески I-го класса в соответствии требованиями ГОСТ 8736-93 с модулем крупности 2,0...3,0.

3.1.6. Допускается применение крупного заполнителя с крупностью зерен до 10 мм. Для отдельных конструкций (банковские хранилища, полы и др.) допускается применение щебня фракции 5...20 мм. Целесообразность их применения следует подтверждать экспериментальным путем.

В качестве крупного заполнителя следует применять гранитный щебень Микашевичского камнеобрабатывающего завода, отвечающий требованиям ГОСТ 8267-93.

3.1.7. Максимальный размер фракций заполнителя для сталефибробетона не должен превышать 0,7 длины фибры.

3.1.8. В случае применения заполнителя максимальной крупности 10 мм его массовая доля в составе смеси заполнителей не должна превышать 65 %; при крупности 20 мм – 60 %.

3.1.9. Для фибрового армирования сталефибробетонных конструкций принимается фибра соответствующая ТУ ВУ 400074854.628-2009.

3.1.10. Вид (анкерная, прямая, волновая) размеры стальной фибры установлены в ТУ ВУ 400074854.628-2009.

3.1.11. Для обеспечения заданной удобоукладываемости сталефибробетонной смеси и получения бетонной матрицы повышенной и высокой прочности следует применять пластифицирующие добавки 1-й группы по СТБ 1112-98.

Рекомендуется использование, следующих, производимых в РБ суперпластификаторов: **СМ-1** по ТУ ВУ 100138369.466-2006, **СМ-2** по ТУ ВУ 100138369.465-2006; продукции ОАО «Полипласт» добавки **СП-1 (СП-3)**, **«Реламикс»**, продукции ООО «Компонент» г. Владимир добавка **С-3**.

3.1.12. Для обеспечения работ в зимних условиях в состав монолитного сталефибробетона может быть использованы комплексные добавки ОАО «Полипласт» - **«Криопласт СП15-1»**.

3.1.13. При необходимости получения высокопрочных сталефибробетонов класса С35/45 и более, а также обеспечения высокой подвижности (с показателем расплыва конуса РК более 50 см) используются гиперпластификаторы на основе поликарбоксилатов, фирмы **Sika** (Швейцария) **Visco-crete VC5600**, **Стахемент-2000М-Ж30** (Беларусь), **ГП-1** по ТУ ВУ 100230600.447-2006 (Беларусь).

3.1.14. Количество суперпластификаторов С-3 (СП-1), СМ-1 рекомендуется принимать в зависимости от завода-изготовителя цемента и заданного класса бетона.

Для цементов Кричевского и Волковысских цементных заводов:

0,6...0,7 % от массы вяжущего (МВ) для рядовых бетонов;

0,75...0,85 % от МВ для высокопрочных или высокоподвижных бетонов.

Для цемента Костюковичского завода:

0,7...0,8 % от МВ для рядовых бетонов;

0,85...1,0 % от МВ для высокопрочных или высокоподвижных бетонов.

3.1.15. Рациональное содержание гиперпластификаторов типа Sika VC5600, Стахемент-2000М ж30 и ГП-1 находится в пределах 0,25...0,35% (по сухому веществу) от массы вяжущего.

3.1.16. При необходимости получения сталефибробетонов с высокими показателями по сохраняемости смеси, согласно СТБ 1035-96 рекомендуется использование добавки СМ-2 ТУ ВУ 100138369.465-2006 в количестве 0,8...1,0% (по сухому веществу).

3.1.17. Для интенсификации процессов твердения бетона в раннем возрасте, что характерно для беспрогревных или малоэнергоёмких технологий производства конструкций, следует применять комплексные модификаторы типа «Реламикс», «Стахемент-ФЖ35» в максимальных дозировках (до 1,0% от МЦ) или комплексные добавки, содержащие два и более компонентов (пластификатор+ускоритель и т.д.).

3.1.18. В случаях использования монолитного сталефибробетона в зимний период года в зависимости от значения ожидаемой отрицательной температуры окружающей среды следует использовать добавку «Криопласт СП15-1» в максимальной дозировке до 2,5...3,0% от МЦ (массы цемента по сухому веществу).

3.1.19. При применении химических добавок следует руководствоваться требованиями: Пособия к СНиП 3.09.01-85: "Пособия по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий" (М.:Стройиздат, 1989) и "Пособия П1-99. Применение добавок в бетоне" (Минстройархитектуры РБ, Минск, 2000), «Каталога химических добавок для бетона и строительных растворов» (Минстройархитектуры, РУП «Белстройцентр», Минск, 2008 г.), ТКП 45-5.03-21-2006 (02250) "Бетонные работы при отрицательных температурах воздуха. Правила производства", а также другой справочной литературой или технической документацией по применению в бетоне химических модификаторов.

3.1.20. При выборе добавок и их дозировки следует учитывать следующие технологические особенности сталефибробетона:

- увеличенный расход цемента и ограниченное содержание крупного заполнителя повышают эффективность пластифицирующих добавок, а эффективность воздухововлекающих и ускоряющих твердение уменьшается;
- металлическая фибровая арматура с большой суммарной поверхностью требует создания ингибирующих свойств матрицы;
- введение добавок целесообразно для небольшого повышения морозостойкости сталефибробетона.

3.1.21. Вода для затворения бетонной смеси должна соответствовать требованиям СТБ 1114-98.

3.1.22. Рекомендуемые составы сталефибробетона на крупном и мелком заполнителе различных классов приведены в Приложение В.

3.2. ПОДБОР СОСТАВА СТАЛЕФИБРОБЕТОНА

3.2.1. Задание на подбор состава бетона разрабатывается в соответствии с СТБ 1182-99. Задание составляется для конструкций конкретной номенклатуры, изготавливаемых из бетона одного вида и качества по определенной технологии. Если по одной технологии изготавливают конструкции (изделия) из бетонов одного или разных, но близких классов по прочности, то для них можно составить общее задание.

3.2.2. Задание на подбор состава разрабатывает технологическая служба предприятия-изготовителя сталефибробетона на основе проектной документации, нормативных документов и конкретных условий производства.

3.2.3. Задание содержит нормируемые показатели качества бетона в соответствии со стандартами, техническими условиями и проектной документацией на конструкции, для которых предназначен бетон, в том числе:

- класс бетона по прочности на сжатие и принятый коэффициент вариации изготовителя по ГОСТ 18105;
- классы (марки) бетона по прочности на растяжение, по морозостойкости, водонепроницаемости, истираемости и другим показателям качества, если они предусмотрены в нормативно-технической документации.
- требуемые показатели качества сталефибробетонной смеси в соответствии с СТБ 1035-96, П-1 к СНиП 3.09.01-85, СНиП 3.03.01-87 и др., включая удобоукладываемость, место и время ее определения (допустимая потеря удобоукладываемости во времени – группа по сохранности S_t);
- расслаиваемость и другие показатели, предусмотренные в технической документации и Рекомендациях.
- технологические условия производства в соответствии с нормативно-техническими документами (технологические карты, проект организации работ) и фактически имеющиеся на предприятии, в том числе:
- сроки и условия твердения бетона до достижения их заданных показателей качества, включая режим ускоренного твердения;
- способы и режимы приготовления сталефибробетонной смеси (например, последовательность и способы ввода компонентов, тип применяемого смесителя, время перемешивания и т.д.);
- особенности технологического процесса (немедленная распалубка, двухстадийное твердение, дополнительная отделка и т.д.);
- способы и режимы уплотнения сталефибробетонной смеси в конструкциях.

- ограничения по составу бетона и качеству материалов, предусмотренные технической документацией, в том числе: минимальный или максимальный расход цемента, заполнителей, стальной фибры, воды и добавок; максимальная крупность заполнителей; максимальное или минимальное значение цементно-водного отношения.
- характеристики материалов, используемых для приготовления бетонов, в том числе:

фибра (длина, приведенный диаметр);
 вид цемента, его марка и минералогический состав;
 вид тонкодисперсного наполнителя;
 вид и фракция заполнителя;
 вид и характеристики химической добавки.

Для проектирования начальных составов бетона необходимо принять или определить нижеследующие исходные данные.

3.2.4. Класс бетона по прочности на сжатие и удобоукладываемость сталефибробетонной смеси (подвижность ОК или расплыв конуса РК в см).

3.2.5. Объемное содержание фибры в бетоне в долях единицы μ_f , длину фибры l_f , приведенный диаметр фибры d_f , плотность фибры ρ_f в кг/м³.

3.2.6. Плотность зерен ρ_n в кг/м³, зерновой состав удельную поверхность песка $S_{уд, n}$ в м²/кг и модуль крупности $M_{кр}$ песка по ГОСТ 8735-88.

3.2.7. Пустотность песка $m_{п.п}$ в виброуплотненном состоянии, определенная при его уплотнении на стандартном вибростоле в течение 3 мин. в мерных цилиндрах, применяемых по ГОСТ 8269.0-97 и ГОСТ 8735-88;

3.2.8. Пустотность смеси сухих заполнителей (в случае применения крупного заполнителя) в виброуплотненном состоянии $m_{н.з}$. С этой целью крупный и мелкий заполнители общей массой 10 кг отвешиваются в соотношении n , определяемом по формуле:

$$n = \frac{700 - C_{np} \cdot (1 + r_d)}{800 - 0,9 \cdot C_{np} \cdot (1 + r_d)} + 0,15 M_{кр}, \quad (41)$$

Материал перемешивается и засыпается двумя слоями в мерный цилиндр объемом 8-10 л. Каждый слой штыкуется 25 раз. На поверхность смеси укладывается диск массой $3,0 \pm 0,2$ кг.

Уложенный материал уплотняется на лабораторном вибростоле в течение 30 с. После замеряется высота смеси h , смесь высыпается, перемешивается и производится повторное определение. Если высота смеси по двум опытам отличается более чем на 2 мм, следует повторить опыт.

За расчетную высоту смеси для определения ее объема в виброуплотненном состоянии принимается среднее значение из всех опытов.

Далее вычисляется плотность (объемная масса) смеси заполнителей и ее пустотность $m_{п.з.}$.

3.2.9. Содержание химических добавок в процентах от массы цемента $m_{х.д.}$ и активность цемента R_c , МПа.

3.2.10. Содержание дисперсного наполнителя (ДН) в виде относительной массовой доли в вяжущем $r_{д.н.}$.

3.2.11. Коэффициент нормальной густоты цементного теста (ГОСТ 310.3-76). При наличии в композиции дисперсного наполнителя (минеральной добавки) $K_{нз}$ определяется для вяжущего (Ц+ДН) с принятой величиной $r_{д.н.}$.

3.2.12. Коэффициент нормальной густоты пластифицированного цементного теста $K_{нз.пл.}$. Определяется опытным путем для расчета значения $K_{пл}$ – относительного снижения нормальной густоты цементного теста при введении химической добавки в количестве $m_{х.д.}$:

$$K_{пл} = \frac{K_{нз} - K_{нз.пл}}{K_{нз}} \quad (42)$$

3.2.13. Значение $K_{пл}$ допускается принимать не прибегая к определению $K_{нз.пл}$ и формуле (42), если известна зависимость $K_{пл}=f(m_{х.д.})$ для используемого химического модификатора. С целью нахождения данной зависимости, следует экспериментально определить $K_{нз.пл}$ для 5 значений $m_{х.д.}$ (от 0 до $m_{ах}$ при 3 промежуточных точках) и рассчитать для каждого из них $K_{пл}$ по формуле (42). Рекомендуется корректировать функцию $K_{пл}=f(m_{х.д.})$ опытным путем при изменении вида применяемого цемента.

Для ряда пластифицирующих добавок зависимость $K_{пл}$ от $m_{х.д.}$ получена в виде:

$$K_{пл} = \frac{k_1 m_{х.д.} (1 - k_2 k_3 m_{х.д.})}{K_{нз}} \quad (43)$$

Коэффициенты в формуле (43) соответственно равны:

для модификатора С-3: $k_1=1 \cdot 10^{-1}$, $k_2=0,45$;

для гиперпластификатора Стахемент-2000М: $k_1=2,3 \cdot 10^{-1}$, $k_2=0,7$;

для гиперпластификатора ГП-1: $k_1=2,57 \cdot 10^{-1}$, $k_2=0,74$.

$k_3 = 1$ при использовании цемента ПЦ-Д0 и $k_3 = 1,15$ для ПЦ-Д20.

3.2.14. Значение коэффициента $k_{ТО}$, учитывающего изменение прочности бетона, подвергнутого тепловой обработке или беспрогревному выдерживанию с использованием экзотермии цемента, по сравнению с прочностью бетона того же состава, твердевшего в нормальных условиях. С этой целью следует изготовить шесть образцов-кубов с ребром 10 см из бетонной смеси, состав которой должен обеспечить $\pm 15\%$ от заданной марки по удобоукладываемости и класса бетона по прочности.

Три образца подвергаются ТО (режимы устанавливаются технологической службой предприятия-изготовителя) с последующим хранением в

нормальных условиях. Три другие куба помещаются в НУ сразу после изготовления. По отношению прочности на сжатие (28 суток) бетона прошедшего тепловую обработку к аналогичному показателю бетона хранившегося в НУ, определяют коэффициент $k_{ТО}$:

$$k_{ТО} = \frac{R_{ТО}}{R_{НУ}}. \quad (44)$$

Для данного класса бетона $k_{ТО}$ следует определять экспериментально при изменении вида цемента, химических и миндобавок, режимов ТО.

3.2.15. Значение коэффициента $k_{д.н}$, показывающего величину изменения прочности композиции с дисперсным наполнителем по отношению к контрольному составу без ДН при равных водо-вяжущих отношениях:

$$k_{д.н} = \frac{R_{д.н,i}}{R_{д.н,0}}, \quad (45)$$

где $R_{д.н,i}$, $R_{д.н,0}$ – прочность бетона с содержанием дисперсного наполнителя, соответственно, в i % и контрольного без ДН.

Величина $k_{д.н}$ находится как зависимость от относительной массовой доли дисперсного наполнителя в вяжущем бетона $r_{д.н} = ДН / (ДН + Ц)$; для этого рекомендуется использовать степенную функцию или полином.

С этой целью, следует изготовить по шесть образцов-кубов с ребром 10 см из бетона трех составов с содержанием дисперсного наполнителя – 0%, 7,5% и 15% от массы вяжущего (шаг и диапазон ввода ДН может быть изменен) при фиксированном $B/(Ц+ДН)$. Первым проектируется состав с $r_{д.н}=0$, который должен обеспечить $\pm 15\%$ от заданной марки по удобоукладываемости и класс бетона по прочности на сжатие.

Три образца каждого состава подвергаются ТО (режимы ТО устанавливаются технологической службой изготовителя) с последующим хранением в нормальных условиях. Три других куба помещаются в НУ сразу после их изготовления. По результатам образцов на сжатие в возрасте 28 суток, применяя формулу (45), в аналитической или графической формах получают зависимости $k_{д.н} = f(r_{д.н})$ для ТО и НУ. В случае если значения $k_{д.н}$ при тепловой обработке и хранении в нормальных условиях для каждого $r_{д.н}$ отличаются не более чем на 15%, целесообразно получить усредненную формулу $k_{д.н} = f(r_{д.н})$ для любых условий выдерживания.

Зависимости $k_{д.н} = f(r_{д.н})$ необходимо находить экспериментально при изменении вида и дисперсности ДН, цемента, химических модификаторов.

В первом приближении функция $k_{д.н}$ от относительной массовой доли наполнителя в вяжущем $r_{д.н}$ (при значениях $r_{д.н} \leq 0,2$) может быть принята в виде:

$$\begin{aligned} \text{для микрокремнезема МКУ-85: } k_{д.н,МК} &= 1 + 0,45 \cdot r_{д.н}^{0,6}; \\ \text{для доломита ОАО «Доломит» } k_{д.н,дол} &= 1 + 0,27 \cdot r_{д.н} - 3,3 \cdot r_{д.н}^2 + 2,8 \cdot r_{д.н}^3. \end{aligned}$$

Проектирование состава сталефибробетона

3.2.16. Алгоритм проектирования состава сталефибробетона состоит в предварительном определении состава исходной бетонной смеси (матрицы), которая обеспечивает заданные удобоукладываемость и класс бетона на сжатие, с последующей корректировкой, учитывающей влияние дисперсного армирования на подвижность смеси.

3.2.17. Проектирование состава исходного тяжелого бетона может осуществляться по любой из известных методик.

Применительно для сталефибробетона в настоящем документе разработана методика подбора композиций, основанная на мелкозернистой матрице (МЗС).

В основу положена формула прочности, имеющая вид:

$$R_{\sigma} = R_u \cdot k_{TO} \cdot k_{\partial.н} \cdot k_{ц.к} \left(0,5 \frac{Ц}{B} - 0,3 \right), \quad (46)$$

где $k_{ц.к}$, k_{TO} , $k_{\partial.н}$ – коэффициенты соответственно объемного содержания цементного камня в бетоне, тепловой обработки и дисперсного наполнителя.

