НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА
ГОССТРОЯ СССР

РУКОВОДСТВО

ПО РАСЧЕТУ И ПРИМЕНЕНИЮ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АРМОПОЛИМЕРБЕТОНОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

МОСКВА - 1970

gost.e-ecolog.ru

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА
ГОССТРОЯ СССР

РУКОВОДСТВО

ПО РАСЧЕТУ И ПРИМЕНЕНИЮ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АРМОПОЛИМЕРБЕТОНОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

МОСКВА - 1970

П Р Е Д И С Л О В И Е

Строительные конструкции предприятий химической, металлургической, нефтеперерабатывающей, бумажной и других отраслей промышленности, как правило, эксплуатируются в условиях воздействия различных агрессивных сред.

Защита строительных конструкций химически стойкими покрытиями в ряде случаев не обеспечивает достаточной надежности и долговечности сооружений. В связи с этим назрела необходимость в применении таких строительных конструкций, которые сочетают высокую химическую стойкость с высокой прочностью и устойчивостью.

Создание на базе полимербетонов химически стойких строительных конструкций повышает эффективность их эксплуатации (увеличение сроков службы) на предприятиях, подверженных интенсивному воздействию агрессивных сред.

В настоящем Руководстве обобщены и систематизированы результаты научно-исследовательских работ и опытного внедрения химически стойких конструкций из полимербетонов, включающие технологию изготовления, основные физико-механические и физико-химические свойства полимербетонов, прочностные и деформационные характеристики и основные положения по расчету армополимербетонов.

Руководство разработано лабораторией полимербетонов НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР -(канд.техн.наук В.В.Патуроевым) совместно с Московским институтом инженеров транспорта-МИИТ (канд. техн.наук А.И.Чебаненко) и Воронежским инженерно-строительным институтом-ВИСИ(инж.П.А.Андриановым) под руководством д-ров техн.наук профессоров Н.А.Мощанского, С.С.Давыдова и А.М.Иванова.

В подготовке Руководства принимали участие канд.техн.наук И.Е.Путляев, инж.С.Н.Кудинова (НИИЖБ), канд.техн.наук А.С.Жиров, инж.В.М.Бобряшов (МИИТ), кандидаты техн.наук А.Н.Ерофеев, В.Е.Беляев, Л.М.Залан, Ю.Б.Потапов и инж.В.А.Ломухин (ВИСИ).

В Руководстве использованы также материалы Ферганской отраслевой лаборатории фурановых соединений НИИПМ, ЦНИИПодземшахтостроя и др. организаций.

Все предложения и замечания по содержанию настоящего Руководства, а также данные по опытному проектированию и применению армополимербетонов в строительстве просим направлять в НИИЖБ Госстроя СССР по адресу: Москва, Ж-389, 2-ая Институтская ул., д.6.

Дирекция НИИЖБ

I. ТЕРМИНОЛОГИЯ

I.I. Под полимербетонами понимаются бесцементные составы на основе термореактивных синтетических смол с преимущественно кислотостойкими заполнителями и наполнителями различной дисперсности.

I.2. Полимербетоны, как правило, содержат в своем составе три фракции наполнителей и заполнителей: мелкодисперсные наполнители с размером частиц менее 0,I5 мм и заполнители - песок с размером зерен до 5,0 мм и щебень до 40 мм.

I.3. Полимербетоны и полимеррастворы (мелкозернистые полимербетоны) классифицируются следующим образом: для неармированных материалов после наименования "полимербетон" указывается сокращенное название полимерного связующего и вид основного наполнителя. Для армированных материалов (армополимербетонов) перед названием указывается вид армирующего материала. Армирование полимербетонов возможно не только сталью, но и стеклопластиковой арматурой.

Например: полимербетон ФАМ на графите, сталеполимербетон ФАМ на андезите и т.п.

I.4. В отличие от терминологии принятой для силикатных материалов (вяжущее, твердение и т.п.), терминология применительно к высоконаполненным полимерным композициям, в том числе и полимербетонам, включает следующие выражения:

а) с в я з у ю щ е е - представляет собой синтетическую смолу с отвердителями, ускорителями, а при необходимости с пластификаторами, поверхностно-активными и другими компонентами,

б) о т в е р ж д е н и е - полимеризация или поликонденсация синтетического связующего. Практически полное отверждение полимербетонов при обычной температуре I8-20^{0}С и относительной влажности воздуха 60-65% происходит в течение 28-30 суток. Для ускорения

отверждения рекомендуется - после суточного выдерживания полимербетона в обычных условиях сухой прогрев при 80°С в течение 24 часов.

2. ВИДЫ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

2.1. В зависимости от назначения для получения полимербетонов, в качестве связующего могут использоваться термореактивные смолы типа полиэфирных, фенолформальдегидных, фурановых, карбамидных, эпоксидных и их модификаций с другими смолами.

2.2. В зависимости от вида наполнителей и заполнителей и их зернового состава объемный вес полимербетонов может изменяться от 0,5 - 0,6 т/м^3 до 3,5 - 4,0 т/м^3.

Поэтому основные свойства полимербетонов характеризуются не только видом синтетического связующего, но и видом наполнителей и заполнителей.

2.3. Однако, полимербетоны на фурановых смолах типа ФА или ФАМ относятся к наиболее дешевым материалам этого вида и обладают практически универсальной химической стойкостью (кроме окислительных сред высокой концентрации), высокой прочностью и ограниченной ползучестью. Поэтому полимербетоны на этих смолах с объемным весом 2,1 - 2,3 т/м^3 в настоящее время получили наибольшее распространение и в Руководстве рассмотрены преимущественно.

2.4. В отличие от низкомолекулярных материалов полимерные материалы в том числе и полимербетоны в зависимости от скорости деформации, температуры и напряженного состояния могут иметь упругие, высокоэластические и деформации вязкого течения

Высокоэластическая деформация - особый вид деформации, присущий только полимерным материалам.

Под действием внешней нагрузки, деформации молекул полимера

происходят путем последовательного перемещения её сегментов, т.е. протекают во времени. Поэтому высокоэластическая деформация отстает от изменения внешнего силового поля и тем в большей степени, чем более жесткую пространственную структуру имеет полимер.

2.5. На механические свойства полимеров существенное влияние оказывает температура и время, в течение которого полимер находится под действием внешнего силового поля. Поэтому, при оценке прочностных и деформационных характеристик полимербетонов необходимо учитывать не только величину внешнего усилия (σ), деформации (ε) и температуру (t), но и дополнительный фактор - время (τ), которое в конечном итоге определяет длительную прочность полимербетонных конструкций.

2.6. В отличие от цементных бетонов полимербетоны имеют значительно большую усадку и коэффициент температурного расширения (см.табл.6).

2.7. Для стабильных температурно-влажностных условий во второй части Руководства приводятся расчетные формулы и методика расчета несущих химически стойких полимербетонных конструкций. Влияние на длительную прочность повышенной температуры, увлажнения, действия агрессивных жидкостей и других внешних факторов должно учитываться соответствующими коэффициентами.

2.8. Наличие в полимербетоне большого количества составляющих значительно влияет на его однородность. Поэтому при определении кратковременной кубиковой или призменной прочности в первую очередь определяется коэффициент однородности $K_{одн}$, а затем в зависимости от условий эксплуатации и вида напряженного состояния определяются остальные необходимые коэффициенты: длительной прочности $K_{дл}$, температурный $K_{т}$, увлажнения $K_{вл}$ и степени агрессивности $K_{агр}$.