Коэффициенты k_{TO} и $k_{\partial.н}$ определяются согласно пунктам 3.2.14 и 3.2.15

Коэффициент объемного содержания цементного камня в бетоне $k_{ц.к}$ рассчитывается по формуле:

$$k_{ц.к} = 1 - 10 \left(m_{ц.к} - 0,5 \left[1,4 - \frac{B}{Ц} \right] \right)^2, \quad (47)$$

где $m_{ц.к}$ – объёмное содержание цементного камня в бетонной смеси:

$$m_{ц.к} = Ц / \rho_u + B / \rho_v. \quad (48)$$

В формулах (46–48) под $Ц$ и ρ_u подразумевают массу и истинную плотность используемого вяжущего. В случае применения дисперсного наполнителя предварительно принимают или определяют параметры $r_{\partial.н}$, $k_{\partial.н}$, $\rho_{\partial.н}$.

3.2.18. Рассчитывают предварительное цементно-водное отношение $(Ц/В)'$, необходимое для получения заданной прочности исходной бетонной матрицы:

$$\left(\frac{Ц}{B} \right)' = 2 \left(\frac{R_{\sigma}}{R_u \cdot k_{TO} \cdot k_{\partial.н}} + 0,3 \right), \quad (49)$$

где R_b – средняя прочность бетона, соответствующая заданному классу по прочности на сжатие, МПа.

3.2.19. Определяют предварительный расход цемента в матрице C' по формуле:

$$C' = \left(C_{табл} + 20 \left(\frac{C}{B} \right) \left[12 + M_{кр} (M_{кр} - 7) \right] \right) (1 - K_{пл}), \quad (50)$$

где $M_{кр}$ – модуль крупности песка;

$C_{табл}$ – принимается в зависимости от класса МЗБ на сжатие и марки по удобоукладываемости смеси по таблице 8.

Таблица 8

Класс бетона на сжатие по СТБ1544-2005	Марка смеси по удобоукладываемости			
	П1	П2	П3	П4
1	2	3	4	5
C12/15	320	350	370	390
C16/20	380	410	440	470
C20/25	440	470	500	530
C25/30	490	520	560	600
C30/37	580	620	660	710
C35/45	660	730	780	830

3.2.20. Находят предварительный расход воды в матрице B' по формуле:

$$B' = [410 + 20M_{кр} (M_{кр} - 7) + 0,085 * OK(59 - OK) + (0,1C' - 35) + 400(K_{нз} - 0,24)] \cdot (1 - K_{пл}), \quad (51)$$

где $M_{кр}$ – модуль крупности песка;

OK – осадка конуса бетонной смеси;

$K_{нз}$ – коэффициент нормальной густоты цементного теста;

$K_{пл}$ – относительное снижение нормальной густоты цементного теста при введении химической добавки (определяется согласно пункту 3.2.13).

3.2.21. Рассчитывают предварительное объёмное содержание цементного теста/камня в бетонной смеси/бетоне $m'_{ц.к}$ по зависимости:

$$m'_{ц.к} = \frac{C'}{\rho_{ц}} + \frac{B'}{\rho_{в}}, \quad (52)$$

где $\rho_s = 1000 \text{ кг/м}^3$.

3.2.22. Определяют объёмную концентрацию цементного теста, находящегося в межзерновом пространстве заполнителей $m_{T.2}$ и объёмную концентрацию цементного теста, идущего на раздвижку зёрен заполнителя и воды, иммобилизованной им, $m_{T.1}$, по формулам:

$$m'_{T.1} = m'_{ц.к} - m_{T.2}; \quad (53)$$

$$m_{T.2} = m_{n.n}. \quad (54)$$

3.2.23. Дисперсная арматура при введении в бетонную смесь влияет на пустотность и удельную поверхность смеси заполнителей, при этом изменяется объём цементного теста, необходимый для заполнения пустот и покрытия поверхности заполнителей плёнкой цементного теста.

Предварительное объёмное содержание цементного теста в сталефибробетонной смеси, необходимое для формирования оптимальной структуры композита, вычисляют по формуле:

$$m'_{ц.к,f} = k_{1,f} \cdot m'_{T.1} + (1 + k_{2,f} \cdot k_{3,f}) \times m'_{T.2}, \quad (55)$$

где $k_{1,f}$ – коэффициент, равный отношению площади поверхности смеси песок+фибра по сравнению с площадью поверхности песка исходной мелкозернистой матрицы;

$k_{2,f}$ – коэффициент, учитывающий относительное изменение пустотности песка (смеси заполнителей) при введении стальной фибры;

$k_{3,f}$ – коэффициент, учитывающий влияние подвижности (ОК) сталефибробетонной смеси на требуемую величину объёма цементного теста.

Зависимость по расчёту коэффициента k_1 имеет вид:

$$k_{1,f} = \frac{S_f + S_n}{S_n} = 1 - \frac{\mu_f \rho_f}{\Pi'} + \frac{S_{f,y\partial} \Phi}{S_{n,y\partial} \Pi'}, \quad (56)$$

где S_n и S_f – площадь поверхности песка и фибры (м^2) в кубическом метре сталефибробетона;

$S_{y\partial, n}$ – удельная поверхность песка рассчитываемая по формуле:

Φ – расход фибры в кг;

Π' – предварительный расход песка, кг.

$$S_{n,y\partial} = 9a_{2,5} + 20a_{1,25} + 37a_{0,63} + 72a_{0,315} + 141a_{0,14} + 1200a_{<0,14}, \quad (57)$$

где a_i – частные остатки отсева песка в долях единицы.

$S_{y\partial, f}$ – удельная поверхность дисперсной арматуры:

$$S_{f,yo} = \frac{2l_f + d_f}{3900l_f d_f}, \quad (58)$$

где – d_f ; l_f диаметр и длина фибры.

Зависимость по расчёту коэффициента $k_{2,f}$ для фибры БМЗ имеет вид:

$$k_{2,f} = \frac{m_{n.(n+f)} - m_{n.n}}{m_{n.n}}, \quad (59)$$

где Φ и Π' – соответственно расход фибры и предварительный расход песка в сталефибробетонной смеси в кг/м³, рассчитываемые по формулам:

$$\Phi = \mu_f \rho_f; \quad (60)$$

$$\Pi' = \rho_n (1 - m_{u.k}' - \mu_f) \quad (61)$$

3.2.24. Зависимость по расчёту коэффициента $k_{3,f}$ имеет вид двухступенной полиномиальной функции:

$$k_{3,f} = 0,95 + 0,13 \times \mu \cdot 10^2, \quad (62)$$

где μ – процент армирования сталефибробетона по объему в относительных единицах (принимается 0,005...0,03):

3.2.25. Определяют коэффициент влияния объёмного содержания цементного камня в сталефибробетоне:

$$k_{u.k} = 1 - 10 \left(m_{u.k,f}' - 0,5 \left[1,4 - 1 / \left(\frac{\Pi}{B} \right)' \right] \right)^2. \quad (63)$$

3.2.26. Рассчитывают цементно-водное отношение $(\Pi/B)_f$, необходимое для получения заданной прочности сталефибробетона:

$$\left(\frac{\Pi}{B} \right)_f = 2 \left(\frac{R_{\sigma}}{R_u \cdot k_{TO} \cdot k_{\sigma.n} \cdot k_{u.k}} + 0,27 \right). \quad (64)$$

3.2.27. Определяют уточненный расход цемента в матрице Π'' по зависимости:

$$\Pi'' = \left(\frac{\Pi}{B} \right)_f \cdot B', \quad (65)$$

3.2.28. Рассчитывают уточнённое объёмное содержание цементного теста/камня в матрице $m''_{ц.к}$ по зависимости:

$$m''_{ц.к} = \frac{Ц''}{\rho_{ц}} + \frac{B'}{\rho_{в}}. \quad (66)$$

3.2.29. Определяют уточнённую объёмную концентрацию цементного теста, идущего на раздвижку зёрен заполнителя и воды, иммобилизованной им, $m''_{T.1}$:

$$m''_{T.1} = m''_{ц.к} - m_{T.2}; \quad (67)$$

3.2.30. Объёмное содержание цементного теста в сталефибробетонной смеси вычисляют по формуле:

$$m_{ц.к,f} = k_{1,f} \cdot m''_{T.1} + (1 + k_{2,f} \cdot k_{3,f}) \cdot m_{T.2}, \quad (68)$$

где коэффициенты $k_{1,f}$, $k_{2,f}$, $k_{3,f}$ рассчитываются по формулам (56, 59, 62) с подстановкой вместо Π' его уточненного значения Π'' :

$$\Pi'' = \rho_n (1 - m'_{ц.к,f} - \mu_f). \quad (69)$$

Расход воды, цемента, песка и фибры в сталефибробетоне определяется как:

$$B = \frac{m_{ц.к,f}}{\frac{(Ц/B)_f}{\rho_{ц}} + \frac{1}{\rho_{в}}}; \quad (70)$$

$$Ц = \left(\frac{Ц}{B} \right)_f \cdot B; \quad (71)$$

$$\Pi = \rho_n (1 - m_{ц.к,f} - \mu_f); \quad (72)$$

$$\Phi = \mu_f \cdot \rho_f \quad (60)$$

3.2.31. На пробных замесах определяют удобоукладываемость рассчитанной сталефибробетонной смеси и ее соответствие требуемым значениям. При необходимости вносят соответствующие коррективы.

Пример расчета состава сталефибробетона на мелкозернистой матрице приведен в Приложении Г.

3.2.32. В случае применения сталефибробетона на матрице из бетона с использованием крупного заполнителя (щебня фракции 5...10 мм или 5...20 мм) необходимо выполнить предварительно подбор состава тяжелого бетона по критериям **прочность-удобоукладываемость** по известной методике (РУП Институт БелНИИС или ГУП НИИЖБ).

3.2.33. В зависимости от процента введенной фибры (0,5...3% по объему) в состав тяжелого бетона различных классов с применением крупного заполнителя методика предусматривает корректировку абсолютного объема смеси за счет уменьшения объема заполнителей ΔG_3 на эквивалентный объем фибры (5...40 л) в литрах.

3.2.34. Методика учитывает использование составов бетона матрицы с ограниченным значением содержания крупного заполнителя - Щ. Для этого в расчетах по подбору состава тяжелого сталефибробетона соотношение масс смеси заполнителей $N=П/Щ$ находят по формуле:

$$n = \frac{700 - Ц_{np} \cdot (1 + r_d)}{800 - 0,9 \cdot Ц_{np} \cdot (1 + r_d)} + 0,15 M_k, \quad (41)$$

где M_k - модуль крупности песка;

r_d - содержание тонкомолотого наполнителя в долях от 1;

$П$ - расход мелкого заполнителя в расчетном составе матрицы, $кг/м^3$;

$Щ$ - расход крупного заполнителя, $кг/м^3$.

Методика подбора состава бетона с крупным заполнителем

3.2.35. Для расчета состава бетона используется следующая методика. В ее основе положена формула прочности практически аналогичная, применяемой при подборе состава (45):

$$R_{\sigma} = R_u \cdot k_{TO} \cdot k_{\partial.n} \cdot k_{u.k} \left(0,5 \frac{Ц}{B} - 0,3 \right),$$

где $k_{u.k}$, k_{TO} , $k_{\partial.n}$ - коэффициенты соответственно объемного содержания цементного камня в бетоне, тепловой обработки и дисперсного наполнителя (см. п.3.2.14., 3.2.15).

3.2.36. Коэффициент объемного содержания цементного камня в бетоне $k_{u.k}$ рассчитывается по формуле (47):

$$k_{u.k} = 1 - 10 \cdot \left(m_{u.k} - 0,5 \left[1,4 - \frac{B}{Ц} \right] \right)^2,$$

где $m_{u.k}$ - объёмное содержание цементного камня в бетоне (48):

$$m_{ц.к} = Ц / \rho_{ц} + B / \rho_{с}.$$

3.2.37. Рассчитывают предварительное цементно-водное отношение $(Ц/В)'$, необходимое для получения заданной прочности исходной бетонной матрицы по формуле (49):

$$\left(\frac{Ц}{В}\right)' = 2 \left(\frac{R_{\sigma}}{R_{ц} \cdot k_{ТО} \cdot k_{д.н}} + 0,3 \right),$$

где R_{σ} – средняя прочность бетона, соответствующая заданному классу по прочности на сжатие, МПа.

3.2.38. Исходя из заданных характеристик удобоукладываемости тяжелого бетона матрицы и имеющегося модуля крупности песка принимают предварительный расход воды по таблице 9:

Таблица 9

Предварительный расход воды B^I (л) в зависимости от величины требуемой удобоукладываемости смеси в см осадки конуса							
1-2	3-4	5-6	7-9	10-12	13-15	16-18	20-22
185	195	205	215	220	225	235	245
195	205	210	225	230	235	245	255

Примечание:

1.) минимальный предварительный расход воды $B_{пр.}$ принимать при модуле крупности песка в пределах 2,0...2,6.

2.) максимальное значение предварительного расхода воды принимать $B_{пр.}$ при модуле песка 1,5...1,9.

3) в случае использования химических добавок пластификаторов 1-2-й групп по СТБ-1112 предварительный расход воды в модифицированной композиции (по таблице 9) должен применяться по формуле: $B_{пр.м} = B_{пр} (1 - K_{пл})$. Определение $K_{пл}$ осуществляется согласно п.4.13.

3.2.39. Предварительный расход цемента $Ц^I$ в композиции сталефибробетона определяют по формуле (71):

$$Ц' = \left(\frac{Ц}{В}\right)^I \cdot B', \text{ кг} \quad (71)$$

Где B^I – предварительный расход воды принятый по таблице 8 или в случае применения модификаторов по примечанию №3 таблицы 9.

3.2.40. Рассчитывают предварительное объёмное содержание цементного теста/камня в бетонной смеси/бетоне $m'_{ц.к}$ по зависимости (52):

$$m'_{ц.к} = \frac{Ц'}{\rho_{ц}} + \frac{B'}{\rho_{в}},$$

3.2.41. Определяют объёмную концентрацию цементного теста, находящегося в межзерновом пространстве заполнителей $m_{Т.2}$ и объёмную концентрацию цементного теста, идущего на раздвижку зёрен заполнителя и воды, иммобилизованной им, $m_{Т.1}$, по формулам (53), (73):

$$m'_{Т.1} = m'_{ц.к} - m_{Т.2} \quad ;$$

при этом принимают $m_{Т.2} = m_{п.з} \cdot$ (73)

где $m_{п.з}$ – пустотность смеси заполнителей, экспериментально определяемая с учетом п.3.2.8.

3.2.42. Дисперсная арматура при введении её в бетонную смесь влияет на пустотность и на удельную поверхность смеси заполнителей. При этом изменяется объём цементного теста, необходимый для заполнения пустот и покрытия поверхности заполнителей плёнкой цементного теста. Предварительное объёмное содержание цементного теста в сталефибробетонной смеси, необходимое для формирования оптимальной структуры композита, вычисляют по формуле:

$$m'_{ц.к,f} = k_{1,f.кр.} \cdot m'_{Т.1} + (1 + k_{2кр.,f} \cdot k_{3кр.,f}) \times m'_{Т.2}, \quad (74)$$

где $k_{1,f.кр.}$ – коэффициент, равный отношению площади поверхности смеси заполнителей+фибра по сравнению с площадью поверхности смеси заполнителей исходной тяжелой матрицы;

$k_{2,f.кр.}$ – коэффициент, учитывающий относительное изменение пустотности смеси заполнителей при введении стальной фибры;

$k_{3,f.кр.}$ – коэффициент, учитывающий влияние подвижности (ОК) сталефибробетонной смеси с крупным заполнителем на требуемую величину объёма цементного теста.

Зависимость по расчёту коэффициента $k_{1,f.кр.}$ имеет вид:

$$k_{1,f.кр.} = \frac{S_f + S_{уд.з.}}{S_{уд.з.}} = 1 - \frac{\mu_f \rho_f}{G_3^i} + \frac{S_{f,уд} \Phi}{S_{уд.з.} \cdot G_3^i}, \quad (75)$$

где $S_{уд.з.}$ и S_f – площадь поверхности заполнителей и фибры (m^2) в кубическом метре сталефибробетона;

G_3^i – предварительный расход заполнителя (песка и щебня), кг.

3.2.43. Предварительный расход заполнителей G_3^i определяется по формуле:

$$G_3^i = (1 - m_{T.1} - m_{T.2} - m_{в.см.} - \mu_f) \cdot \rho_3, \quad (76)$$

где $m_{в.см.}$ – объемное содержание воздуха в смеси.

Для тяжелого сталефибробетона на крупном заполнителе рекомендуется принимать значение $m_{в.см.}=0,02$.

ρ_3 – средняя плотность зерен заполнителя, кг/м^3 .