3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СОСТАВОВ

3.1. Полимербетон ФАМ состоит из связующего – фурфуролацетоновой смолы ФАМ, отвердителя – бензолсульфокислоты (БСК) и минеральных наполнителей и заполнителей: молотой минеральной фракции – муки крупностью менее 0,15 мм, песка крупностью 0,15–5,0 мм и щебня крупностью 10–40 мм.

3.2. Фурфурол-ацетоновая смола ФАМ выпускается Ферганским гидролизным заводом и должна соответствовать МРТУ № 6-05 945-64 г.

Бензолсульфокислота (БСК) выпускается Новомосковским химическим заводом в соответствии с ТУ МХП 307-54.

3.3. Для полимербетонов в качестве наполнителей используют кварцевую муку, молотый андезит, кокс, графит и др. В качестве заполнителей кварцевый песок, щебень гранитный, андезитовый, бой кислотоупорной керамики и др.

3.4. Наполнители и заполнители должны быть сухие (влажность муки не более 1% и песка не более 0,5%) и без посторонних примесей. Не допускается загрязнения заполнителей карбонатами (мел, мрамор, известняк и т.п.), основаниями (известь, цемент) и металлической пылью (стальной, цинковой). В случае невыполнения указанных требований, полимербетон будет иметь низкую прочность, плотность и кислотостойкость. При влажности заполнителей и наполнителей выше 2-3% и чрезмерном загрязнении полимербетон может не отвердеть.

3.5. Фурфурол-ацетоновые смолы и бензолсульфокислота должны храниться в герметичной таре (металлические бочки или бидоны). Попадание воды в смолу или отвердитель не допускается.

Хранение всех остальных компонентов, используемых для приготовления полимербетонов должно производиться с учетом вышеприведенных

требований, исключающих попадание воды и загрязнений.

Примечание: Более подробно технологические параметры изложены в"Руководстве по приготовлению и использованию составов на основе термореактивных смол в строительстве". НИИЖБ, Стройиздат, 1969 г.

А) ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВОВ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ

3.6. По своему назначению полимербетонные конструкции делятся на две основные группы. К первой группе относятся не несущие - защитные или ограждающие конструкции (химически-стойкие полы и футеровки, в том числе различных емкостей). Ко второй группе относятся несущие химически стойкие конструкции (трубы, лотки, емкости, фундаментные блоки, балки, колонны, опоры линий электропередач и др.).

Проектирование оптимальных составов этих двух групп имеет принципиальное различие, обусловленное их назначением и свойствами полимербетонов.

3.7. При проектировании составов для полимербетонов относящихся к первой группе необходимо выбирать такие смолы, которые обладают необходимой химической стойкостью в данной среде, сравнительно небольшой жесткостью, малой усадкой и повышенной эластичностью. Такие свойства способствуют релаксации внутренних напряжений и тем самым обеспечивают повышенную долговечность пола и защитных футеровок.

Если эластичность смол оказывается недостаточной, то в связующее вводят различные пластификаторы. При этом повышенная деформативность полимербетона не только не является отрицательным свойством, но практически необходима.

Для таких конструкций во многих случаях вполне достаточна прочность 300-400 кгс/см^2 на сжатие, а иногда и ниже. Поэтому некоторое снижение прочности, связанное с введением пластификаторов также не является определяющим фактором.

3.8. Проектирование составов полимербетонов для несущих конструкций требует учета многих факторов, главными из которых являются следующие:

а) в зависимости от вида агрессивной среды, действующей на конструкции в процессе эксплуатации определяется химическая природа синтетической смолы. Полимербетоны, получаемые на этой смоле должны обладать максимально возможной жесткостью и прочностью,

б) наибольшая прочность полимербетона на фурановых смолах может быть получена на кремнеземистых заполнителях. Несколько меньшую прочность обеспечивают углеграфитовые наполнители, Применение карбонатных наполнителей и заполнителей не допускается.

Кроме того, наполнители и заполнители должны обладать высокой химической стойкостью и прочностью,

в) минимально возможный расход связующего для оптимального зернового состава наполнителей и заполнителей определяется удобоукладываемостью смеси, прочностью и плотностью отвержденного полимербетона. При расходе связующего меньше определенного предела зерна заполнителей и наполнителей неполностью смачиваются, а смесь получается жесткой и плохо укладываемой. При избытке связующего образуется пластичная хорошо укладываемая смесь, но стоимость её значительно возрастает. В обоих случаях прочность полимербетона будет ниже оптимальной,

г) введение в состав связующего различных пластификаторов в большинстве случаев не допускается,

д) количество отвердителя. При его недостатке происходит неполная полимеризация связующего и ухудшение всех физико-механических свойств полимербетона. Избыток отвердителя резко ускоряет сроки до начала схватывания и способствует увеличению температуры экзотермического саморазогрева, что недопустимо. Под действием температурных напряжений в полимербетоне могут появится микро и макро-

трещины и снижение его прочности,

е) высокая жесткость полимербетонов обусловливает возникновение в таких композициях значительных усадочных напряжений, которые в некоторых случаях могут быть соизмеримы с прочностью полимербетона. Для снижения внутренних напряжений в состав полимербетонов рекомендуется вводить (0,5 - I,0%) поверхностно-активных веществ (ПАВ). Кроме того, ПАВ улучшают смачиваемость наполнителей связующим, повышают пластичность смеси и на I0-I5% повышают прочность полимербетона,

ж) известно, что в процессе поликонденсации фурановых и других синтетических смол выделяется некоторое количество воды (до 0,5--0,8%), которая значительно ухудшает физико-механические свойства полимербетонов.

Для улучшения адсорбционного взаимодействия синтетических смол с поверхностью наполнителей, уменьшения деформативности и ползучести в состав полимербетонов рекомендуется вводить фтористые соединения, типа кремнефтористого натрия в количестве I,5-2,0% от веса связующего. Введение поверхностно-активных веществ и фтористых соединений способствуют образованию более прочных химических связей на границе раздела фаз, полимер-наполнитель,

з) несущие конструкции из полимербетонов в большинстве случаев могут быть армированы по аналогии с цементными бетонами стальной арматурой. Для конструкций эксплуатируемых в условиях воздействия электрического тока необходимо применять стеклопластиковую арматуру,

и) непременным условием проектирования составов должна быть экономическая целесообразность и эффективность применения таких конструкций.

Б) МЕТОДИКА РАСЧЕТА СОСТАВОВ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ

3.9. Расчет состава полимербетона проводится с определения оптимального количества связующего для мастики по формуле:

$$G_{маст} = \frac{\mathcal{F}_н \cdot G_н \cdot \gamma_{св} \cdot \delta \cdot \eta_{усл}}{1000} \quad кг; \qquad (I)$$

где $G_{маст}$ – оптимальное количество связующего для мастики, кг.

$\mathcal{F}_н$ – удельная поверхность наполнителей (муки) $\frac{см^2}{кг}$

$G_н$ – вес наполнителя (муки), кг.

$\gamma_{св}$ – удельный вес связующего, кг/дм^3

δ – толщина пленки связующего $\delta = 0{,}00015$ см

$\eta_{усл}$ – отношение фактической вязкости смолы к вязкости смолы = 20 сек по ВЗ-4 – принятой за эталон.

Расчеты, подтвержденные экспериментально, показывают, что оптимальное отношение связующее-наполнитель составляет от I:I,5 до I:2,0.

3.I0. Для известного гранулометрического состава сухой смеси оптимальное количество связующего для полимербетона определяется по формуле:

$$G_{п.б} = \frac{K(\mathcal{F}_1 G_1 + \mathcal{F}_2 G_2 + \mathcal{F}_3 G_3 + \ldots \mathcal{F}_n G_n)\gamma_{св}\,\delta\,\eta_{усл}}{1000} \quad кг; \qquad (2)$$

где $G_{п.б.}$ – оптимальное количество связующего для полимербетона принятого состава, кг

$\mathcal{F}_1, \mathcal{F}_2, \mathcal{F}_3, \ldots \mathcal{F}_n$ – удельная поверхность заполнителей различных фракций (щебень крупный, щебень мелкий, песок), см^2/кг.

$G_1, G_2, G_3 \ldots G_n$ – вес заполнителей различных фракций, кг.

K – коэффициент, учитывающий увеличение количества связующего необходимого для раздвижки зерен заполнителя мастикой (К = I,05).

3.II. Удельная поверхность наполнителей (муки) определяется по известным методикам[x/].

Удельную поверхность заполнителей (щебня, песка), с достаточной для практических целей точностью, можно вычислить по ситевому анализу:

$$S_{уд.п} = 0{,}06\left(a_1\frac{q_1}{\gamma_n}K_1 + a_2\frac{q_2}{\gamma_n}K_2 + a_3\frac{q_3}{\gamma_n}K_3 + a_4\frac{q_4}{\gamma_n}K_4 + a_5\frac{q_5}{\gamma_n}K_5\right)\frac{см^2}{кг}, \quad (3)$$

$$S_{уд.щ} = 0{,}06\left(a_1\frac{q_1}{\gamma_{щ}}K_1 + a_2\frac{q_2}{\gamma_{щ}}K_2 + a_3\frac{q_3}{\gamma_{щ}}K_3 + a_4\frac{q_4}{\gamma_{щ}}K_4 + a_5\frac{q_5}{\gamma_{щ}}K_5\right)\frac{см^2}{кг}; \quad (4)$$

где $S_{уд.п}$ и $S_{уд.щ}$ – удельная поверхность песка и щебня соответственно $см^2/кг$

a – пустотность заполнителей

$q_1 \dots q_5$ – остаток заполнителя в г.(при навеске I кг) на ситах с отверстиями соответственно 2,5; I,2; 0,6; 0,3 и 0,I5 мм для песка и на ситах с отверстиями соответственно 5; I0; 20; 30; 40 мм для щебня.

$\gamma_п$ и $\gamma_щ$ – удельный вес песка и щебня, $кг/дм^3$

$K_1 \dots K_5$ – соответственные коэффициенты геометрической формы заполнителя.

Значение коэффициентов "а" и "к" принимаются по таблицам I и 2. Удельная поверхность наиболее распространенных наполнителей и заполнителей приведена в табл.3.

---

x/ Г.С.Ходаков "Основные методы дисперсионного анализа порошков" Стройиздат I968 г.

3.I2. При проектировании и расчете составов полимербетонов гранулометрический состав сухой смеси обычно неизвестен, в таких случаях он подлежит определению.

Исходя из условий получения полимербетонов с максимальной плотностью, прочностью и достаточно хорошей удобоукладываемостью при минимальном расходе синтетических смол, выбор составов сухой смеси производится по методу полупрерывистой гранулометрии.

Примечание: Сущность полупрерывистой гранулометрии заключается в том, что наполнитель (минеральная мука) и песок имеют естественную непрерывную гранулометрию, а щебень строго фракционирует в соответствии с теорией плотной упаковки.

3.I3. На основании теории плотной упаковки шарообразные зерна одинакового диаметра d занимают объем

$$U_{ш} = \frac{\pi d^3}{6} \cdot \frac{1}{d^3} = 0{,}5236 \ , \qquad (5)$$

Размер и отношение между самым крупным диаметром щебня и последующими фракциями определяется исходя из следующей математической зависимости:

$$Д_I : Д_2 : Д_3 = I:I:2$$

$$Д_2 = 0{,}4I4\ Д_I; \qquad Д_3 = 0{,}225\ Д_I$$

где $Д_I$ – размер наиболее крупной фракции щебня,

$Д_2$ и $Д_3$ – последующие размеры щебня.

При этом $Д_I$ выбирается в пределах I/5 + I/6 минимального сечения конструкции.

3.I4. Если принять размер $Д_I$ равным I, то объем занимаемый тремя фракциями щебня составит:

$$Д_I + Д_2 + 2Д_3 = 0{,}5230 + 0{,}037 + 2(0{,}0057) = 0{,}570$$

Третья фракция щебня увеличивает степень заполнения на I%. Поэтому для полимербетона с максимальной крупностью щебня до 30 мм можно принимать одну фракцию щебня. Для полимербетонов с максимальной крупностью 35 мм и выше рекомендуется две фракции щебня. В этом случае одна фракция щебня $Д_I$ займет 52% объема, а две фракции $Д_I + Д_2 = 56\%$ объема.

Объем пустот составит:

$$V_1 = I - 0,52 = 0,48 \quad \text{и} \quad V_2 = I - 0,56 = 0,44$$

3.I5. Для получения плотного и достаточно пластичного полимербетона необходимо чтобы полимерная мастика заполнила все пустоты между зернами песка и щебня и раздвинула их на величину равную средней крупности зерен наполнителя (муки). Одна весовая часть полимерной мастики может заполнить пустотность следующего количества песка:

$$G_n = \gamma_n' \frac{\frac{1}{\gamma_н} + \frac{G_{см}}{G_н}}{V_n + a} = I,3 \frac{0,375 + 0,4}{0,4 + 0,5} = I,II9 \qquad (6)$$

где G_n – расчетное количество песка, кг,

γ_n' – объемный вес песка = I,3 + I,4 кг/т,

$\gamma_н$ – удельный вес наполнителя (муки),

$G_{см}$ – вес смолы, кг,

$G_н$ – вес наполнителя, кг,

V_n – объем пустот в песке = 0,4,

a – коэффициент удобоукладываемости = 0,5

3.I6. Таким образом, для получения плотного полимербетона с двумя фракциями щебня одна весовая часть мастики и I,II9 весовых частей песка должны заполнить 44% пустот образованных щебнем.