3.2.44. Величина средней плотности заполнителей может быть найдена по формуле:

$$\rho_3 = \frac{(1+n)}{\left(\frac{n}{\rho_m} + \frac{1}{\rho_{кр.}}\right)}, \quad (77)$$

где $\rho_m, \rho_{кр.}$ – плотности зерен мелкого и крупного заполнителей;

Соотношение масс смеси заполнителей $N=П/Щ$ находят по формуле:

$$n = \frac{700 - Ц^i \cdot (1 + r_d)}{800 - 0,9 \cdot Ц^i (1 + r_d)} + 0,15 M_{\kappa}, \quad (41)$$

где M_{κ} – модуль крупности песка;

$Ц^i$ – предварительный расход цемента (кг) по формуле (71):

3.2.45. Предварительный расход крупного и мелкого заполнителя определим по формулам:

$$G_{кр.}^i = G_3^i / (1 + n), \quad (78)$$

$$G_M^i = G_3^i - G_{кр.}^i, \quad (79)$$

3.2.46. Далее для определения коэффициентов $k_{1,f.кр.}$ рассчитывается предварительная удельная поверхность смеси заполнителей $S_{уд.з.}$ с подстановкой значений расходов заполнителя получаемого по формулам (78-79):

$$S_{уд.з.} = \frac{(S_{уд.м} \cdot G_m + S_{уд.кр.} \cdot G_{кр.})}{G_m + G_{кр.}}, \text{ м}^2/\text{кг} \quad (80)$$

где $S_{уд.м}$ – удельная поверхность песка, рассчитываемая по формуле (57):

$$S_{y\partial,м} = 9a_{2,5} + 20a_{1,25} + 37a_{0,63} + 72a_{0,315} + 141a_{0,14} + 1200a_{<0,14},$$

В свою очередь удельная поверхность крупного заполнителя, рассчитывается по формуле:

$$S_{y\partial,кp} = 6 \times 10^{-3} (0,2A + 0,25B + 0,125C + 6,25 \times 10^{-2}D), \text{ м}^2/\text{кг}, \quad (81)$$

где A, B, C, D - соответственно частные остатки заполнителя на ситах с отверстиями 5, 10, 20, 40, %; a_i - частные остатки рассева песка в долях единицы; $S_{y\partial, f}$ - удельная поверхность дисперсной арматуры;

Для фибры РУП БМЗ в зависимости от вида и геометрических параметров фибры принимают:

$S_{y\partial, f} = 0,466 \text{ м}^2/\text{кг}$ (для фибры анкерной длиной 60 мм диаметром 1,1 мм;

$S_{y\partial, f} = 0,425 \text{ м}^2/\text{кг}$ (для фибры анкерной длиной 60 мм диаметром 0,8 мм;

$S_{y\partial, f} = 6,06 \text{ м}^2/\text{кг}$ (для фибры анкерной длиной 30 мм диаметром 0,3 мм;

$S_{y\partial, f} = 17,8 \text{ м}^2/\text{кг}$ (для фибры волновой длиной 20 мм диаметром 0,2 мм;

$S_{y\partial, f} = 8,54 \text{ м}^2/\text{кг}$ (для фибры прямой длиной 12 мм диаметром 0,4 мм;

$S_{y\partial, f} = 15,1 \text{ м}^2/\text{кг}$ (для фибры прямой длиной 12 мм диаметром 0,3 мм.

Для остальных видов фибры расчет удельной поверхности $S_{y\partial, f}$ необходимо выполнить в зависимости от геометрических параметров конкретной используемой фибры.

3.2.47. Далее расчет связан с нахождением двух других коэффициентов в формуле (74):

Зависимость по расчёту коэффициента $k_{2, f. кp.}$ имеет вид:

$$k_{2, f. кp.} = \frac{m_{n.3(n+f)} - m_{n.3}}{m_{n.3}} = 1,7 \cdot \frac{\Phi}{G_3}, \quad (82)$$

где Φ и G_3 - соответственно расход фибры и предварительный расход заполнителей в сталефибробетонной смеси в $\text{кг}/\text{м}^3$, рассчитываемые по формулам (76) и (60):

$$\Phi = \mu_f \cdot \rho_f;$$

3.2.48. Зависимость, определяющая коэффициент $k_{3,f,кр.}$ имеет вид двухстепенного полинома:

$$k_{3,f,кр.} = 0,95 + 0,13\mu \cdot 10^2, \quad (83)$$

где μ -процент армирования сталефибробетона в относительных единицах (принимается в пределах 0,005...0,03):

3.2.49. Определяем коэффициент объёмного содержания цементного камня в сталефибробетоне с подстановкой значения $m'_{ц.к.,f}$ по формуле (74):

$$k_{ц.к.} = 1 - 10 \left(m'_{ц.к.,f} - 0,5 \left[1,4 - 1 / \left(\frac{Ц}{B} \right)' \right] \right)^2 \quad (84)$$

3.2.50. Уточняют цементно-водное отношение $(Ц/B)_f$, необходимое для получения заданной прочности сталефибробетона по формуле (64):

$$\left(\frac{Ц}{B} \right)_f = 2 \left(\frac{R_{\sigma}}{R_{ц} \cdot k_{ТО} \cdot k_{д.н} \cdot k_{ц.к.}} + 0,3 \right)$$

3.2.51. Определяют уточненный расход цемента в матрице $Ц''$ по зависимости с учетом нового значения по формуле (65):

$$Ц'' = \left(\frac{Ц}{B} \right)_f \cdot B',$$

3.2.52. Рассчитывают уточнённое объёмное содержание цементного теста/камня в матрице $m''_{ц.к.}$ по зависимости (52):

$$m''_{ц.к.} = \frac{Ц''}{\rho_{ц}} + \frac{B'}{\rho_{\sigma}}$$

3.2.53. Определяют уточнённую объёмную концентрацию цементного теста, идущего на раздвижку зёрен заполнителя и воды, иммобилизованной им, $m''_{T.1}$:

$$m''_{T.1} = m''_{ц.к.} - m_{T.2}; \quad (53)$$

Объёмное содержание цементного теста в сталефибробетонной смеси вычисляем по формуле (74) с учетом подстановки уточненных значений:

3.2.54. Окончательные расходы воды, цемента, щебня, песка и фибры в сталефибробетоне определяются как:

$$B = \frac{m_{ц.к.,f}}{\frac{(Ц/B)_f}{\rho_{ц}} + \frac{1}{\rho_{\sigma}}};$$

$$Ц = \left(\frac{Ц}{B} \right)_f \cdot B;$$

$$\Phi = \mu_f \cdot \rho_f$$

$$G_3 = (1 - m_{T.1.B} - m_{T.2} - m_{B.CM}) \cdot \rho_3, \text{ кг};$$

$$G_{кр} = G_3 / (1 + n), \text{ кг};$$

$$G_M = G_3 - G_{кр}, \text{ кг};$$

Количество добавки пластификатора назначают на основании принятого расхода и величины $K_{пл}$, использованной при расчете.

3.2.55. На пробных замесах определяют удобоукладываемость стале-фибробетонной смеси и ее соответствие требуемым значениям. При необходимости вносят соответствующие коррективы.

3.3. Технологические режимы производства сборных изделий и возведения монолитных конструкций из сталефибробетона

3.3.1. Основные технологические процессы изготовления бетона для сталефибробетона существенно не изменяются. Однако имеется ряд технологических особенностей дисперсно-армированного материала, требующих их соблюдения на стадиях дозирования, приготовления, транспортирования, укладки, уплотнения сталефибробетона и ухода за ним.

Раздел содержит описание особенностей технологии производства работ для сборных изделий и возведения монолитных конструкций с применением сталефибробетонных смесей на фибре РУП «БМЗ».

Приготовление сталефибробетонной смеси

3.3.2. Технология приготовления смеси должна удовлетворять требованиям нормативно-технических документов, в том числе СНБ 5.03.02-03, СТБ 1035-96, СТБ 1545-2005, СТБ 1544-2005, СТБ 1182-99.

3.3.3. Применяемые бетоносмесители и режимы перемешивания сталефибробетонной смеси различных марок по удобоукладываемости должны обеспечить получение однородной смеси с коэффициентом вариации прочности внутри замеса не более 10%.

Равномерное распределение стальных фибр в объеме матрицы, зависит от следующих факторов:

- размеров фибры (в первую очередь отношения длины фибры к диаметру l_f / d_f);
- коэффициента объемного армирования μ_f ;
- марки по удобоукладываемости сталефибробетонной смеси согласно СТБ 1035-96;
- класса бетона матрицы по СТБ 1544-2005;
- последовательности ввода компонентов и режима перемешивания сталефибробетонной смеси;
- способа подачи стальных фибр в смеситель;
- типа используемого смесителя;

3.3.4. Применение стационарных гравитационных смесителей и автобетоносмесителей для приготовления сталефибробетонной смеси с использованием стальной фибры РУП БМЗ допускается с учетом необходимых ограничений по методике введения фибр, времени перемешивания. Наиболее оптимально осуществлять приготовление сталефибробетонной смеси в смесителях принудительного действия.

Однако в зависимости от вида используемой фибры и ее параметров существуют определенные **технологические ограничения**, выпол-

нение которых позволяет исключить или свести к минимуму неоднородности распределения дисперсной арматуры по объему матрицы.

К числу типов фибры РУП БМЗ наиболее **устойчивых** к появлению неоднородности смеси при приготовлении относятся:

фибра анкерная с отношением $l_f/d_f=43$ и 50 (длина 30 диаметр 0,5 и 0,6) при условии ее ввода не более $\mu_f=0,015$ (1,5%);

фибра анкерная с отношением $l_f/d_f=45$ и 50 (длина 50 диаметр 1,0 и 1,1) при условии ее ввода не более $\mu_f=0,01$ (1,0%);

фибра анкерная с отношением $l_f/d_f=55$ (длина 60 диаметр 1,1) при условии ее ввода не более $\mu_f=0,01$ (1,0%);

фибра волнового профиля с отношением $l_f/d_f=30, 31, 36$ и 38 (длинна соответственно 18, 22, 18, 15 мм диаметры соответственно 0,6, 0,7, 0,5, 0,4 мм) при условии их ввода не более $\mu_f=0,005$ (0,5% по объему);

фибра прямая (микрофибра) с отношением $l_f/d_f=37$ и 43 (длинна 13, 13 мм диаметры соответственно 0,35, 0,3 мм) при условии их ввода в количестве не более $\mu_f=0,015$ (1,5% по объему);

фибра прямая (микрофибра) с отношением $l_f/d_f=52$ (длинна 13 мм диаметр 0,25 мм) при условии ее ввода в количестве не более $\mu_f=0,01$ (1,0% по объему);

К числу фибр при приготовлении смесей на которых следует соблюдать **некоторые ограничения** относятся:

фибра анкерная с отношением $l_f/d_f=75$ и 86 (длина 30 диаметр 0,4 и 0,35) при условии ее ввода μ_f = от 0,01 (1,0%) до 0,015 (1,5%);

фибра анкерная с отношением $l_f/d_f=67$ и 75 (длина 60 диаметр 0,9 и 0,8) при условии ее ввода μ_f =от 0,01 (1,0%) и до 0,015 (1,5%);

фибра волнового профиля с отношением $l_f/d_f=43$ и 50 (длинна соответственно 15, 15 мм диаметры соответственно 0,35, 0,3 мм) при условии их ввода не более $\mu_f=0,01$ (1,0% по объему);

фибра прямая (микрофибра) с отношением $l_f/d_f=60$ (длинна 12 мм диаметр 0,2 мм) при условии ее ввода в количестве не более $\mu_f=0,005$ (0,5% по объему);

К числу фибр при приготовлении смесей, на которых следует соблюдать **существенные ограничения** относятся:

фибра анкерная с отношением $l_f/d_f=100$ (длина 30 диаметр 0,3) при условии ее ввода не более $\mu_f=0,005$ (0,5%);

фибра волнового профиля с отношением $l_f/d_f=60$ и 75 (длина соответственно 15, 15 мм диаметры соответственно 0,25, 0,2 мм) при условии их ввода не более $\mu_f=0,005$ (0,5% по объему);

Во избежание появления неоднородности сталефибробетонных смесей рекомендуется ограничить использование фибры дозировками не более, указанных в данном пункте.

3.3.5. В целях обеспечения равномерного распределения фибр в объеме замеса, минимизации неоднородности (образования комков и ежей из фибр) необходимо выполнять следующие мероприятия:

- увеличение подвижности бетона матрицы смеси путем введения пластифицирующих добавок 1-й группы эффективности;
- равномерная подача фибры в смеситель с помощью специальных устройств;

3.3.6. Дозирование компонентов бетонной смеси нужно осуществлять действующими и тарированными дозаторами. Дозировка сыпучих материалов для смеси производится только по массе. Жидкие составляющие дозируют по массе или объему.

Погрешность дозирования исходных материалов не должна превышать для цемента и воды – 1%, заполнителей и стальной фибры – 2 %.

3.3.7. В качестве дозирующих устройств, для всех материалов, за исключением металлической фибры, рекомендуется применять серийно производимые дозаторы. Для металлических фибр рекомендуется использование специальных дозаторов.

3.3.8. Введение в смесь металлических фибр любой номенклатуры РУП БМЗ на полный замес рекомендуется осуществлять в один, два или три приема в зависимости от абсолютного количества вводимой фибры в состав композита и ее вида (параметров).

Введение в смесь фибры (типа устойчивого к появлению неоднородности) осуществляют:

- одновременно (в один прием) на весь замес при условии, если расчетное количество фибры 0,5% от объема;
- в два приема на замес при условии, если расчетное количество фибры в пределах 1,0...1,5% от объема;

- в три приема на замес, если расчетное количество фибры более 1,5% от объема.

Введение в смесь фибры (типа неустойчивого к появлению неоднородности) осуществляют:

- в два приема на замес при условии, если расчетное количество фибры в пределах 0,5...1,0% от объема;
- в три приема на замес, если расчетное количество фибры более 1,0% от объема.

3.3.9. Одновременное или постепенное введение фибр в смеситель может осуществляться полумеханизированным способом с использованием ленточных транспортеров, вибросит или других подобных устройств, имеющих в рабочих поверхностях (стенках) отверстия, ячейки или щели с размерами, обеспечивающими требуемую производительность (скорость) подачи.

3.3.10. Допускается ручное введение фибры с использованием ящиков (заводской упаковки) или иных приспособлений со строгим соблюдением правил техники безопасности.

3.3.11. Возможно, два основных способа приготовления стале-фибробетонной смеси:

- приготовление бетонной смеси (матрицы) по традиционной технологии, т.е. равномерное введение фибровой арматуры в готовую бетонную смесь; смешивание фибры со смесью и выгрузка;
- приготовление сухой смеси (заполнители, вяжущее, фибра); подача воды и добавок в работающий смеситель; смешивание и выгрузка.

Второй способ рекомендуется использовать при работе для бетонов с крупным заполнителем.

Оба способа могут быть применены, как в сборном, так и монолитном строительстве. В последнем случае в качестве смесителя используется автобетоносмеситель (АБС).

3.3.12. Необходимо установить максимальное время перемешивания бетонной смеси с дисперсной арматурой, т.к. увеличение продолжительности смешивания, как правило, способствует более интенсивному образованию «комков» и «ежей» из фибр.

3.3.13. На стройплощадке время введения фибры в привезенную смесь (матрицу), находящуюся в автобетоносмесителе, и их последующее домешивание рекомендуется ограничивать 10...15 минутами.

3.3.14. В зимнее время бетонная смесь должна иметь положительную температуру и приготавливаться на подогретых заполнителях и воде (не выше 70⁰С). В случае приготовления смеси на горячей воде и холодных заполнителях, в последних, не допускаются включения льда и снега, а также смерзшиеся комья и наледь.

Транспортирование сталефибробетонной смеси

3.3.15. В условиях производства сборного железобетона транспортирование бетонных смесей к посту формирования изделий следует производить при помощи средств, обеспечивающих сохранение в заданных пределах технологических характеристик смесей (удобоукладываемость, расслаиваемость).

3.3.16. Доставка смеси может осуществляться ленточными конвейерами; самоходными бункерами; бадьями; бетоноукладчиками. При этом должны применяться устройства, исключающие зависание смесей в разгрузочных отверстиях бункеров. Не рекомендуется осуществлять перегрузку смесей из одного транспортного средства в другое во избежание появления расслоения бетонной матрицы и стальной фибры.

3.3.17. Транспортирование бетонной смеси в монолитном строительстве необходимо осуществлять с соблюдением требований СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции».

3.3.18. В случае приготовления сталефибробетонной смеси на БСУ транспортирование рекомендуется производить автобетоносмесителями. После каждого рейса барабаны должны промываться водой.

3.3.19. Допускаемая минимальная величина подвижности смеси при транспортировании автобетоносмесителями должна составлять ОК=10...12 см или марку П-3 согласно СТБ 1035.

3.3.20. Удобоукладываемость бетонной смеси назначают с учетом времени ее транспортирования, водоцементного отношения, вида цемента, наличия химических добавок, температурно-влажностных условий и других факторов.

Необходимо учитывать обязательную потерю подвижности бетонной матрицы, доставленной на площадку, при добавлении в нее фибры. Это, как правило, учитывается, если состав был подобран по специальному расчету (см. раздел 3.2).

В этой связи возможны два варианта:

- назначение большей подвижности бетонной матрицы (повторный расчет состава);
- восстановление подвижности смеси после добавления фибры путем введения в миксер пластифицирующей добавки 1...2-й группы.

3.3.21. В Приложении А приведены данные по снижению величины подвижности смеси (ОК) в зависимости от количества и характеристик исходной матрицы для фибры основных типов производства РУП «БМЗ».

3.3.22. Выгрузку бетонной смеси из автобетоносмесителя производят равномерно передвижкой лотка небольшими порциями по всей бетонируемой поверхности или в приемные бункеры бетононасосов.

3.3.23. Для транспортирования смеси с фибрами к месту укладки следует пользоваться открытыми емкостями, разгружаемыми путем переворачивания, или бункерами с нулевым уклоном стенок, оборудованными устройствами для вибропобуждения смеси.

3.3.24. Наибольшее допустимое время от начала затворения смеси до ее укладки, уплотнения в зависимости от температурно-влажностных условий окружающей среды, температуры, вида цемента и использованной добавки различно, но, как правило, не должно превышать 1,5-2 ч.

Укладка и уплотнение сталефибробетонной смеси

3.3.25. При укладке и уплотнении сталефибробетонных смесей следует различать:

- производство сборного сталефибробетона;
- возведение монолитных сооружений и конструкций;
- торкретирование.

3.3.26. Способы формования и соответствующую им удобоукладываемость бетонных смесей следует принимать в зависимости от вида конструкций, степени их армирования и применяемой технологии изготовления, характеристик и конструктивно-технологических особенностей формовочного оборудования согласно положениям "Пособия по технологии формования железобетонных изделий" (к СНиП 3.09.01-85, М.: Стройиздат, 1987).

3.3.27. Удобоукладываемость сталефибробетонных смесей может меняться от Ж4 с жесткостью более 31с до марки П5 с осадкой конуса свыше 20 см и уходить в область самоуплотняющихся бетонов с распливом конуса РК более 65 см согласно СТБ 1545-2005.

3.3.28. Погрузочно-разгрузочные и транспортные операции сталефибробетонных смесей на данном виде фибр осуществляют в обычном порядке с использованием воронок, бадей, бункеров, ленточных конвейеров, бетонораздатчиков, бетоноукладчиков, ленточных питателей, секционных, шибберных, челночных затворов и т.п.

Размеры выходных отверстий следует принимать в 2,5-3 раза больше длины применяемых фибр. Высота свободного падения смеси не должна превышать 1 м.

3.3.29. Сталефибробетонные смеси марки по удобоукладываемости П1 с осадкой конуса ОК=1-4 см и сталефибробетонные смеси марки Ж1 жесткостью Ж=5-10 с, в том числе с различными пластификаторами, применяют с использованием обычного уплотняющего оборудования –

поверхностных вибраторов, виброплощадок, вибронасадок, виброформ, виброштампов и т.п. при обычных режимах вибрации и ее продолжительности.

3.3.30. Сталефибробетонные смеси марки Ж2 жесткостью 11-20 с уплотняют на виброплощадках со статическими или вибрационным пригрузом 2-4КПа, а также виброштампами при обычных режимах вибрации и приложении пригруза.

3.3.31. Сталефибробетонные смеси марки Ж3 жесткостью 21-30 с уплотняют и формируют вибрационными воздействиями со значительным пригрузом порядка 8-10 КПа, в частности, вибропрессованием с пригрузом 20-40 КПа. Целесообразно применение таких способов формирования, как силовой и роликовый прокат, прессование, вакуум-прессование, вибротрамбование, центрифугирование и т.п. В зависимости от видов изделия режимы уплотнения в каждом конкретном случае определяют в опытным порядке с учетом технологических воздействий на ориентацию фибр.

3.3.32. Сталефибробетонные смеси марки Ж4 с жесткостью более 31с уплотняют и формируют безвибрационными интенсивными воздействиями, обычно в жестких пресс-формах, прессованием, трамбованием, роликовым и силовым прокатом, виброударным способом и т.д. Режимы уплотнения и формирования указанных смесей определяют в опытным порядке с учетом технологических воздействий на ориентацию фибр.

3.3.33. При формировании длинноразмерных изделий (сваи) в общей форме, а также на стендах, уплотнение и формирование сталефибробетонных смесей могут быть выполнены по отдельным участкам последовательно или непрерывно.

3.3.34. При формировании пустотных изделий, особенно при применении жестких сталефибробетонных смесей в связи с их ограниченной скоростью растекания и возможностью расслоения, вводить пустотообразователи рекомендуется после уплотнения нижнего слоя изделий.

3.3.35. Максимальное время вибрирования, не приводящее к расслоению (опусканию фибр) смесей, определяют опытным путем пробных формовок образцов-призм размером 10х10х40 см с последующим их испытанием на изгиб.

3.3.36. Укладывать и уплотнять смеси для конструкций с высотой сечения более 30 см необходимо послойно; перерывы в бетонировании не допускаются.

3.3.37. При изготовлении горизонтальных конструкций (полы и т.п.) из смесей с маркой по удобоукладываемости ПЗ и выше рекомендуется для уплотнения смеси использовать преимущественно виброрейки.

3.3.38. Укладка и уплотнение литых и самоуплотняющихся бетонных смесей (SSC) должны производиться согласно "Рекомендациям по применению литевой технологии формования" (Минск, БелНИИС, 1997). Для смесей класса SSC допускается отсутствие виброуплотнения.

При выборе оптимального времени уплотнения смесей марок ПЗ, П4, П5, РК5, РК6 руководствоваться данными таблицы 10.

Таблица 10 Рекомендуемое время уплотнения смесей различных марок

Марка смеси по СТБ 1545-2005	Показатель подвижности (ОК) или расплыва конуса (РК), см по СТБ 1035	Предельное время уплотнения смеси вибраторами, с
П-3 (подвижные)	ОК=10...15	15-20
П-4 (высокоподвижные)	ОК=16...21	8-10
П-5 (литые)	ОК=22...24	4-6
РК5 (литые)	РК=52....60	2-3
РК-6 смеси СУБ (SSC)	РК=62...65 и более	уплотнение вибрацией запрещено

3.3.39. Метод торкретирования рекомендуется для элементов с открытой поверхностью и большой шириной, в случаях необходимости плоскостной ориентации фибр. Метод удобен для послойного армирования изделий фибрами, армирования фибрами отдельных частей конструкций, например, зон анкеровки арматуры, участков, работающих на восприятие поперечных сил, конструкций с различным насыщением фибрами по участкам.

3.3.40. Размеры конструкций, изготавливаемых методом торкретирования, по ширине должны быть не менее трех длин фибр и длины образующей используемого ротора, по толщине – не менее половины длины.

3.4. Расчет энергосберегающих режимов тепловой обработки и выдерживания изделий

3.4.1. Энергосберегающие режимы тепловой обработки изделий рекомендуется рассчитывать в следующей последовательности:

3.4.2. Подбирается состав бетона по СТБ 1182-99 или разделу 3.2 настоящих Рекомендаций.

3.4.3. Задается ориентировочная средняя температура паровоздушной среды в тепловой установке. При этом следует иметь в виду, что средняя температура паровоздушной среды в камере на 10...15°C ниже температуры изотермического прогрева бетона.

Определяется активность применяемого цемента в суточном $f_{ц.1}$, двухсуточном $f_{ц.2}$ и в 28-суточном $f_{ц.}$ возрастах по методике ГОСТ 310.4, или принимается по Приложению Д, а также устанавливается по паспортным данным на цемент содержание трехкальциевого алюмината C_3A в клинкере цемента.

3.4.4. Принимается распалубочная, передаточная и отпускная прочности бетона на сжатие в процентах ($P_{р.}$, $P_{п.}$, $P_{отп.}$) от требуемой прочности бетона, соответствующей проектной марке.

3.4.5. Устанавливаются температурные режимы выдерживания изделий после тепловой обработки.

3.4.6. Рассчитывается количество воды, поглощенной заполнителем, по формуле:

$$B_{п} = (G_{кр} W_{кр} + G_{м} W_{м}) \cdot 10^{-2}, \quad (85)$$

где $G_{кр}$, $G_{м}$ – масса соответственно крупного и мелкого заполнителей, кг/м³;

$W_{кр}$, $W_{м}$ – водопоглощение соответственно крупного и мелкого заполнителей, определяемого по таблицам 11, 12.

Таблица 11 — Данные для расчета водопоглощения мелкого заполнителя

Фракция песка, мм	Водопоглощение песков, W_i , %	
	из отсевов дробления	природных и обогащенных
От 5 до 2,5	0,75	1,59
“ 2,5 “ 1,2	0,66	1,26
“ 1,2 “ 0,6	0,61	0,82
“ 0,6 “ 0,3	0,56	0,58
“ 0,3 “ 0,15	0,38	0,35
“ 0,15 “ 0,088	0,18	0,31

Таблица 12 — Данные для расчета водопоглощения крупного заполнителя

Наименование заполнителя	Водопоглощение пор, W_i , %			
	Размер фракции, мм			
	60-40	40-20	20-10	10-5
Гранитный щебень	0,50	0,50	0,42	0,40
Базальтовый щебень	1,40	1,40	1,40	1,29
Известковый щебень	1,09	1,10	1,95	0,80
Щебень из песчаника	4,60	4,52	4,92	4,16
Гравий речной	1,00	1,00	0,90	0,80

Водопоглощение мелким и крупным заполнителем определяется по формуле:

$$W_{м(кр)} = 0,01 \cdot \sum_{i=1}^n P_{им(кр)} \cdot W_{им(кр)};$$

где $P_{им(кр)}$ — процентное содержание i -ой фракции (по рассеву);

$W_{им(кр)}$ — водопоглощение i -ой фракции, %, (по данным таблиц 11, 12)

Примечание — Таблицы 11, 12 заимствованы из работы И.Н. Ахвердова “Высокопрочный бетон”. М., Госстройиздат, 1961.

3.4.7. Рассчитывается водоцементное отношение в бетоне без учета воды, поглощенной заполнителем, W_6 по формуле:

$$W_6 = (B - B_{п}) / Ц, \quad (86)$$

где B — общее содержание воды в бетоне, $кг/м^3$;

$Ц$ — содержание цемента в бетоне, $кг/м^3$.

3.4.8. Рассчитывается объемная концентрация цементного теста в бетоне $m_{т.в}$ по формуле:

$$m_{т.в} = 1 - \frac{G_{м}}{\rho_{м}} - \frac{G_{кр}}{\rho_{кр}}, \quad (87)$$

где $\rho_{м}, \rho_{кр}$ — соответственно плотность (истинная) мелкого и крупного заполнителей, $кг/м^3$.

3.4.9. Рассчитываются значения функциональных коэффициентов Φ_{f1}, Φ_{f2} , определяющих отношение прочности бетона в возрасте одних и двух суток к соответствующей активности цемента, по формулам:

$$\begin{aligned}\Phi_{f.1} &= (8 \cdot W_6 - 3,5) \cdot m_{T.B} - 7,22 \cdot W_6 + 5,15; \\ \text{при } W_6 &\leq 0,3; \\ \Phi_{f.1} &= (-435 \cdot W_6^3 + 705 \cdot W_6^2 - 365 \cdot W_6 + 57,8) \cdot m_{T.B} - 7,22 \cdot W_6 + 5,15; \\ \text{при } W_6 &> 0,3;\end{aligned}\quad (88)$$

$$\Phi_{f.2} = 2,57 - 3,9 \cdot (W_6 - 0,3)^{0,55} - 3,3 \cdot (W_6 - 0,144) \cdot (m_{T.B} - 0,2); \quad (89)$$

3.4.10. Определяются или принимаются по Приложению Е значения коэффициентов $K_{f.m.1}$ и $K_{f.m.2}$, характеризующих отношение кубиковой прочности бетона на сжатие с химическими добавками к соответствующей прочности бетона без добавок, твердеющих в нормальных условиях в течение одних и двух суток.

3.4.11. Рассчитывается прогнозируемая прочность бетона на сжатие (кубиковая), твердеющего в нормальных условиях в течение одних ($f_{c. \text{ cube. 1.н.в.}}$) и двух ($f_{c. \text{ cube. 2.н.в.}}$) суток, по формулам:

$$f_{c. \text{ cube 1 н.в.}} = f_{ц.1} \cdot K_{f.m.1} \cdot \Phi_{f.1}; \quad (90)$$

$$f_{c. \text{ cube 2 н.в.}} = f_{ц.2} \cdot K_{f.m.2} \cdot \Phi_{f.2}. \quad (91)$$

3.4.12. Принимается средняя температура $t_{cp.}$ и ориентировочное время тепловой обработки бетона $\tau_{пр.}$ в сутках на основе имеющегося опыта или по П1-01 к СНБ 5.03.02-03 «Тепловлажностная обработка сборных бетонных и железобетонных изделий».

3.4.13. Рассчитывается значение функционального коэффициента $K_{f.t.t.o.}$, определяющего отношение прочности бетона на сжатие после тепловой обработки к прочности бетона, твердеющего в нормальных условиях в течение того же времени, по формуле:

$$K_{f.t.t.o} = K_{ц.w_6} \cdot K_{C_3A} \cdot \left[D_{T.o} + (C_{T.o} - D_{T.o}) \cdot \left(\frac{\tau_{пр.} - 0,5}{27,5} \right)^{0,18} \right], \quad (92)$$

где

$$K_{ц.w_6} = [1,1 + 104 \cdot (Ц \cdot 10^{-3})^{5,6}] \times [0,15 + 2,5 \cdot (W_6 - 0,24)]; \quad (93)$$

$$K_{C_3A} = 1 \text{ при } C_3A \text{ от 3 до 5 \%};$$

$$K_{C_3A} = 1,07 - 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot t_{cp.} \text{ при } C_3A \text{ св. 5 до 9 \%}; \quad (94)$$

$$D_{T.O} = 1 + 7 \cdot 10^{-2} (t_{cp.} - 20) \quad (95)$$

$$C_{T.O} = 0,7 + 9,5 \cdot 10^{-2} t_{cp.}^{0,385} \quad (96)$$

3.4.14. Рассчитывается требуемая прочность бетона в 28-суточном возрасте по формуле:

$$f_{c.cube28}^G = \frac{f_{c.cube}^G}{1 - 1,64 \cdot \nu}, \quad (97)$$

где $f_{c.cube}^G$ — гарантированная прочность бетона по СНБ 5.03.01, СТБ 1544-2005 или класс бетона по СНиП 2.03.01;

ν — коэффициент вариации прочности бетона на осевое сжатие, который принимается по данным статистического контроля прочности бетона, или равным 0,135 при их отсутствии.

3.4.15. Рассчитывается общая продолжительность тепловой обработки по формуле:

$$\tau_{T.O} = \frac{\tau_{H.B.Э.T.O.}}{K_{f.t.T.O.}} \quad (98)$$

где $\tau_{H.B.Э.T.O.}$ — эквивалентная продолжительность выдерживания изделий в нормально-влажностных условиях:

$$\tau_{H.B.Э.T.O.} = 1 + \ln \left(1 - \frac{P_p \cdot 10^{-2} \cdot f_{c.cube28H.B}^G - f_{c.cube.1H.B}}{f_{c.cube2H.B} - f_{c.cube.1H.B}} \cdot (1 - e^{n_{H.B}}) \right) : n_{H.B} \quad (99)$$

$$n_{H.B} = \ln \left(1 - \frac{f_{c.cube2H.B} - f_{c.cube.1H.B}}{f_{c.cube28H.B}^G - f_{c.cube.1H.B}} \right) \quad (100)$$

3.4.16. Принимаются продолжительность выдерживания бетона $\tau_{пр.в.}$, скорость подъема температуры среды в камере $V_{п.}$, температура бетона в момент распалубки t_p ; скорость снижения температуры среды в камере $V_{ост.}$ по П1-01 к СНБ 5.03.02-03.

3.4.17. Рассчитывается продолжительность отдельных периодов тепловой обработки по формулам:

— продолжительность подъема температуры

$$\tau_{п.} = \frac{t_{cp.} + 15 - t_{H.}}{V_{п.}}; \quad (101)$$

— продолжительность остывания

$$\tau_{\text{ост.}} = \frac{t_{\text{ср.}} + 15 - t_{\text{п.}}}{V_{\text{ост.}}}; \quad (102)$$

– продолжительность изотермического прогрева

$$\tau_{\text{из.}} = \tau_{\text{т.о.}} \cdot 24 - \tau_{\text{пр.в.}} - \tau_{\text{п.}} - \tau_{\text{ост.}} \quad (103)$$

3.4.18. Рассчитывается температура среды в камере при изотермическом прогреве бетона по формуле:

$$t_{\text{из.}} = \frac{t_{\text{ср.}} \cdot \tau_{\text{т.о.}} \cdot 24 - t_{\text{н.}} \cdot (\tau_{\text{пр.в.}} + 0,5 \cdot \tau_{\text{п.}}) - 0,5 \cdot t_{\text{п.}} \cdot \tau_{\text{ост.}}}{0,5 \cdot \tau_{\text{п.}} + \tau_{\text{из.}} + 0,5 \cdot \tau_{\text{ост.}}}. \quad (104)$$

3.4.19 Расчет продолжительности последующего выдерживания изделий для достижения отпускной прочности бетона выполняется в следующей последовательности.