Пересчитав (путем несложных преобразований) полученные величины в процентах получим, что для заполнения 44% образованных щебнем

Таблица I

Значение коэффициента К для некоторых заполнителей

Вид заполнителя	Размеры зернового состава заполнителя, мм.									
	2,5 – 5 K_I	I,2 – 2,5 K_2	0,6 – I,2 K_3	0,3 – 0,6 K_4	0,I5 – 0,3 K_5	5–I0 K_I	I0–20 K_2	20–30 K_3	30–40 K_4	40–50 K_5
I. Кварцевый песок речной	I,55	I,45	I,35	I,25	I,I5	–	–	–	–	–
2. Щебень из базальта, гранита и других горных пород	–	–	–	–	–	I,80	I,85	I,85	I,85	I,85
3. Гравий речной	–	–	–	–	–	I,43	I;50	I,55	I,60	I,60

Таблица 2

Значение коэффициента a при стандартном наборе сит

№№ пп	Вид заполнителя	a_I	a_2	a_3	a_4	a_5
I.	Кварцевый песок	2,7	5,4	II,0	22,3	44,5
2.	Щебень	I,33	0,67	0,40	0,285	0,20

Таблица 3

Характеристика заполнителей и наполнителей

№№ пп	Вид заполнителей и наполнителей.	Размер фракции в мм												
		40-20 мм			20-10 мм			10-5			3-0,15		Мука	
		Удельный вес г/см³	Удельная поверхность см²/г.	Пористость в %.	Удельный вес г/см³	Удельная поверхность см²/г.	Пористость в %.	Удельный вес г/см³	Удельная поверхность см²/г.	Пористость в %.	Удельный вес г/см³	Удельная поверхность см²/г.	Удельный вес г/см³	Удельная поверхность см²/г.
I.	Гранитный щебень	2,65	I,35	0,9	2,67	2,7	0,85	2,67	5,4	0,83				
2.	Базальтовый щебень	2,67	I,4	3,7	2,64	2,72	3,4	2,64	5,43	3,4				
3.	Известковый щебень	2,60	I,4I	I,27	2,60	2,82	I,2	2,60	5,4	I,2				
4.	Гравий речной	2,60	I,I6	I,64	2,60	2,3I	I,6	2,60	4,38	I,52				
5.	Песок кварцевый	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,65	I40,0		
6.	Андезитовая мука	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,6-2,7	2100-3300
7.	Кварцевая мука	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5-2,65	2500-3200
8.	Графитовая мука	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,3-2,6	3800

пустот мастики требуется 21%, а песка 23%.

В окончательном виде состав полимербетона по весу будет следующий I:I, 5:3, 0:7 (связующее, наполнитель, песок, щебень).

3.I7. Во многих случаях более удобно пользоваться не весовым отношением, а составом смеси, выраженном в процентах. Средние значения составов полимербетонов в процентах приведены в табл.4.

3.I8. Для различных месторождений и способов переработки характерна специфическая геометрическая форма и удельная поверхность зерен песка и щебня. Поэтому при организации производства, в каждом конкретном случае, состав полимербетона рассчитанный по вышеприведенной методике или взятый по табл.4 должен быть уточнен на пробных замесах.

Таблица 4

Средние значения составов полимербетонов

№№ пп	Составляющие	Размер фракции	Содержание в %
I.	Щебень	$Д_I$	50,0 - 5I,0
2.	Щебень	$Д_2$	3,0 - 3,5
3.	Песок		23,0
4.	Мука (андезитовая, кварцевая и др.)		I2 - I2,5
5.	Фурфурол-ацетоновая смола ФАМ		8,0 - 8,5
6.	Бензолсульфокислота БСК		I,5
7.	Кремнефтористый натрий		I,5 - 2,0 (от веса смолы).

4. ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ

А. Основные требования к конструкциям из полимербетонов

4.I. Конструкции из армированного полимербетона - сталеполимербетона должны соответствовать рабочим чертежам и техническим

условиям на изготовление изделий с учетом требований соответствующих глав СНиП I-В.5-62 "Железобетонные изделия. Общие указания"; СНиП I-В.5.I-62 "Железобетонные изделия для зданий; СНиП I-В.5.2--62 "Железобетонные изделия для сооружений".

4.2. Размеры и расположение закладных деталей и выпусков арматуры должны соответствовать рабочим чертежам.

Отклонение длины, ширины и смещения осей от проектного положения не должны превышать ± 3 мм.

4.3. Каждая сталеполимербетонная конструкция подлежит проверке после изготовления и при поступлении на строительную площадку. При этом определяются проектные размеры, правильность расположения закладных деталей, выпусков арматуры и контрольных рисок, отсутствие деформаций, трещин и сколов. На лицевых поверхностях изделий не должно быть трещин, раковин диаметром более 3-5 мм и сколов общей площадью более I0 $см^2$ и глубиной более 5 мм.

4.4. Допустимые отклонения сталеполимербетонных конструкций от проектных размеров приводятся в табл.5.

Таблица 5

Предельные допустимые отклонения от проектных размеров сборных сталеполимербетонных конструкций в мм

№№ пп	Наименование изделий	Допустимые отклонения в мм		
		по длине	по ширине	по толщине или высоте
I.	Фундаментные блоки, башмаки и т.п.	± I0	± I0	± I0
2.	Стойки, колонны и т.п.	± 3	± 3	± 3
3.	Прогоны, балки, ригели длиной до 6 м.	+ 8 - 4	± 5	± 5

Б) ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ

4.5. Приготовление полимербетонов заключается в тщательном перемешивании наполнителей и заполнителей со смолой и отвердителем.

4.6. Для приготовления полимербетонов необходимо иметь следующее оборудование:

а) бетономешалку принудительного действия, емкость которой выбирается в зависимости от необходимой производительности;

б) металлические емкости с системой трубопроводов для подачи синтетической смолы в бетономешалку;

в) металлическую емкость с паровой рубашкой и системой трубопроводов для расплавления БСК и подачи расплавленной кислоты в бетономешалку;

г) весы, дозаторы и мерную посуду для дозировки компонентов;

д) приборы для измерения вязкости смол, влажности наполнителей и температуры полимербетона.

4.7. Технологический процесс приготовления полимербетонной смеси должен проводиться при нормальной температуре не ниже 15°С. При этом рекомендуется следующая очередность загрузки компонентов в бетономешалку:

1. загрузка крупной фракции заполнителей (щебня);

2. загрузка песка и муки (одновременно);

3. загрузка смолы ФАМ;

4. загрузка бензолсульфокислоты (БСК).

Непосредственное смешивание смолы ФАМ и отвердителя БСК не допускается.

4.8. Перед загрузкой песка и муки необходимо 3-4 минуты вращать барабан бетономешалки с загруженным щебнем. Такая операция необходима для очистки бетономешалки от остатков предыдущего замеса.

Перемешивание щебня с песком и мукой производится до получения

однородной смеси (примерно 3-4 мин.). После этого заливается смола ФАМ. Перемешивание заполнителей со смолой производится до получения однородной (по цвету) массы и длится 4-5 мин. Предварительно, расплавленную бензолсульфокислоту заливают в бетономешалку в последнюю очередь.

Полученную смесь с введенной бензолсульфокислотой перемешивают еще 3-4 мин. БСК расплавляют при 50-60°С и перед заливкой в бетономешалку охлаждают до 35-40°С. Общий цикл перемешивания занимает 8-12 минут.

4.9. При введении отвердителя происходит разогрев смеси (выделение тепла экзотермической реакции), который ускоряет процесс отверждения. Поэтому длительное перемешивание смеси с отвердителем нежелательно. В то же время недостаточно тщательное перемешивание может привести к снижению физико-механических свойств полимербетона. Оптимальное время перемешивания зависит от консистенции полимербетона и температуры окружающей среды и подбирается опытным путем.

в) Формование и отверждение конструкций из полимербетона

4.10. При формовании конструкций из полимербетона необходимо предусмотреть такую организацию производства работ, которая позволяет до минимума сократить разрыв между приготовлением смеси и её укладки в опалубку, так как при длительных сроках формования вязкость смеси увеличивается, ухудшаются условия укладки и уплотнения полимербетона.

4.11. С целью сокращения времени укладки полимербетона опалубка должна быть предварительно очищена, тщательно смазана и установлена по возможности ближе к бетономешалке. При формовании конструкций необходимо применять устройства (желоба, лотки и т.п.)

позволяющие подавать полимербетон из бетономешалки непосредственно в опалубку.

4.12. В качестве разделительного слоя на внутренней поверхности опалубки необходимо наносить смазку из солидола или парафина. При этом особое внимание необходимо обращать на элементы опалубки со сложной конфигурацией. При некачественном нанесении разделительного слоя, опалубка трудно отделяется от полимербетона.

4.13. Во время бетонирования установка закладных деталей и их фиксирование должно выполняться в соответствии со специальными указаниями, отмеченными в чертежах.

4.14. При формовании конструкций из полимербетона необходимо следить за правильной установкой арматуры. Во всех конструкциях толщина защитного слоя арматуры должна выдерживаться в соответствии с рабочими чертежами и быть не ниже 25-30 мм (см. п. 9.11)

4.15. Уплотнение полимербетона в опалубке должно производиться на виброплощадках, глубинными или навесными вибраторами. Для этих целей пригодны вибраторы с параметрами, применяемыми при изготовлении железобетонных изделий. Уплотнение следует производить после каждого замеса. Окончание вибрирования определяется по выделению на поверхности полимербетона жидкой фазы.

4.16. Отформованные конструкции должны иметь наружные и внутренние поверхности ровные без раковин и повреждений. Свеже отформованные конструкции из полимербетона должны быть защищены от солнечной радиации, попадания воды и различных загрязнений.

4.17. Твердение полимербетона может происходить в естественных условиях (температура не ниже 15°С, влажность воздуха 60-65%) в течение 28-30 суток. Для ускорения отверждения конструкции из полимербетона (после суточной выдержки при нормальной температуре)

подвергают прогреву в течение суток при температуре 80°С (сухой прогрев). Скорость подъема и снижения температуры - не более 0,5°С в минуту.

4.18. При температуре воздуха 20-25°С распалубку можно производить через 3-4 часа. При более высокой температуре время до начала распалубки сокращается до 2-3 часов.

5. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ

5.1. Контроль качества полимербетона должен производиться, начиная с проверки качества всех составляющих, правильности дозировки, режимов перемешивания, уплотнения и твердения.

5.2. Признаками нормального качества полимербетона служат:

1. цвет смеси при перемешивании и формовании и разогрев полимербетона в процессе отверждения;

2. нарастание твердости в процессе отверждения;

3. прочностные характеристики и однородность после отверждения.

5.3. После введения отвердителей (БСК) и качественного перемешивания полимербетонная смесь ФАМ должна иметь темнофиолетовый цвет. Наличие желтизны или изумрудных пятен является признаком недостаточного перемешивания.

5.4. Чере 15-20 минут после укладки и виброформования полимербетонная смесь начинает разогреваться: в монолитных конструкциях - до 60-70°С. Слабый разогрев или отсутствие разогрева свидетельствует о плохом качестве смолы, отвердителя или высокой влажности заполнителей.

5.5. Для определения контрольной прочности полимербетона одновременно с изготовлением конструкции формуют шесть кубиков 10х10х х10 см (на каждую конструкцию). При этом 3 кубика испытывают после

суточного отверждения при нормальной температуре и последующем прогреве при 80°С в течение 24 часов, а остальные три кубика после 28-30 суток отверждения при нормальной температуре.

Как в первом, так и во втором случаях кубиковая прочность на сжатие должна быть не ниже указанной в чертеже.

5.6. После проверки готовых конструкций в соответствии с пунктами 4.1; 4.2; 4.3; 4.4 настоящего Руководства на каждом изделии проставляется масляной краской дата изготовления, порядковый номер и при необходимости наносятся осевые риски. На соответствующие контрольные кубики наносится дата изготовления и порядковый номер.

5.7. Для определения показателя изменчивости прочности из одного рядового замеса формуют не менее 12 кубиков 10х10х10 см и отверждают с прогревом при 80°С в соответствии с п.4.17.

5.8. Результаты испытаний контрольных кубиков и кубиков для определения показателя изменчивости прочности записываются в специальный журнал с указанием даты изготовления, даты испытания и режимов отверждения.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ

6.1. Изменчивость показателей прочности является важнейшей характеристикой полимербетона. Показатель изменчивости в основном зависит от свойств исходных материалов и особенностей процесса приготовления полимербетонной смеси и формования конструкций, т.е. учитывает фактический уровень технологического процесса изготовления конструкций и изделий из полимербетонов.

6.2. Оценку прочности полимербетонов производят по показателю изменчивости прочности полимербетона (C_v), вычисляемому по формуле:

$$C_v = \frac{S}{\bar{R}} \qquad (7)$$

где $\bar{R}$ – среднее арифметическое значение временного сопротивления образцов-кубов при сжатии в кгс/см^2,

S – среднее квадратичное отклонение прочности от среднего значения ($\bar{R}$) в кгс/см^2.

Среднее арифметическое значение временного сопротивления ($\bar{R}$) вычисляется по формуле:

$$\bar{R} = \frac{\Sigma R}{n} \qquad (8)$$

где R – временное сопротивление сжатию отдельного образца в кгс/см^2,

n – число испытанных образцов.

Среднее квадратичное отклонение (S) в кгс/см^2 вычисляют по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma (R - \bar{R})^2}{n - 1}} \qquad (9)$$

Примечание: Если число испытанных образцов $n \geq 30$, то в знаменателе подкоренного выражения (формула 9) значение " n -I" заменяют на " n ".

6.3. Для каждого определения показателя изменчивости (C_v) количество образцов, изготавливаемых из одного замеса в лабораторных условиях или изготовленных из общей смеси в производственных условиях, должно составлять не менее I2 шт.

7. ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРБЕТОНОВ И РАЦИОНАЛЬНЫЕ ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

7.I. В результате обобщения исследований, выполненных в различных научно-исследовательских организациях в табл.6 приведены

показатели основных физико-механических свойств полимербетонов, определяющие рациональные области их применения.

7.2. Высокая плотность, прочность, сопротивляемость истиранию, практически универсальная химическая стойкость и другие положительные свойства позволяют рекомендовать полимербетоны в следующих областях строительства:

а) износостойкие покрытия плотин ирригационных сооружений и конструкции портовых сооружений,

б) устройства химически стойких полов производственных зданий с агрессивными средами, сточных каналов, лотков, нейтрализаторов и подобных сооружений, подвергаемых агрессивным воздействиям,

в) бетонирование шахтных стволов, кольцевые коллекторы подземных сооружений, химически стойкие и дренажные трубы,

г) сливные колодцы и различные емкости для агрессивных жидкостей,

д) несущие химически стойкие конструкции типа фундаментных блоков, башмаков, колонн, стоек, балок и тому подобных конструкций для промышленных предприятий с высоким агрессивным воздействием на строительные конструкции,

е) траверс ЛЭП, контактных опор и других подобных конструкций с высоким электросопротивлением.

8. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ И УСАДОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ПОЛИМЕРБЕТОНЕ

8.I. При отверждении термореактивных синтетических смол за счет экзотермических реакций полимеризации или поликонденсации, общее количество выделяемого тепла составляет от 60 ÷ 80 до I20 ÷ I40 ккал/кг.