3.4.20. Принимается продолжительность выдерживания изделий $\tau_{\text{ф.ц.}}$ и температура окружающей среды $t_{\text{ф.ц.}}$ в формовочном цехе, а также устанавливается прогнозируемая температура окружающей среды $t_{\text{с.г.п.}}$ при последующем выдерживании на складе готовой продукции.

3.4.21. Рассчитываются значения функциональных коэффициентов $K_{\text{ф.т.ф.ц.}}$ и $K_{\text{ф.т.с.г.п.}}$ по формулам:

$$K_{\text{ф.т.ф.ц.}} = K_{\text{ц.вб.}} \cdot K_{\text{сзА}} \cdot \left[D_{\text{ф.ц.}} + (C_{\text{ф.ц.}} - D_{\text{ф.ц.}}) \cdot \left(\frac{\tau_{\text{ф.ц.}} - 0,5}{27,5} \right)^n \right]; \quad (105)$$

$$K_{\text{ф.т.с.г.п.}} = K_{\text{ц.вб.}} \cdot K_{\text{сзА}} \cdot \left[D_{\text{с.г.п.}} + (C_{\text{с.г.п.}} - D_{\text{с.г.п.}}) \cdot \left(\frac{\tau_{\text{с.г.п.}} - 0,5}{27,5} \right)^n \right], \quad (106)$$

где $K_{\text{ц.вб.}}$ и $K_{\text{сзА}}$ рассчитываются по формулам (84) и (85);

$$D_{\text{ф.ц.}} = 0,15 + 4,25 \cdot 10^{-2} \cdot t_{\text{ф.ц.}} \quad \text{при } t_{\text{ф.ц.}} \text{ от } 0 \text{ до } 20^{\circ}\text{C}; \quad (107)$$

$$D_{\text{с.г.п.}} = 0,15 + 4,25 \cdot 10^{-2} \cdot t_{\text{с.г.п.}} \quad \text{при } t_{\text{с.г.п.}} \text{ от } 0 \text{ до } 20^{\circ}\text{C};$$

$$D_{\text{ф.ц.}} = 1 + 7 \cdot 10^{-2} (t_{\text{ф.ц.}} - 20) \quad \text{при } t_{\text{ф.ц.}} \text{ более } 20^{\circ}\text{C}; \quad (108)$$

$$D_{\text{с.г.п.}} = 1 + 7 \cdot 10^{-2} (t_{\text{с.г.п.}} - 20) \quad \text{при } t_{\text{с.г.п.}} \text{ более } 20^{\circ}\text{C};$$

$$C_{\text{ф.ц.}} = 0,7 + 9,5 \cdot 10^{-2} \cdot t_{\text{ф.ц.}}^{0,385}; \quad (109)$$

$$C_{\text{с.г.п.}} = 0,7 + 9,5 \cdot 10^{-2} \cdot t_{\text{с.г.п.}}^{0,385};$$

$\tau_{\text{ф.ц.}}$ – продолжительность выдерживания распалубленных изделий в формовочном цехе при температуре окружающей среды $t_{\text{ф.ц.}}$;

$n = 0,458$ при температуре окружающей среды от 0 до 20°C;

$n = 0,18$ при температуре окружающей среды св. 20 до 50°C.

3.4.22. Рассчитывается продолжительность твердения бетона в нормальных условиях $\tau_{\text{н.в}}$ для достижения заданной отпускной прочности бетона по формуле:

$$\tau_{\text{н.в}} = 1 + \ln \left(1 - \frac{P_{\text{отп}} \cdot 10^{-2} \cdot f_{\text{с.куб}}^{28\text{н.в}} - f_{\text{с.куб}}^{1\text{н.в}}}{f_{\text{с.куб}}^{2\text{н.в}} - f_{\text{с.куб}}^{1\text{н.в}}} \cdot (1 - e^{n_{\text{н.в}}}) \right) : n_{\text{н.в}}, \quad (110)$$

$n_{\text{н.в}}$ — параметр, рассчитываемый по формуле (91);

$P_{\text{отп.}}$ — процент отпускной прочности бетона от требуемой в 28-суточном возрасте.

3.4.23. Рассчитывается продолжительность выдерживания изделий на складе готовой продукции до достижения отпускной прочности бетона по формуле:

$$\tau_{\text{с.г.п}} = \frac{\tau_{\text{н.в}} - \tau_{\text{т.о}} \cdot K_{\text{ф.т.т.о}} - \tau_{\text{ф.ц}} \cdot K_{\text{ф.т.ф.ц}}}{K_{\text{ф.т.с.г.п}}}. \quad (111)$$

3.4.25. Рассчитанные режимы тепловой обработки и последующего выдерживания изделий до выдачи в производство рекомендуется проверить в условиях заводской лаборатории и при необходимости скорректировать.

3.4.25. При расчете и назначении производственных режимов тепловой обработки изделий следует учитывать требования П2 к СНиП 3.09.01.

3.5. Расчет рациональных режимов беспрогревного выдерживания изделий

3.5.1. Беспрогревные режимы выдерживания изделий для достижения распалубочной, передаточной и отпускной прочности бетона рекомендуется применять, как правило, в летний период года при температуре бетонной смеси и окружающей среды в формовочном цехе не ниже 15°C. При этом должны быть выполнены технико-экономические обоснования эффективности применения беспрогревных режимов с учетом возможных дополнительных затрат на увеличение расхода цемента,

применение химических добавок и выдерживание распалубленных изделий в формовочном цехе и на складах продукции. Следует также учитывать условия применения беспрогревных режимов выдерживания изделий, указанные в П2 к СНиП 3.09.01.

3.5.2. При подборе составов бетона для беспрогревных режимов выдерживания изделий рекомендуется учитывать влияние на интенсивность набора прочности бетона в условиях низких температур окружающей среды таких существенных факторов, как активность цемента в суточном, двухсуточном и 28-суточном возрастах; удельное содержание цемента в бетоне; водоцементное отношение без учета воды, поглощенной заполнителем; вид и свойства химических добавок, оказывающих влияние на водопотребность бетона, степень гидратации цемента и выделение экзотермического тепла; сроки и условия твердения бетона до достижения заданных показателей качества, включая удельную металлоемкость технологической оснастки, степень термоизоляции камер выдерживания изделий, коэффициент их заполнения.

3.5.3. Исходными данными для расчета рациональных режимов беспрогревного выдерживания изделий являются:

- состав бетона, подобранный в соответствии с СТБ 1182, разделом 3.2 с учетом требований раздела 3.4;
- минералогический и вещественный состав цемента, его активность в суточном, двухсуточном и 28-суточном возрастах;
- удельная металлоемкость технологической оснастки;
- среднее содержание арматуры в изделиях;
- коэффициент заполнения камер выдерживания изделий;
- начальная температура бетонной смеси;
- распалубочная, передаточная и отпускная прочность бетона в процентах от требуемой;
- температурные условия выдерживания изделий после распалубки.

3.5.4. Расчет рациональных режимов беспрогревного выдерживания изделий в камерах тепловой обработки или технологической оснастке до достижения распалубочной или передаточной прочности бетона, а также последующего выдерживания в формовочном цехе или на складе готовой продукции до отпускной прочности бетона производится с использованием зависимостей, представленных в разделе 3 или по другим методикам, не противоречащим настоящим рекомендациям. Для этой цели производится расчет средней температуры выдерживания в камерах тепловой обработки или технологической оснастке в следующей последовательности.

3.5.4.1. Подбирается состав бетона по СТБ 1182 или по разделу 4 настоящего документа.

3.5.4.2. Определяются характеристики активности применяемого цемента $f_{ц.1}$, $f_{ц.2}$ и $f_{ц}$, его минералогический и вещественный состав, а также удельная поверхность по данным завода-изготовителя.

3.5.4.3. Рассчитывается водоцементное отношение W_6 без учета воды, поглощенной заполнителем, по формулам (85) и (86).

3.5.4.4. Рассчитывается ориентировочная средняя температура беспрогревного выдерживания изделий в камерах тепловой обработки или технологической оснастке по формуле:

$$t'_{cp} = t_{б.см} + \Delta t_{м.1} + 2 \cdot 10^{-2} \cdot (Ц_{cp} - 300) - 0,85 \cdot (M_{cp} - 1), ^\circ C, \quad (112)$$

где $t_{б.см}$ — начальная температура бетонной смеси, $^\circ C$;
 M_{cp} — средний модуль поверхности, равный отношению суммы площадей охлаждаемых поверхностей к объему изделий в плотном теле, m^{-1} ;
 $Ц_{cp}$ — среднее содержание цемента в бетоне, $кг/м^3$;
 $\Delta t_{м.1}$ — приращение температуры изделий с модулем поверхности M_{cp} , равным 1, и принимаемое равным $10^\circ C$.

3.5.4.5. Рассчитываются значения температурных функций K_t по формулам:

$$K_t = 2^{(t'_{cp} - 20)/\Delta E}, \text{ при } t'_{cp} \text{ от } 0 \text{ до } 20^\circ C; \quad (113)$$

$$K_t = \frac{1 + 0,5 \cdot [1 - \exp(-0,16 \cdot (t'_{cp} - 20))]}{\eta_t + \frac{K(1 - \eta_t^3)}{t'_{cp}}}, \text{ при } t'_{cp} \text{ св. } 20 \text{ до } 100^\circ C, \quad (114)$$

где ΔE — характерная температурная разность, $^\circ C$, принимаемая для пуццолановых портландцементов, равной 4,3, а для портландцементов с минеральными добавками шлака и трепела, вычисляемая по формуле:

$$\Delta E = 11,7 - 16,5 \cdot r_d, ^\circ C; \quad (115)$$

η_t — вязкость воды при температуре t'_{cp} , принимаемая по таблице 13;

K — коэффициент, учитывающий влияние вида и содержания добавок в портландцементе на скорость гидратации и принимаемый равным для портландцемента $K = 4$; для портландцемента с пуццолановой добавкой в количестве 4...5 % $K = 3$ и в количестве 10...14 % $K = 0$; для пуццолановых портландцементов $K = \text{минус } 3$; для шлакопортландцементов $K = \text{минус } 2$.

Таблица 13 - Вязкость воды при различной температуре

Темпе- ратура, °C	Вязкость Па · с · 10 ³	Темпе- ратура, °C	Вязкость Па · с · 10 ³	Тем- пера- тура, °C	Вязкость Па · с · 10 ³	Тем- пера- тура, °C	Вязкость Па · с · 10 ³
20	1,0005	40	0,6560	60	0,4688	80	0,3565
21	0,9810	41	0,6439	61	0,4618	81	0,3521
22	0,9579	42	0,6321	62	0,4550	82	0,3478
23	0,9358	43	0,6207	63	0,4483	83	0,3436
24	0,9143	44	0,6097	64	0,4418	84	0,3395
25	0,8937	45	0,5988	65	0,4355	85	0,3355
26	0,8737	46	0,5883	66	0,4293	86	0,3315
27	0,8545	47	0,5782	67	0,4233	87	0,3276
28	0,8360	48	0,5683	68	0,4174	88	0,3239
29	0,8180	49	0,5588	69	0,4117	89	0,3202
30	0,8007	50	0,5494	70	0,4061	90	0,3165
31	0,7840	51	0,5404	71	0,4006	91	0,3180
32	0,7679	52	0,5315	72	0,3952	92	0,3095
33	0,7523	53	0,5229	73	0,3900	93	0,3060
34	0,7371	54	0,5146	74	0,3849	94	0,3027
35	0,7225	55	0,5064	75	0,3799	95	0,2994
36	0,7085	56	0,4985	76	0,3751	96	0,2962
37	0,6947	57	0,4907	77	0,3702	97	0,293
38	0,6814	58	0,4832	78	0,3655	98	0,2899
39	0,6685	59	0,4759	79	0,361	99	0,2868
						100	0,2838

Для портландцементов с другим содержанием минеральных добавок трепела и шлака коэффициент К следует вычислять по формуле:

$$K = 4-15 \text{ г}_д. \quad (116)$$

3.5.4.6. По рабочим чертежам на изделия рассчитывается среднее содержание арматуры $G_{с.ср}$ в изделиях, размещаемых в одной камере или технологической оснастке, кг/м³.

3.5.4.7. По техническим характеристикам форм и технологической оснастке рассчитывается средняя масса теплоизоляции $G_{из.ср.}$ и конструкции форм $G_{ф.ср.}$, приведенных к 1 м^3 бетона.

3.5.4.8. Рассчитывается средняя теплоемкость бетонной смеси изделий, размещаемых в одной камере или технологической оснастке:

$$C_{б.см.ср} = \frac{0,837 \cdot (Ц_{ср} + П_{ср} + Д_{н.ср} + Ш_{ср}) + 4,2 \cdot В_{ср} + 0,48 \cdot \Phi_{ср}}{\rho_{см.ср}}, \text{кДж/кг} \quad (117)$$

где $Ц_{ср}$, $П_{ср}$, $Д_{н.ср}$, $Ш_{ср}$, $В_{ср}$, $\Phi_{ср}$ – среднее содержание соответственно цемента, песка, тонкодисперсного наполнителя, щебня или гравия, воды и фибры, кг/м^3 ;

$\rho_{см.ср.}$ – средняя плотность бетонной смеси.

3.5.4.9. Рассчитывается средняя начальная температура бетона, арматуры, форм и технологической оснастки в изделиях по формуле:

$$t_{б.н.ср} = \frac{C_{б.см.ср} \cdot \rho_{б.см.ср} \cdot t_{б.см} + (C_S \cdot G_{S.ср} + C_{из.ср} G_{из.ср} + C_{ф} \cdot G_{ф.ср}) \cdot t_{ф.ц}}{C_{б.см.ср} \cdot \rho_{б.см.ср} + C_S \cdot G_{S.ср} + C_{из.ср} \cdot G_{из.ср} + C_{ф} \cdot G_{ф.ср}}, \quad (118)$$

где C_S – удельная теплоемкость арматурной стали, равная $0,48 \text{ кДж/кг}^\circ\text{С}$;

$C_{из.ср}$ – средняя удельная теплоемкость изоляционного материала форм и технологической оснастки (для мин.ваты $C_{из.ср.} = 0,754 \text{ кДж/кг}^\circ\text{С}$;

$C_{ф}$ – удельная теплоемкость материала форм и технологической оснастки (для металлических форм и оснастки принимается равной $0,48 \text{ кДж/кг}^\circ\text{С}$, для деревянной $2,52 \text{ кДж/кг}^\circ\text{С}$);

$t_{ф.ц}$ – температура окружающей среды в формовочном цехе, $^\circ\text{С}$.

3.5.4.10. Рассчитывается значение удельного экзотермического тепловыделения портландцемента при твердении бетона в нормальных температурно-влажностных условиях в течение одних суток. В качестве приближенного значения допускается рассчитывать тепловыделение для портландцемента ПЦ 400-Д20 по формуле:

$$q_{н.1} = 97 \cdot K_{ф.м.1}; \text{кДж/кг} \quad (119)$$

3.5.4.11. Расчет удельного тепловыделения цемента в течение одних суток с учетом минералогического и вещественного состава, удельной поверхности, водоцементного отношения W_6 производится по формуле:

$$q_{н.1} = \frac{q_1 \cdot K_1 \cdot C_3A + q_2 \cdot K_2 \cdot C_4AF + q_3 \cdot K_3 \cdot C_3S + q_4 \cdot K_4 \cdot C_2S}{C_3A + C_4AF + C_3S + C_2S} \times$$

(120)

$$\times (1 - r_d) \cdot \varphi_{SO_3} \cdot \varphi_S \cdot \varphi_{w6} \cdot K_{f.M.1}; \text{кДж / кг}$$

где r_d — относительное содержание минеральных добавок в цементе;

q_1, q_2, q_3, q_4 — удельные тепловыделения минералов клинкера при нормальных температурно-влажностных условиях твердения, равные: для C_3A $q_1 = 832$ кДж/кг; для C_4AF $q_2 = 420$ кДж/кг; для C_3S $q_3 = 504$ кДж/кг; для C_2S $q_4 = 250$ кДж/кг;

K_1, K_2, K_3, K_4 — коэффициенты, характеризующие степень гидратации минералов клинкера C_3A, C_4AF, C_3S и C_2S за одни сутки твердения бетона в нормальных температурно-влажностных условиях и соответственно вычисляемые по формулам:

$$K_1 = 0,52 \cdot \left(1 - 0,1 \cdot \frac{C_3S - 8}{52} \right); \quad (121)$$

$$K_2 = 0,2 \cdot \left(1,1 + 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot (68 - C_3S) \right); \quad (122)$$

$$K_3 = 0,16 + 0,29 \cdot \frac{C_3A}{C_4AF}; \quad (123)$$

$$K_4 = 0,1 \cdot \left[0,42 \cdot \left(1 - \frac{C_3A - 1}{40} \right) + \frac{C_3A - 1}{40} \right]; \quad (124)$$

$\varphi_{SO_3}, \varphi_S, \varphi_{w6}$ — функции, отражающие влияние на кинетику гидратации цемента соответственно содержания гипса, удельной поверхности цемента, водоцементного отношения, и определяемые по следующим формулам:

$$\varphi_{SO_3} = 0,803 + 0,132 \cdot \frac{C_3A - 2}{12} +$$

$$+ \left[0,043 \cdot \frac{C_3A - 2}{12} + 0,132 \cdot \left(1 - \frac{C_3A - 2}{12} \right) \right] \cdot SO_3; \quad (125)$$

$$\varphi_S = 1 + 0,815 \cdot \left[1 - \exp(-4,2 \cdot 10^{-3} \cdot (S_{уд} - 320)) \right]; \quad (126)$$

где $S_{уд}$ удельная поверхность цемента, $\text{м}^2/\text{кг}$, принимаемая по данным завода-изготовителя или определяемая по ГОСТ 310.2. Допускается также рассчитывать удельную поверхность цемента по формуле:

$$S_{уд} = \frac{0,126 \cdot 10^6}{\rho_{ц} \cdot \left(0,384 - \frac{K_{н.г} - K_{д.и} \cdot r_{д.и}}{1 - r_{д.и}} \right)}, \quad (127)$$

где $r_{д.и}$ — относительное массовое содержание i -ой минеральной добавки в цементе;

$K_{д.и}$ — коэффициент для конкретных видов минеральных добавок, принимаемый равным для шлака, трепела, опоки, пемзы соответственно 0,37, 0,31, 0,49, 0,6;

$$\varphi_{w_6} = 1 + 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot (1 - \exp(10 \cdot (0,5 - W_6))). \quad (128)$$

$K_{ф.м.1}$ — функциональный коэффициент прочности модифицированного бетона в возрасте одних суток при нормальных условиях твердения, определяемый по Приложению Е.

3.5.4.12. Удельное тепловыделение портландцемента при твердении бетона в течение одних суток в температурных условиях, отличных от нормальных, рассчитывается по формуле:

$$q_{t.1} = 580 \cdot \left[1 - \exp \left(K_t \cdot \ln \left(1 - \frac{q_{н.1}}{580} \right) \right) \right]. \quad (129)$$

3.5.4.13. Рассчитывается приращение температуры бетона в изделиях за одни сутки по формуле:

$$\Delta t = \frac{K_{п} \cdot q_{t.1} \cdot \Pi_{ср}}{C_{б.см.ср} \cdot \rho_{б.см.ср} + C_S \cdot G_{S.ср} + C_{из.ср} \cdot G_{из.ср} + C_{ф} \cdot G_{ф.ср}}, \quad (130)$$

где $K_{п}$ — коэффициент, учитывающий теплопотери в окружающую среду, принимаемый равным: $K_{п} = 1$ при выдерживании форм, теплоизолируемых слоем минваты толщиной 4...6 см в закрытых камерах периодического действия; $K_{п} = 0,95$ в камерах непрерывного действия в теплоизолированных формах и при нетеплоизолированных формах в камерах периодического действия; $K_{п} = 0,9$ в нетеплоизолированных формах выдерживаемых в цеху и в камерах непрерывного действия.

3.5.4.14. Рассчитывается средняя температура бетона при выдерживании в течение одних суток по формуле:

$$t_{cp} = t_{б.н.ср} + 0,5 \cdot \Delta t. \quad (131)$$

3.5.4.15. Сопоставляется рассчитанная средняя температура выдерживания бетона с ориентировочной температурой, определенной по 6.4.4. Расчет признается удовлетворительным, если сопоставляемые температуры не отличаются более, чем на $\pm 5^{\circ}\text{C}$. В противном случае расчет средней температуры следует повторить при новом значении ориентировочной температуры, равной среднему значению из принятой по 3.5.4.4 и полученной в результате первого расчета.

3.5.4.16. Рассчитывается общая продолжительность выдерживания изделий в камерах или технологической оснастке для достижения распалубочной прочности, по формуле (98) и зависимостям (99) – (104). При этом, вместо $\tau_{пр}$ принимается 1.

3.5.4.17. Расчет продолжительности последующего выдерживания изделий для достижения отпускной прочности бетона выполняется в соответствии с разделом 3.4.

3.5.4.18. Пример расчета режимов беспрогревного выдерживания изделий приведен в Приложении Ж.

3.6. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

3.6.1. Контроль качества осуществляется в соответствии с требованиями СНБ 5.03.02-03 «Производство сборных железобетонных изделий и конструкций», СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции». Также должны соблюдаться указания настоящего документа.

3.6.2. Система контроля прочности сталефибробетона осуществляется в соответствии с ГОСТ 13015 и включает в себя контроль: качества исходных материалов, пооперационный контроль за технологическими процессами приготовления, транспортирования, уплотнения бетонной смеси, режимами твердения бетона и выходной контроль качества бетонных смесей, бетона и конструкций.

3.6.3. К контролируемым параметрам относятся:

- коэффициент расслоения в смеси (стадия подбора);
- удобоукладываемость смеси;
- средняя прочность бетонной матрицы при сжатии;
- прочность образцов сталефибробетона на растяжение при раскалывании.

Рекомендуется выборочный контроль средней прочности и коэффициента вариации сталефибробетона при растяжении на раскалывание (изгиба).

3.6.4. Периодичность контроля прочности сталефибробетона устанавливается стандартами или ТУ на соответствующее изделие.

3.6.5. Качество исходных материалов должно соответствовать требованиям разделов 2.6, 3.1. По истечении гарантийного срока хранения материала необходимо проверить их соответствие показателям согласно нормативным документам.

3.6.6. Время ввода фибры и перемешивания сталефибробетонной смеси не должно превышать установленных значений.

3.6.7. Контроль равномерности распределения фибр на стадии приготовления смеси на БСУ проводится путем визуального контроля отсутствия «ежей» и комков.

3.6.8. При контроле за укладкой и уплотнением бетонных смесей следует обеспечивать соответствие удобоукладываемости смеси проектным требованиям на протяжении всего периода формования изделий.

Методы контроля качества бетонных смесей устанавливаются в соответствии с СТБ 1035-96, СТБ 1545-2005, П2-2000 к СНиП 3.03.01-87.

3.6.9. Удобоукладываемость определяют на формовочном посту не реже 1 раза в смену. При использовании высокоподвижных и литых смесей контролировать их расслаиваемость по СТБ 1545-2005.

3.6.10. Коэффициент уплотнения сталефибробетонной смеси должен быть не менее 0,97. Плотность смеси находят по СТБ 1545-2005.

3.6.11. Контроль за тепловлажностной обработкой производят в соответствии с "Руководством по тепловой обработке бетонных и железобетонных изделий"(М: Стройиздат, 1974) и Пособием П1-01 к СНБ 5.03.02-03 «Тепловлажностная обработка сборных бетонных и железобетонных изделий».

3.6.12. При выдерживании заформованных изделий контролируют: в ямных и туннельных камерах – загрузку, время выдерживания, в теплый и холодный периоды года – температуру среды камеры; в термоформах и кассетах – температуру бетона и время выдерживания.

3.6.13. Входной контроль и оценку качества бетона осуществляют по стандартам, в том числе прочности – по ГОСТ 10180-90, ГОСТ 17624-78, СТБ 1544-2005, ГОСТ 18105-86; морозостойкости – по ГОСТ 10060.0-95...ГОСТ 10060.4-95, водонепроницаемости – по ГОСТ 12730.5-82, водопоглощения – по ГОСТ 12730.3-78.

3.6.14. Контроль сталефибробетона на истираемость, ударную вязкость разрушения и т.д. производят в тех случаях, когда они предусмотрены соответствующими стандартами или Техническими условиями.

3.6.15. Металлические формы для изготовления образцов должны соответствовать ГОСТ 22685-77.

3.6.16. Отбор проб сталефибробетонной смеси производят в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-90, СТБ 1545-2005, ГОСТ 18105-86, СТБ 1035-96 с изм.№1.

3.6.17. Контролируемые режимы уплотнения опытных проб сталефибробетонной смеси определяют в соответствии с назначаемыми режимами уплотнения сборных изделий или монолитных конструкций на объекте при производстве работ. Последние задаются строительной организацией, осуществляющей эти работы, и затем уточняются совместно изготовителем смеси и ее потребителем.

3.6.18. Для определения коэффициента расслаиваемости K_p в цилиндрическую форму высотой 200 мм диаметром 100 мм укладывают сталефибробетонную смесь. Уплотнение смеси осуществляют с учетом ГОСТ 10180-90, СТБ 1545-2005. До момента схватывания уплотненного бетона цилиндрическая форма раскрывается. С помощью пластины (вилки) шириной равной диаметру цилиндра он разделяется на две равные части - верхнюю и нижнюю. Каждая из частей отмывается, извлекаются фибры и взвешивается.

Коэффициент расслаиваемости определяют по формуле:

$$K_p = \frac{m_{\text{верхн.}f}}{m_{\text{нижн.}f}}. \quad (132)$$

где $m_{ф.верх}$ – масса отмытой фибры, приходящаяся на верхнюю часть цилиндрической формы в граммах.

$m_{ф.нижн}$ – масса фибры, приходящаяся на верхнюю часть цилиндрической формы в граммах после проведения испытаний и отмывки.

3.6.19. Коэффициент расслаиваемости K_r должен в обязательном порядке контролироваться на этапе подбора состава сталефибробетона и при необходимости выборочно на этапе приготовления и укладки смеси. При этом K_r должен быть не ниже 0,8 для смесей с удобоукладываемостью марки ПЗ и менее, и для смесей с маркой П4 не ниже 0,75.

3.6.20. Для соответствия прочности получаемого исходного бетона-матрицы (фибр) проектному классу по прочности на сжатие из замесов бетонной смеси без фибр, приготовленных в соответствии с режимами приготовления сталефибробетона, отбирают пробы для проведения испытаний.

3.6.21. Производственный контроль прочности сталефибробетона, как правило, осуществляют на предприятии-изготовителе сталефибробетонной смеси и на строительной площадке при возведении сталефибробетонных конструкций и сооружений.

3.6.22. Контролю подлежат следующие показатели сталефибробетона по прочности:

- на сжатие в проектном возрасте;
- на осевое растяжение в проектном возрасте (при необходимости);
- на растяжение при изгибе (раскалывании) в проектном возрасте.

3.6.23. Контроль прочности сталефибробетона, а при обосновании и исходного бетона-матрицы, по контрольным образцам должен осуществляться в соответствии с методиками и требованиями ГОСТ 18105-86, ГОСТ 10180-90, СТБ 1544-2005.

3.6.24. Прочность сталефибробетона на растяжение при изгибе допускается определять на кубах с испытанием на раскалывание.

3.6.25. Контрольные образцы для определения свойств сталефибробетона должны иметь размеры не менее: кубы – $10 \times 10 \times 10$ см; призмы – $10 \times 10 \times 40$ см.

3.6.26. Контроль прочности на сжатие сталефибробетона в возведенных конструкциях или сооружениях производить методами неразрушающего контроля согласно требованиям ГОСТ 18105-86, ГОСТ 22690-88 допускается производить только в случае наличия необходимых тарировочных зависимостей.

3.6.27. Исходный бетон-матрица подлежит контролю только по прочности на сжатие, если этот показатель указан в проекте.

3.6.28. На предприятии-изготовителе осуществляется контроль прочности сталефибробетона и исходного бетона-матрицы.

На строительной площадке при возведении конструкций и сооружений контролируется удобоукладываемость смеси СФБ, ее однородность и прочность сталефибробетона.

3.7. Требования по безопасности труда и охране окружающей среды

3.7.1. Производство изделий должно осуществляться при соблюдении требований главы СНиП III-4-80* "Техника безопасности в строительстве", и требований нормативно-технической документации на материалы конкретного вида.

3.7.2. Место производства работ должно быть освещено в соответствии с указаниями «Инструкции по проектированию электрического освещения строительных площадок» СН81-80 (М., Стройиздат, 1981).

3.7.3. К эксплуатации и обслуживанию оборудования для производства сталефибробетонных изделий и конструкций допускаются лица, хорошо знающие его устройство, правила эксплуатации и техники безопасности прошедшие обучение по специальной программе и сдавшие экзамены квалифицированной комиссии.

3.7.4. При эксплуатации и обслуживании оборудования для производства сталефибробетонных изделий и конструкций необходимо учитывать, что сама фибра является источником опасности, приводящим к травматизму.

3.7.5. При введении фибры в смесь необходимо пользоваться очками и перчатками. Работы следует проводить с соблюдением «Правил безопасности и промышленной санитарии в проволочном и гвоздильном производстве» (М., Металлургия, 1960) и «Правил технической эксплуатации проволочно-волочильного и канатного оборудования метизных заводов» (М., Металлургия, 1974).

3.7.6. Эксплуатацию электрических устройств производят в соответствии с установленными правилами.

3.7.7. При наличии в составе СФБ химических добавок перед допуском к работе рабочие должны пройти инструктаж по технике безопасности при работе с химическими добавками. К работе с добавками допускаются работники, прошедшие медицинское обследование и обучение безопасным методам работы с химическими веществами.

3.7.8. Не следует допускать к работам с химическими добавками лиц с повреждением кожного покрова (ссадины, ожоги и т.д.), с поражением век и глаз, а также лиц моложе 18 лет.

3.7.9. При попадании добавок на незащищенную поверхность тела ее следует промыть под проточной водой.

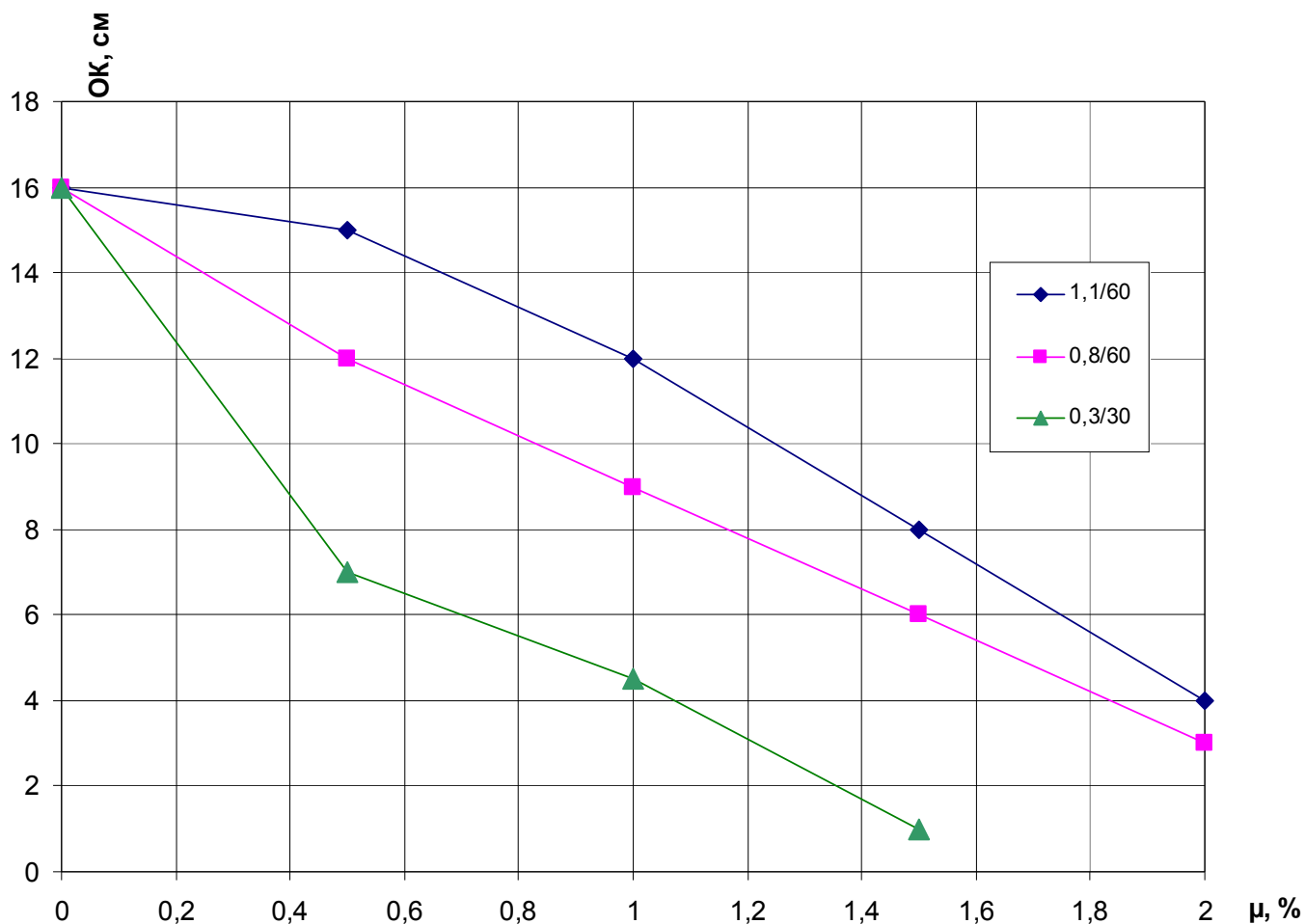


Рисунок А1- Влияние объемного содержания фибры «анкерного» профиля на показатели подвижности сталефибробетонной смеси

На рисунке А1 приведены результаты снижения показателя подвижности ОК (см) для анкерной фибры производства РУП «БМЗ» следующих параметров: 1,1/60 (соответственно диаметр/длина в мм); 0,8/60 и 0,3/30.