Ненаполненные полиэфирные, фурфурол-ацетоновые и многие другие термореактивные смолы не могут быть отверждены в значительных

Таблица 6

Средние физико-механические свойства тяжелых полимербетонов

Физико-механические свойства	Единица измерения	Показатели
Объемный вес	кг/м^3	2100-2300
Кратковременная прочность: при сжатии	кгс/см^2	700-900
изгибе	-"-	100-200
растяжении	-"-	50-80
Модуль упругости при сжатии	-"-	(180-260).10^3
Удельная ударная вязкость	кгс.см/см^2	1,5 - 2,5
Твердость по Бринеллю	кгс/см^2	40-42
Усадка при отверждении:		
объемная	%	0,3
линейная	%	0,1
Водопоглощение за 24 часа	%	0,05 - 0,3
Водопроницаемость (при толщине 30 мм)	-	Непроницаем при 25 атм.
Термостойкость	град.	170
Теплопроводность	ккал/кг.град.	0,68-0,75
Морозостойкость не ниже	циклов	300
Сцепление со стальной арматурой	кг/см^2	60-80
Сцепление со стеклопластиковой арматурой	-"-	100-160
Коэффициент термического расширения (КТР)	1/град	(15-20) $\cdot 10^{-6}$
Удельное электрическое сопротивление:		
поверхностное	ом	3,7.10^{10}
объемное	ом.см	5,8.10^8
Электрическая прочность	кв/мм	10-12
Тангенс угла диэлектрических потерь при 50 гц и 65% относительной влажности	-	0,08
Истираемость	г/см^2	0,018 - 0,21

объемах так как в процессе полимеризации или поликонденсации они разогреваются до 240-280°С. При такой температуре происходит термическая деструкция полимера и появляются большие температурные напряжения, которые полностью разрушают изделие.

8.2. Введение минеральных наполнителей и заполнителей значительно снижает максимальную температуру саморазогрева, но она может оставаться еще достаточно высокой и под действием температурных напряжений в конструкции могут появиться трещины.

8.3. Экспериментальное определение температуры в реальных конструкциях показало, что при содержании в полимербетоне 9-10% связующего температура в балках и колоннах распределяется по сечению от 60-70°С в центре сечения до 35-40°С на поверхности. При увеличении связующего до 11-12% температура в центре сечения поднимается до 80-90°С и на поверхности 40-45°С.

Выполненные на электронно-вычислительной машине расчеты показали, что при содержании связующего около 12% сжимающие напряжения в центре сечения составляют от 80 до 120 кгс/см^2, а растягивающие на поверхности сечения - 90-115 кгс/см^2. В этом случае растягивающие напряжения превышают временное сопротивление полимербетонов растяжению и в некоторых конструкциях появятся трещины, что и наблюдалось в реальных конструкциях.

8.4. Перед организацией выпуска новых изделий для каждой конкретной конструкции необходимо рассчитать максимальные растягивающие температурные напряжения и сравнить их с временным сопротивлением полимербетона растяжению.

$$\sigma_t = \frac{(\alpha \Delta t_{max} - \alpha_0 t_1)(E_0 - \kappa \Delta t_{max}) 10^3}{1-\mu} \psi \quad \frac{кгс}{см^2} \qquad (10)$$

где σ_t – температурные напряжения, кгс/см^2;

E_o – модуль упругости при нуле градусов, кгс/см^2;

K – коэффициент (0,95–I,0);

t и t_{max} – температура саморазогрева на поверхности и в центре сечения соответственно, ^{0}С;

α – коэффициент температурного расширения;

μ – коэффициент Пуассона (0,34–0,4);

ψ – коэффициент релаксации температурных напряжений (0,6 – 0,7).

8.5. Если температурные напряжения окажутся выше допустимых, необходимо пересмотреть состав полимербетона и снизить количество связующего или изменить геометрическую форму конструкции таким образом, чтобы улучшить теплообмен с окружающей средой.

Примечание: Весьма эффективным способом является образование конструктивных пустот или полостей, так как наличие пустотообразователей и развитая поверхность обусловливают снижение общего объема полимербетона укладываемого в форму и улучшают теплообмен с окружающей средой.

8.6. Усадочные деформации, проявляющиеся в процессе отверждения полимербетонов и обуславливающие развитие усадочных напряжений значительно выше чем у цементных бетонов. При этом в центре сечения изделия или конструкции развиваются напряжения растяжения, а на поверхности – напряжения сжатия. Эти напряжения во многих случаях приводят к появлению усадочных трещин.

8.7. Максимальные усадочные напряжения могут быть определены по формуле:

$$\sigma_y = \frac{\gamma_{max} E_{n.б.} A \psi}{(1-\mu)(1+m)103}, \frac{кгс}{см^2} \qquad (II)$$

где ε_{max} – максимальная усадка полимербетона, мм/м;

$E_{п.б.}$ – модуль упругости полимербетона;

A – величина упругих деформаций (0,3–0,4);

μ – коэффициент Пуассона (0,34–0,4);

ψ_1 – коэфициент релаксации усадочных напряжений (0,8–0,9).

$$m = \frac{E_{п.б.} F_{п.б}}{E_{ст.} F_{ст}} = \frac{E_{п.б.}}{E_{ст}} \cdot \frac{1}{\nu} \cdot 10^2 \qquad (12)$$

где $E_{ст}$ – модуль упругости стали;

ν – коэффициент армирования конструкции в %.

Примечание: Максимальная усадка (ε_{max}) для полимербетонов на фурановых смолах ФАМ составляет примерно I мм/м.

9. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА НЕСУЩИХ СТАЛЕПОЛИМЕРБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

9.I. Исходными предпосылками проектирования являются:

– выявление области возможного и целесообразного применения сталеполимербетона в несущих конструкциях;

– определение основных критериев технико-экономического обоснования проектируемой конструкции с учетом влияния специфических эксплуатационных требований, устанавливаемых по степени агрессивности среды.

Из сталеполимербетона можно проектировать и изготовлять основные элементы несущих конструкций: колонны (стойки), балки, плитки (настилы), одноэлементные фундаменты (башмаки), кольца, тюбинги тоннельных обделок и коллекторов и др.

Сталеполимербетон используется в конструкциях рамных крепей подземных выработок и шахтных стволов. Сталеполимербетон рекомен-

дуется для шпал и опор контактной сети, подвергающихся воздействию электрокоррозии. В опытном порядке рекомендуется сталеполимербетон на мелком заполнителе для изготовления сводчатых тонкостенных конструкций.

Проектирование и применение рамных сталеполимербетонных конструкций рекомендуется для несложных и четко установленных расчетно-конструктивных схем, обеспечивающих необходимую прочность, общую устойчивость и неизменяемость на всех стадиях эксплуатации и монтажа.

9.2. Расчет сталеполимербетонных конструкций должен производиться:

а) по несущей способности (I-ое предельное состояние) на прочность и устойчивость - для конструкций, находящихся под воздействием статической нагрузки; на выносливость - для конструкций подвергающихся воздействиями многократно повторяющейся подвижной или пульсирующей нагрузки. Оценка несущей способности конструкции производится на воздействие расчетных нагрузок при неблагоприятных сочетаниях их. Вероятность этих сочетаний учитывается коэффициентами сочетаний в соответствии с указаниями главы СНиП П-А.П-62;

б) по деформациям при сохранении несущей способности (2-ое предельное состояние);

в) по образованию трещин при сохранении несущей способности (3-е предельное состояние). Сталеполимербетон применяют в основном для конструкций, эксплуатируемых в агрессивных условиях среды, и образование трещин в них не допускается.