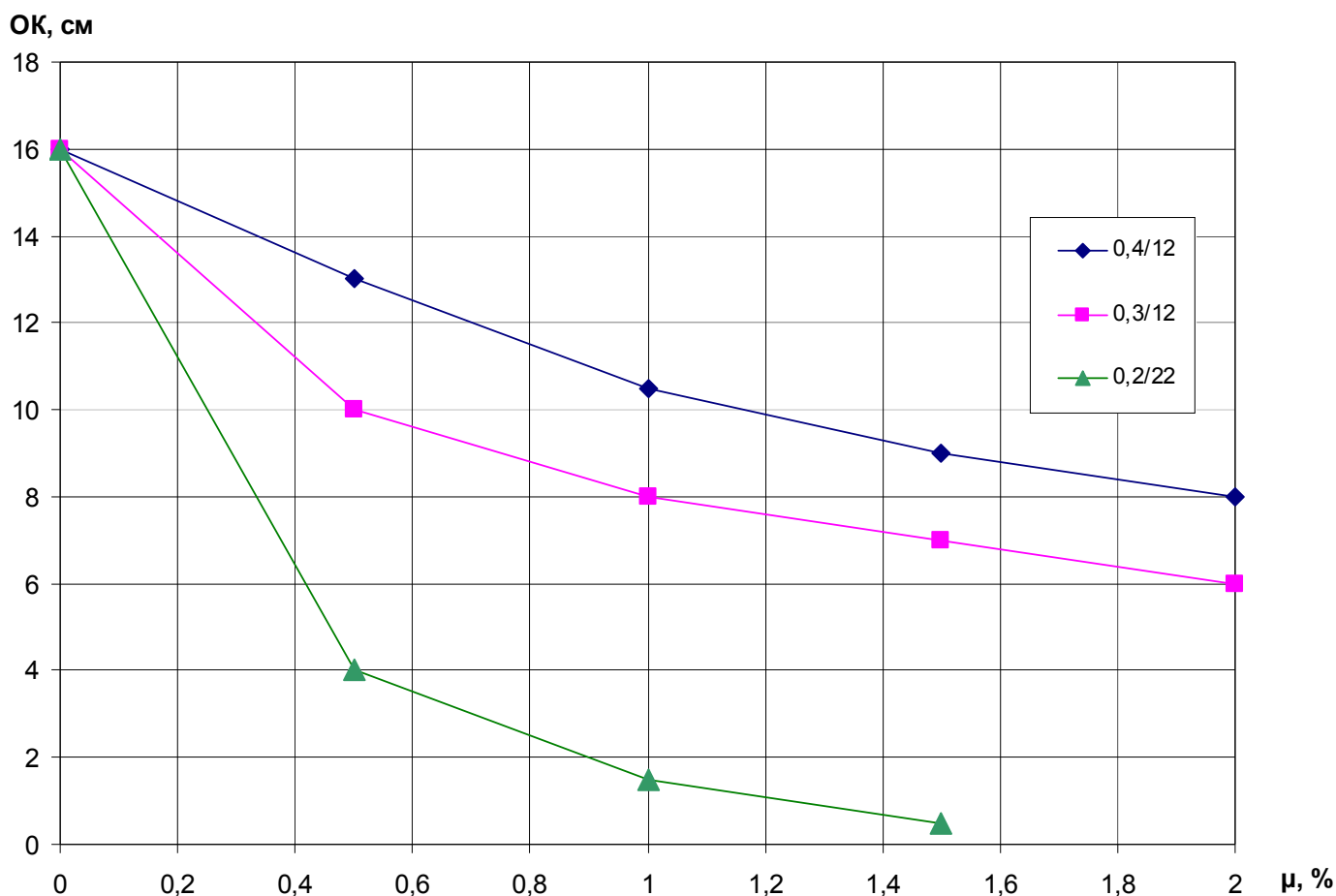


Рисунок А2 - Влияние содержания фибры прямого и волнового профиля на показатели подвижности бетонной смеси

На рисунке А2 приведены результаты снижения показателя подвижности ОК (см) для фибры прямой 0,4/12 мм; 0,3/12 мм и волнового профиля 0,2/22 мм производства «РУП БМЗ».

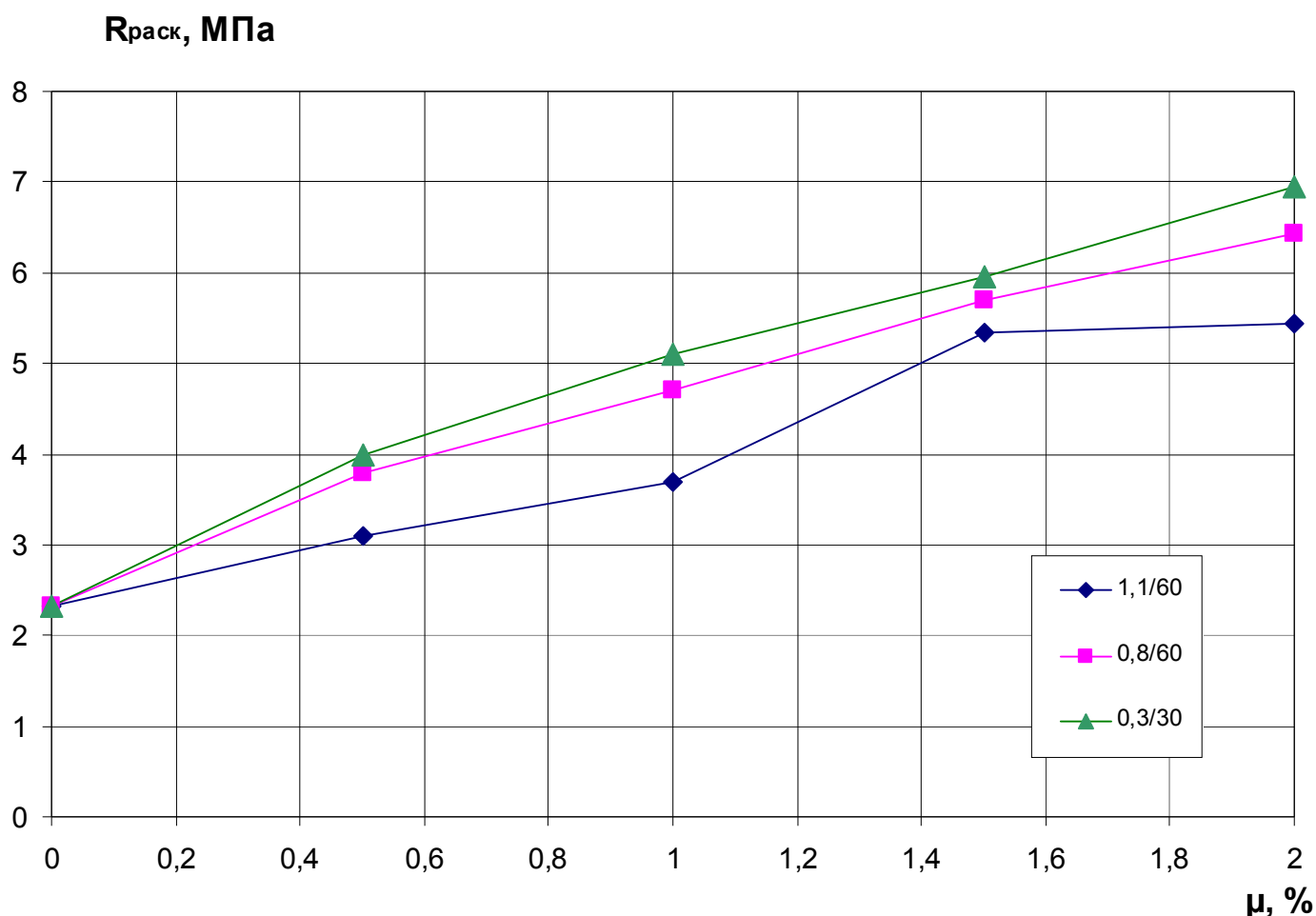


Рисунок Б1 - Влияние объемного содержания фибры анкерного профиля на показатели прочности сталефибробетона на растяжение при раскалывании

На рисунке Б1 приведены результаты влияния процента объемного армирования базовой матрицы на показатели прочности бетона на растяжение при раскалывании для стальной фибры анкерного профиля с параметрами (диаметр/длина в мм) соответственно 1,1/60; 0,8/50; и 0,3/30 производства «РУП БМЗ».

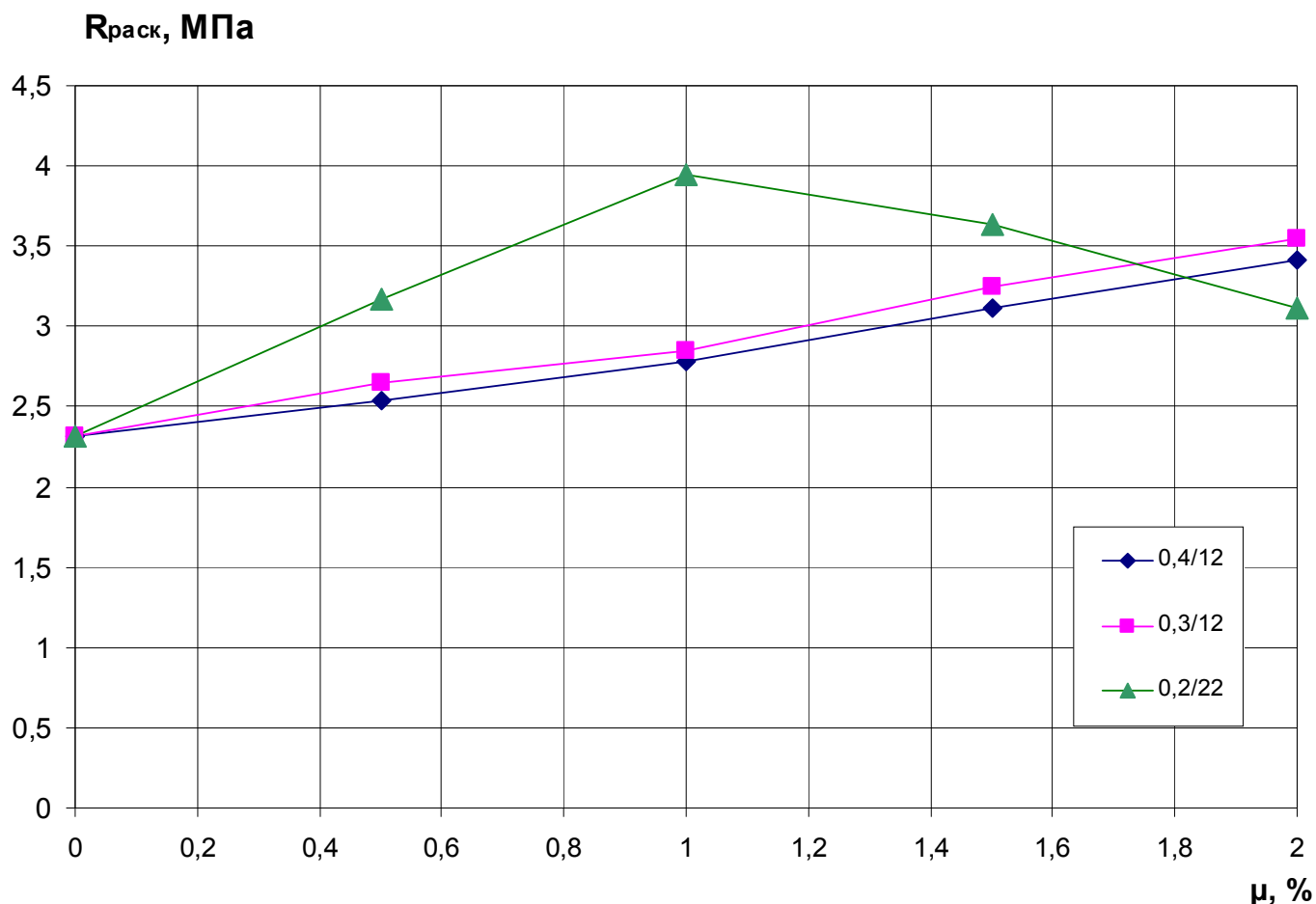


Рисунок Б2 - Влияние процента объемного содержания прямой фибры и фибры волнового профиля на показатели прочности сталефибробетона на растяжение при раскалывании

На рисунке Б2 приведены результаты влияния процента объемного армирования базовой матрицы на показатели прочности бетона на растяжение при раскалывании для стальной фибры прямого профиля с параметрами (диаметр/длина в мм) соответственно 0,4/12; 0,3/12; и волнового профиля 0,2/22 производства «РУП БМЗ».

Таблица В1 - Составы модифицированного сталефибробетона на крупном заполнителе

№	Класс бетона по СТБ 1544-2005	Расход компонентов, кг/м ³ (в расчете на сухие материалы)						Предел прочности на растяжение при раскалывании, F _{ct} , не менее МПа	Удобукладываемость бетонной смеси, см по СТБ 1035-96 (ОК, см)
		Цемент П Ц500-Д0	Песок М _{кр} =2,4-2,6	Щебень 5-20 мм	Фибра (μ _f в %)	Вода, л	Добавка ГП-1 (% от МЦ)		
1	С 16/20	360	910	940	40 (0,5%) Пр	200	1,08 (0,3%)	2,1	16...18
2	С 16/20	360	910	940	40 (0,5%) А	200	1,08 (0,3%)	2,3	12...15
3	С 20/25	400	880	940	78(1,0 %) Пр	195	1,20 (0,3%)	3,4	18...21
4	С 20/25	400	880	940	78 (1,0%) А	195	1,20 (0,3%)	3,7	12...15
5	С 25/30	420	890	980	40 (0,5%) А	185	1,26 (0,3%)	3,5	16...18
6	С 25/30	430	870	970	117(1, 5%) А	190	1,29 (0,3%)	4,5	16...18
7	С 35/45	500	860	960	78 (1,0%) А	165	1,50 (0,3%)	4,4	16...18
8	С 35/45	520	850	950	117(1, 5%) А	165	1,56 (0,3%)	5,7	12...15

Примечание:

- 1) При применении цемента с содержанием C_3A более 5% (например ПРУП БЦЗ г. Костюковичи) расходы пластифицирующей добавки ГП-1 должны быть увеличены соответственно с 0,3 до 0,35% (для С16/20, С20/25) от массы цемента в составе. Для бетонов класса С25/30, С35/45 расход добавки должен быть увеличен с 0,3 до 0,33 % от МЦ.
- 2) В указанных составах сталефибробетона используется фибра (обозначение А) «анкерного» профиля по ТУ ВУ 400074854.628-2009 диаметром 0,8 мм, длиной 60 мм, с параметром $l/d=75$, а также фибра (обозначение Пр) «прямого» профиля по ТУ ВУ 400074854.628-2009 диаметром 0,3 мм длина 12 мм, с параметром $l/d=40$.
- 3) Допускается использовать вместо ПЦ500-Д0 -цементы ПЦ500-Д20 производства ОАО «Красносельскстройматериалы», ПРУП БЦЗ г. Костюковичи.

Таблица В2 - Составы модифицированного сталефибробетона на мелкозернистом заполнителе

№№	Клас с бе- тона по СТБ 1544 -2005	Расход компонентов, кг/м ³ (в расчете на сухие материалы)					Предел проч- ности на растя- жение при рас- калывании, МПа F _{ct} ,	Удоукла- дываемость смеси со- гласно СТБ 1035- 96 (ОК, см)
		Це- мент ПЦ5 00-Д0	Песок M _{кр} =2,4 -2,6	Фибра (μ _f в %)	В ода, л	Добав- ка С-3 (% от МЦ)		
9	С16/ 20	45 0	1580	40 (0,5%) A1	2 50	2,7 (0,6%)	2,2	18...20
10	С16/ 20	45 5	1560	78 (1%) A1	2 55	3,15 (0,7%)	2,5	14...16
11	С16/ 20	47 0	1540	117(1,5 %) A1	2 60	3,76 (0,8%)	3,0	10...12
12	С20/ 25	50 0	1560	40 (0,5%) A1	2 40	3,0 (0,6%)	2,4	18...20
13	С20/ 25	51 0	1540	78 (1%) A1	2 40	3,57(0, 7%)	2,9	14...16
14	С20/ 25	52 0	1520	117 (1,5 %)A1	2 40	4,16 (0,8%)	3,3	10...12
15	С25/ 30	55 0	1510	40 (0,5%) A1	2 45	4,4 (0,8%)	3,1	18...20
16	С25/ 30	56 0	1500	78 (1%) A1	2 45	4,76 (0,85%)	3,7	13...15
17	С25/ 30	56 5	1485	117 (1,5%) A1	2 50	4,80 (0,85%)	4,4	10...12

Примечание:

- 1.) В указанных составах сталефибробетона используется фибра (обозначение А1) «анкерного» профиля по ТУ ВУ 400074854.628-2009 диаметром 1,1 мм, длиной 60 мм, с параметром $l/d=55$;
- 2.) Допускается использовать вместо ПЦ500-Д0 -цементы ПЦ500-Д20 производства ОАО «Красносельскстройматериалы», ПРУП БЦЗ г. Костюковичи.