Расчет сталеполимербетонных конструкций по образованию трещин и по деформациям производят на воздействия нормативных нагрузок при неблагоприятных сочетаниях их.

9.3. Величины нормируемых и расчетных нагрузок устанавливаются согласно требованиям главы СНиП П-А.П-62.

При расчете сталеполимербетонных конструкций на длительное (долговременное) силовое воздействие все временные нагрузки, рассматриваемого сочетания, продолжительность действия которых более 10 суток, умножают на коэффициент $m_{d_1} = 0,9$; временные нагрузки, продолжительность действия которых находится в пределах от 1 до 10 суток, умножают на коэффициент $m_{d_2} = 0,6$.

Примечание: Независимо от климатического района продолжительность действия снеговой нагрузки принимается более 10 суток, а ветровой - менее 10 и более 1-х суток.

9.4. Нормативные и расчетные характеристики полимербетонов, рекомендуемых для изготовления несущих конструкций, а также коэффициенты, учитывающие условия работы материала в различных средах, приведены в разделе 10 настоящего Руководства.

9.5. Для армирования полимербетонов применяется стержневая стальная арматура периодического профиля класса не выше А-IУ. Сортамент и качество арматурной стали для закладных деталей должны удовлетворять требованиям глав СНиП I-В.4-62, I-В.12-62.

Расчетные сопротивления R_{ac} стальной арматуры, размещаемой в сжатой от внешней нагрузке зоне, принимаются по величине такими же как и для растянутой арматуры того же класса; во всех случаях величина R_{ac} не должна быть более 4000 кг/см^2.

9.6. Армирование изгибаемых и внецентренно нагружаемых элементов сталеполимербетонных конструкций поперечной арматурой, впредь до разработки надежных методов расчета прочности и трещиностойкости наклонных сечений, производят по конструктивным соображениям, руководствуясь соответствующими указаниями и требованиями главы СНиП П-В.1-62 (пп.12.17, 12.18, 12.23, 12.25, 12.30, 12.33 и 13.14). При этом должно соблюдаться условие (32) п.11.6 настоящего Руководства.

На приопорных участках изгибаемых сталеполимербетонных элементов рекомендуется применять армирование наклонными хомутами и стержнями (угол наклона к оси элемента следует принимать 45^{0}).

9.7. Разрешается в опытном порядке применять высокопрочную проволочную арматуру и изделия из нее для изготовления предварительно напряженных сталеполимербетонных конструкций (возможность применения предварительного напряжения проверена на сталеполимербетонных опорах контактной сети и шпалах натуральных размеров).

Расчет предварительно напряженных элементов сталеполимербетонных конструкций по образованию трещин, впредь до разработки специальной инструкции, рекомендуется производить по формулам для железобетонных конструкций с напрягаемой арматурой с необходимыми уточнениями, учитывающими специфические свойства полимербетона; величины потерь предварительного напряжения арматуры должны быть при этом специально обоснованы.

9.8. Разрешается в опытном порядке для армирования ряда специальных конструкций из полимербетонов (траверсы ЛЭП, емкости для электролиза металлов и т.п.) применять неметаллическую коррозиестойкую арматуру (стеклопластиковая стержневая арматура, стеклонити, стеклошпон и др.).

9.9. Конструкции из сталеполимербетона рекомендуется проектировать преимущественно в виде сборных или сборно-монолитных элементов отвечающих условиям механизированного приготовления их в специализированных цехах предприятий.

Массивные сталеполимербетонные элементы, имеющие отношение открытой поверхности к их объему менее 15, необходимо изготовлять по специально разработанной технологии, не допускающей температур саморазогрева отверждающегося полимербетона свыше 70^{0}С.

9.10. Размеры поперечного сечения центрально и внецентренно

сжатых сталеполимербетонных элементов должны во всех случаях приниматься такими, чтобы их гибкость в любом направлении не превышала 104 (для прямоугольных сечений $l_0 : b \leq 30$, (см.табл.II).

Минимальный размер их поперечного сечения определяется из условия требований к расположению арматуры и соблюдение величины защитного слоя. Арматуру следует располагать по всему контуру сечения с минимально допустимым защитным слоем.

9.II. Толщина защитного слоя для сталеполимербетонных конструкций, соприкасающихся с агрессивными жидкостями, должна быть не менее 25 мм. Во всех остальных случаях защитный слой должен быть не менее I5 мм, а при диаметре арматуры более 20 мм – не менее 20 мм.

9.I2. Помимо отмеченных требований и рекомендаций, впредь до разработки специальной инструкции по вопросам конструирования сталеполимербетонных элементов, необходимо руководствоваться "Инструкцией по проектированию железобетонных конструкций" Стройиздат, I968) и соответствующими требованиями главы СНиП П-В.I-62.

9.I3. Для повышения жесткости элементов сталеполимербетонных конструкций в некоторых случаях целесообразно сжатую от внешней нагрузки зону сечения снабжать жесткой арматурой или железобетонными вкладышами. Вкладыши из цементных бетонов предварительно покрываются пленкой, обладающей надежной адгезией к полимерному бетону (например, состав на основе каучукового латекса СКС-65 ГП).

I0. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КОЭФФИЦИЕНТЫ УСЛОВИЙ РАБОТЫ КОНСТРУКТИВНЫХ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ

I0.I. Для изготовления несущих конструкций применяются полимербетоны, удовлетворяющие требованиям разделов 3-8 настоящего Руководства.

I0,2. Механические свойства полимербетона определяются по

данным испытаний стандартных образцов в соответствии с "Руководством по методам испытаний полимербетонов" (НИИЖБ, 1970 г.).

10.3. Основными характеристиками полимербетона являются его марки по прочности на осевое сжатие $\bar{R}$ и по прочности на осевое растяжение $\bar{R}_p$.

Примечание: Марки полимербетона, устанавливаемые по другим признакам, здесь не рассматриваются.

За марку полимербетона по прочности на сжатие $\bar{R}$ принимается средний предел исчерпания прочности (в кГ/см^2) стандартных призм или кубиков сечением 10х10 см при скорости нагружения их не менее 600 кГ/см^2 в мин. и не более 10000 кГ/см^2 в минуту.

За марку полимербетона по прочности на растяжение $\bar{R}_p$ принимается средний предел исчерпания прочности (в кГ/см^2) стандартных призм - "лопаток" при скорости нагружения их не менее 600 кГ/см^2 в мин.

10.4. Основные механические характеристики рекомендуемых к применению фурфуролацетоновых полимербетонов для конструкций, находящихся в нормальных температурно-влажностных условиях среды (температура 20^{0}С; влажность 60-70%), приведены в табл.7.

10.5. Расчетные характеристики полимербетона должны приниматься против их основных значений (табл.7) путем умножения их на коэффициенты условий работы, учитывающие различные неблагоприятные факторы, температурно-влажностный режим среды, концентрацию реагентов и т.п. (табл.8-10).