Приложение Г

(справочное)

Пример расчета состава сталефибробетона

Г.1 Произвести расчет начального состава мелкозернистого сталефибробетона класса С16/20 с подвижностью бетонной смеси ОК = 14 см (марка ПЗ). Используется суперпластификатор С-3 в количестве 0,65 % от массы цемента, коэффициент пластификации $K_{пл} = 0,16$. Бетон твердеет в нормальных температурно-влажностных условиях.

Материалы:

— портландцемент ПЦ500-Д20:

с активностью $R_u = 48,0$ МПа; $K_{НГ} = 0,25$; $\rho_u = 3150$ кг/м³,

— мелкий заполнитель (песок):

$M_K = 2,6$; $\rho_n = 2650$ кг/м³; $S_{уд.п} = 9$ м²/кг; $m_{п.з.} = 0,30$;

— стальная фибра РУП БМЗ анкерная (длина 60 мм, диаметр 0,8 мм):

$l_f/d_f = 75$; армирование по объему 1% (78 кг) $\mu_f = 0,01\%$;

удельная поверхность фибры: $S_{уд.ф} = 0,425$ м²/кг

плотность стальной фибры $\rho_f = 7800$ кг/м³.

В.2 Рассчитывают предварительное цементно-водное отношение (C/B), необходимое для получения заданной прочности исходного мелкозернистого бетона (матрицы) по формуле (49):

$$\left(\frac{C}{B}\right)' = 2 \left(\frac{28}{48 \cdot 1 \cdot 1} + 0,3 \right) = 1,767,$$

где $R_0 = 28$ МПа — средняя прочность бетона, соответствующая заданному классу по прочности на сжатие С16/20, МПа.

В.3. Определяют предварительный расход цемента в матрице C' по формуле (50):

$$C' = (440 + 20 \cdot 1,767 \cdot [12 + 2,6 \cdot (2,6 - 7)]) \cdot (1 - 0,16) = 386,2 \text{ кг/м}^3,$$

где, $C_{табл} = 440$ кг принимается для класса С16/20 и марки по удобоукладываемости ПЗ по таблице 8.

В.4. Находят предварительный расход воды в матрице B' по формуле (50):

$$B' = \left[410 + 20 \cdot 2,6 \cdot (2,6 - 7) + 0,085 \cdot 14 \cdot (59 - 14) + \right. \\ \left. + (0,1 \cdot 386,2 - 35) + 400 \cdot (0,25 - 0,24) \right] \cdot (1 - 0,16) = 224,6 \text{ кг/м}^3.$$

В.5 Рассчитывают предварительное объёмное содержание цементного теста/камня в бетонной смеси/бетоне $m'_{ц.к}$ по зависимости (52):

$$m'_{ц.к} = \frac{386,2}{3150} + \frac{224,6}{1000} = 0,347.$$

В.6. ОПРЕДЕЛЯЮТ ОБЪЁМНУЮ КОНЦЕНТРАЦИЮ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА, НАХОДЯЩЕГОСЯ В МЕЖЗЕРНОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ $M_{Т.2}$ И ОБЪЁМНУЮ КОНЦЕНТРАЦИЮ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА, ИДУЩЕГО НА РАЗДВИЖКУ ЗЁРЕН ЗАПОЛНИТЕЛЯ И ВОДЫ, ИММОБИЛИЗОВАННОЙ ИМ, $M_{Т.1}$, ПО ФОРМУЛАМ (53) И (54):

$$m'_{Т.1} = 0,347 - 0,30 = 0,047;$$

$$m_{Т.2} = 0,30.$$

В.7. Предварительное объёмное содержание цементного теста в сталефибробетонной смеси, необходимое для формирования оптимальной структуры композита, вычисляют по формуле (55):

$$m'_{ц.к,f} = 0,959 \cdot 0,0458 + (1 + 0,138 \cdot 1,18) \cdot 0,295 = 0,387,$$

$$m'_{ц.к,f} = 0,959 \cdot 0,0458 + (1 + 0,138 \cdot 1,18) \cdot 0,295 = 0,387$$

где $k_{1,f}$ по формуле (56):

$$k_{1,f} = 1 - \frac{78,5}{1703,4} + \left(\frac{0,914 \cdot 78,5}{9 \cdot 1703,4} \right) = 0,96,$$

$$k_{1,f} = 1 - \frac{78,5}{1703,4} + \left(\frac{0,425 \cdot 78,5}{9 \cdot 1703,4} \right) = 0,956 \text{ дddd}$$

где $S_{y\partial, f}$ — удельная поверхность дисперсной арматуры, равная для фибры РУП БМЗ анкерной 0,8/60 мм $S_{y\partial, f} = 0,425 \text{ м}^2/\text{кг}$;

$k_{2,f}$ по формуле (59):

$$k_{2,f} = 1,7 \frac{78,5}{1703,4} = 0,078,$$

где Φ и Π' – соответственно расход фибры и предварительный расход песка в сталефибробетонной смеси в кг/м^3 , рассчитываемые по формулам (60) и (61):

$$\Phi = 0,01 \cdot 7850 = 78,5 \text{ кг/м}^3;$$

$$\Pi' = 2650 \cdot (1 - 0,347 - 0,01) = 1703,4 \text{ кг/м}^3;$$

$k_{3,f}$ находится по экспериментальной зависимости (62) :

$$k_{3,f} = 0,95 + 0,13 \cdot 0,01 \cdot 100 = 1,08 ,$$

В.8. Определяют коэффициент объёмного содержания цементного камня в сталефибробетоне по формуле (63):

$$k_{ц.к} = 1 - 10 \left(0,387 - 0,5 \left[1,4 - \frac{1}{1,767} \right] \right)^2 = 0,972 .$$

В.9. Рассчитывают цементно-водное отношение $(C/B)_f$, необходимое для получения заданной прочности сталефибробетона по зависимости (64):

$$\left(\frac{C}{B} \right)_f = 2 \left(\frac{28}{48 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,972} + 0,27 \right) = 1,74 .$$

В.10. Определяют уточненный расход цемента в матрице C'' по зависимости (65):

$$C'' = 1,74 \cdot 224,6 = 390,8 \text{ кг/м}^3.$$

В.11. Рассчитывают уточнённое объёмное содержание цементного теста/камня в матрице $m''_{ц.к}$ по формуле (66):

$$m''_{ц.к} = \frac{390,8}{3150} + \frac{224,6}{1000} = 0,349 .$$

В.12. ОПРЕДЕЛЯЮТ УТОЧНЁННУЮ ОБЪЁМНУЮ КОНЦЕНТРАЦИЮ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА, ИДУЩЕГО НА РАЗДВИЖКУ ЗЁРЕН ЗАПОЛНИТЕЛЯ И ВОДЫ, ИММОБИЛИЗОВАННОЙ ИМ, $m''_{T.1}$ ПО ЗАВИСИМОСТИ (67):

$$m''_{T.1} = 0,349 - 0,30 = 0,049 ;$$

В.13. Объемное содержание цементного теста в сталефибробетонной смеси вычисляют по формуле (68):

$$m_{ц.к,f} = 0,96 \cdot 0,049 + (1 + 0,08 \cdot 0,813) \cdot 0,3 = 0,366 ,$$

где коэффициенты $k_{1,f}$, $k_{2,f}$ рассчитываются по формулам (56, 59, 62) с подстановкой вместо Π' его уточненного значения Π'' вычисленного по (69):

$$\Pi'' = 2650 \cdot (1 - 0,366 - 0,01) = 1658,19 \text{ кг/м}^3.$$

$$k_{2,f} = 1,7 \cdot \frac{78,5}{1658,19} = 0,08$$

В.14. Расход воды, цемента, песка и фибры в сталефибробетоне определяется по формулам (70) – (72):

$$B = \frac{0,370}{\frac{1,74}{3150} + \frac{1}{1000}} = 235,8 \text{ кг/м}^3;$$

$$Ц = 1,74 \cdot 235,8 = 410 \text{ кг/м}^3;$$

$$\Pi = 2650 \cdot (1 - 0,366 - 0,01) = 1653 \text{ кг/м}^3;$$

$$\Phi = 0,01 \cdot 7850 = 78,5 \text{ кг/м}^3.$$

На пробном замесе определяют удобоукладываемость рассчитанной сталефибробетонной смеси и ее соответствие требуемым значениям. При необходимости вносят соответствующие коррективы.

Приложение Д

(справочное)

Ориентировочные физико-технические характеристики некоторых белорусских цементов
Таблица Д1

Вид цемента и завод — изготовитель	Минералогический состав клинкера, %				SO ₃ , %	Активные минеральные добавки, %	Удельная поверхность S _{уд} , м ² /кг	Нормальная густота, %	Группа по эффективности пропаривания	Активность цемента, МПа		
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF						F _{ц1}	F _{ц2}	F _{ц28}
ПЦ 550-Д0 ОАО «Красносельск-стройматериалы»	57-58	18-19	4,5-5,1	13-14	1,5-3,5	—	290-320	23-25	2	23	30	55
ПЦ 500-Д0 ОАО «Красносельск-стройматериалы»	57-58	18-19	4,5-5,1	13-14	1,5-3,5	—	290-320	23-25	2	16	23	50
ПЦ 500-Д0 ПРУП «Белорусский цементный завод»	61-62	15-16	6-7	13-14	1,8	—	300-330	26-27	1	20	27	52
ПЦ 500-Д0 ПРУП «Кричев-цементношифер»	58-61	13-15	6-8	14-16	1,5-3,5	—	260-310	24,5-26,5	2	14	22	50
ПЦ 500-Д20 ОАО «Красносельск-стройматериалы»	57-58	18-19	4,5-5,1	13-14	1,5-3,5	шлак 18-19	290-320	23-25	2	12,5	20	50
ПЦ 500-Д20 ПРУП «Белорусский цементный завод»	61-62	15-16	6-7	13-14	1,8	шлак 18-19	300-330	26-27	1	15	22	51
ПЦ 400-Д20 ПРУП «Кричев-цементношифер»	58-61	13-15	6-8	14-16	1,5-3,5	Шлак 5-20	293-338	25-27	3	10,5	18,5	41

Приложение Е
(обязательное)

Значения и зависимости функциональных коэффициентов прочности модифицированного бетона в возрасте одних, двух и 28-ми суток при нормальных условиях твердения

Таблица Е.1

Условное обозначение или химическая формула модификаторов	Содержание модификаторов, %: $\frac{\text{от "Ц"}}{\text{от "В"}}$	$K_{\text{м1}}$	$K_{\text{м2}}$	$K_{\text{м28}}$
С-3	$\frac{\text{от } 0,6 \text{ до } 1,2}{-}$	при $200 \leq \text{Ц} \leq 400$ $1,14+0,2 \cdot \text{Ц} \cdot 10^{-3} - 0,7 \cdot \text{мд} \cdot 10^2$ при $400 \leq \text{Ц} \leq 650$ $1,56+(1,9 \cdot \text{мд} \cdot 10^2 - 1) \cdot \text{Ц} \cdot 10^{-3} - 1,4 \cdot \text{мд} \cdot 10^2$	при $200 \leq \text{Ц} \leq 400$ $1,1+0,2 \cdot \text{Ц} \cdot 10^{-3} - 0,45 \cdot \text{мд} \cdot 10^2$ при $400 \leq \text{Ц} \leq 650$ $1,5+(1,9 \cdot \text{мд} \cdot 10^2 - 1) \cdot \text{Ц} \cdot 10^{-3} - 1,15 \cdot \text{мд} \cdot 10^2$	при $200 \leq \text{Ц} \leq 400$ $1,18-0,38 \cdot \text{мд} \cdot 10^2$ при $400 \leq \text{Ц} \leq 650$ $2,72-2,94 \cdot \text{мд} \cdot 10^2 + (\text{мд} \cdot 10^2 - 0,6) \cdot (9,5 \cdot \text{Ц} \cdot 10^{-3} - 0,77 \cdot (\text{Ц} \cdot 10^{-3})^2)$
УП-2	от 0,6 до 0,8	$0,875+0,475 \cdot W_6$	1,023	0,937
ЛСТМ-2	$\frac{0,2}{-}$	0,90 при $C_3A=3-5 \%$ 0,85 при $C_3A=5-7 \%$ 0,80 при $C_3A=7-9 \%$	0,95 при $C_3A=3-5 \%$ 0,90 при $C_3A=5-7 \%$ 0,95 при $C_3A=7-9 \%$	0,95
ЛСТ	$\frac{\text{от } 0,15 \text{ до } 0,25}{-}$	$1-0,5 \cdot \text{мд} \cdot 10^2$	$1-0,45 \cdot \text{мд} \cdot 10^2$	$1-0,37 \cdot \text{мд} \cdot 10^2$
ХК (CaCl ₂)	$\frac{0,5}{-}$ $\frac{1,0}{-}$ $\frac{2,0}{-}$	$\frac{1,10 \cdot A}{1-1,8 \cdot 10^{-3} B}$ $\frac{1,12 \cdot A}{1-2,4 \cdot 10^{-3} B}$ $\frac{1,24 \cdot A}{1-1,9 \cdot 10^{-3} B}$	$\frac{1,10 \cdot A}{1-1,3 \cdot 10^{-3} B}$ $\frac{1,12 \cdot A}{1-1,8 \cdot 10^{-3} B}$ $\frac{1,24 \cdot A}{1-1,4 \cdot 10^{-3} B}$	1,010·A 1,012·A 1,024·A

Окончание таблицы Е.1

Условное обозначение или химическая формула модификаторов	Содержание модификаторов, %: от "Ц" от "В"	K_{FM1}	K_{FM2}	K_{FM28}
NH_4 (NaNO_3)	$\frac{1,0}{-}$ $\frac{2,0}{-}$	$\frac{0,97 \cdot A}{1-2,0 \cdot 10^{-3} B}$ $\frac{1,02 \cdot A}{1-2,0 \cdot 10^{-3} B}$	$\frac{0,97 \cdot A}{1-1,5 \cdot 10^{-3} B}$ $\frac{1,02 \cdot A}{1-2,0 \cdot 10^{-3} B}$	$0,97 \cdot A$ $1,02 \cdot A$
CH (Na_2SO_4)	$\frac{1,0}{-}$ $\frac{2,0}{-}$	$\frac{0,7+3,75 \cdot 10^{-2} \cdot (15-C_3A)}{1,0-0,75 \cdot 10^{-3} \cdot (C_3A-1) B}$ $\frac{0,7+3,75 \cdot 10^{-2} \cdot (15-C_3A)}{1,0-0,75 \cdot 10^{-3} \cdot (C_3A-1) B}$	$\frac{0,7+3,75 \cdot 10^{-2} \cdot (15-C_3A)}{1,0-0,75 \cdot 10^{-3} \cdot (C_3A-1) B}$ $\frac{0,7+3,75 \cdot 10^{-2} \cdot (15-C_3A)}{1-0,8 \cdot 10^{-3} \cdot (3+0,15 \cdot C_3A) B}$	$0,7+3,75 \cdot 10^{-2} \cdot (15-C_3A)$ $0,7+3,75 \cdot 10^{-2} \cdot (15-C_3A)$
ПВК	$\frac{1,3}{-}$	$0,25+2,85W_6$	$0,77+1,25 W_6$	$1,11+0,29 W_6$
ГО (NaCl)	$\frac{1,0}{-}$ $\frac{2,0}{-}$	$\frac{0,94 \cdot A}{1-4 \cdot 10^{-3} B}$ $\frac{0,95 \cdot A}{1-4,8 \cdot 10^{-3} B}$	$\frac{0,94 \cdot A}{1-3 \cdot 10^{-3} B}$ $\frac{0,95 \cdot A}{1-3,6 \cdot 10^{-3} B}$	$0,94 \cdot A$ $0,95 \cdot A$
ГО+НН+ЛСТ (ЛИМГ)	$\frac{0,15 \text{ЛСТ}}{4 \text{ГО}+4 \text{НН}}$	$1,4-40(m_{\text{ТВ}}-0,3)^2$	1,1	1,0
Примечание – В представленных зависимостях функциональные коэффициенты А и В имеют следующий вид: $A=0,9+4,7 \cdot 10^{-3} B$; $B=75-R_6$				