10.6. При расчете центрально сжатых, изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых с большими эксцентриситетами элементов сталеполимербетонных конструкций по прочности (первое предельное состояние) на одновременное сочетание постоянных, кратковременных нагрузок и нагрузок, различной продолжительности действия, расчетное сопротивление сжатию полимербетона определяют с учетом коэффициентов условий работы по следующим формулам:

а) для полимербетона ФАМ -

$$R_c = (562{,}5 - 81{,}3 \cdot 10^3 \varepsilon_c) K_t K_B K_x \; ; \qquad (13)$$

б) для полимербетона ФАМ (Д) -

$$R_c = (700 - 75 \cdot 10^3 \varepsilon_c) K_t K_B K_x \, , \qquad (14)$$

где ε_c - расчетная относительная деформация полимербетона при сжатии, определяемая по соответствующим формулам, приведенным в разделе II настоящего Руководства;

K_t, K_B, K_x - коэффициенты, принимаемые по табл. 8-10 в зависимости от заданных условий среды, в которой предусматривается эксплуатация конструкции.

В приложении к Руководству даны примеры расчета с использованием приведенных формул.

Таблица 7

Расчетные характеристики полимербетонов на мономере ФАМ

Характеристики	Обозначение	Единицы измерения	Полимербетон ФАМ	Мелкозернистый полимербетон ФАМ (А)
Марка по прочности на сжатие	$\bar{R}$	кГ/см^2	700	900
Марка по прочности на растяжение	$\bar{R}_p$	-"-	55	100
Расчетное кратковременное сопротивление осевому сжатию	$R_к$	-"-	400	550
Расчетное длительное сопротивление осевому сжатию	R_d	-"-	270	400
Расчетное кратковременное сопротивление осевому растяжению	$R_{кр}$	-"-	40	50
Расчетное длительное сопротивление осевому растяжению	R_{dp}	-"-	20	25
Расчетный модуль упругости	E_o	-"-	2.10^5	$2,75.10^5$
Расчетный длительный модуль деформации	E_d	-"-	$0,75.10^5$	1.10^5
Расчетная кратковременная деформация при осевом сжатии	$\varepsilon_к$	-	$2,0.10^{-3}$	$2,0.10^{-3}$
Расчетная длительная деформация при осевом сжатии	ε_d	-	$3,6.10^{-3}$	$4,0,10^{-3}$
Расчетная кратковременная деформация при осевом растяжении	$\varepsilon_{кр}$	-	$2,0.10^{-4}$	$2,5.10^{-4}$
Расчетная длительная деформация при осевом растяжении	ε_{dp}	-	5.10^{-4}	6.10^{-4}

Таблица 8

Коэффициенты условий работы K_t при повышенной температуре

Постоянная температура	Расчетные сопротивления		Модуль упругости и длительный модуль деформаций
	при сжатии	при растяжении	
20	I,0	I,0	I,0
40	0,9	I,0	0,9
60	0,8	0,9	0,8
80	0,7	0,8	0,7
I00	0,5	0,6	0,5

Таблица 9

Коэффициенты условий работы K_β при повышенной влажности среды

Описание среды	Расчетные сопротивления		Модуль упругости и длительный модуль деформации
	при сжатии	при растяжении	
Воздушная среда с относительной влажностью до 60%	I,0	I,0	I,0
То же с переменной влажностью 50-90%	0,7	0,6	0,6
Вода (вымачивания)	0,6	0,4	0,4

Примечание: При использовании в качестве микронаполнителя вместо молотого кварцевого песка, молотого андезита коэффициенты условий работы при вымачивании и переменной влажности повышается на I5%.

Таблица IO

Коэффициенты условий работы K_x при воздействии химически агрессивных сред (коэффициенты стойкости для расчетного сопротивления при сжатии)

Наименование реагента	Концентрация в % до:	Коэффициент стоцкости
Минеральные кислоты:		
серная	70	I
	85	0,9
соляная	40	I
фосфорная	5	0,75
азотная	3	0,7
Органические кислоты:		
молочная, олеиновая	85	I
лимонная	IO	I
уксусная	5	I
Соли и основанмя:		
аммиак	25	I
едкий натр	50	I
углекислый натрий	20	I
Хлористые растворы солей: металлов: железа, калия, кальция, магния, натрия, цинка	IOO	I
Растворители: анелин, ацетон, бензол, спирты, скипидар, толуол, фенол	IOO	I
Газы: хлор, углекислый газ, сероводород, сероуглерод, хлоритый водород	IOO	I
Формальдегид	50	I

Примечание: При других концентрациях реагентов значения коэффициента условий работы K_x должны быть специально обоснованы.

II. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЕПОЛИМЕРБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ПРОЧНОСТИ

Центрально сжатые элементы.

II.I. Расчет по прочности центрально сжатых элементов (рис.I) с поперечной арматурой в виде отдельных хомутов или приваренных к продольной арматуре поперечных стержней (рис.2) производят из условия (см. в приложении пример расчета)

$$N \leqslant \varphi [R_c (F - F_a) + R_{ac} F_a] , \qquad (I5)$$

где φ - коэффициент продольного изгиба, принимаемый по табл.II;

N - продольная сила от всех расчетных нагрузок при неблагоприятном сочетании их, определяемая по формуле

$$N = N_{дл} + N_{вр} + N_{кр} ; \qquad (I6)$$

$N_{кр}$ - расчетное усилие от кратковременно приложенных нагрузок, продолжительность действия которых менее I-х суток;

$N_{вр}$ - расчетное усилие от временных нагрузок, продолжительность действия которых более I-х суток;

$N_{дл}$ - расчетное усилие от постоянных нагрузок;

F и F_a - площади поперечного сечения элемента и продольной арматуры соответственно;

R_{ac} - расчетное сопротивление продольной рабочей арматуры, устанавливаемое в соответствии с п.9.5;

R_c – расчетное сопротивление полимербетона при сжатии, определяемое по формулам (I3) или (I4) п.I0.6, в которых относительная величина деформации ε_c принимается равной

$$\varepsilon_c = \varepsilon_к + \frac{N_{дл} + m_{дл} N_{вр}}{N} \left(\varepsilon_d - \varepsilon_к\right); \qquad (I7)$$

$\varepsilon_к$ и ε_d – кратковременная и длительная расчетные деформации полимербетона при сжатии (табл.7);

$m_{дл}$ – коэффициент, учитывающий продолжительность действия на конструкцию временных нагрузок и принимаемый согласно п.9.3.

Площадь F_a продольной арматуры должна быть не меньше минимальной, требуемой п.I2.I3 главы СНиП II-В.I-62.

Процент содержания продольной арматуры в сечении элемента рекомендуется выбирать в пределах I ÷ 8%.

Центрально растянутые элементы.

II.2. Расчет прочности центрально растянутых сталеполимербетонных элементов (рис.3) производят из условия

$$N \leq R_a F_a , \qquad (I8)$$

где N – наибольшая по величине расчетная продольная сила.

Изгибаемые элементы.

II.3. Расчет сечений, нормальных к продольной оси, изгибаемых элементов прямоугольного профиля с одиночной арматурой

Таблица II

Коэффициенты продольного изгиба φ .

Гибкость		
$\lambda = \ell_o : b$	$\lambda = \ell_o : r$	φ
4	I4	I,00
4	I4	0,997
6	2I	0,990
8	28	0,970
I0	35	0,935
I2	42	0,890
I4	48	0,835
I6	55	0,760
I8	62	0,690
20	69	0,600
22	76	0,5I0
24	83	0,440
26	90	0,380
28	97	0,345
30	I04	0,300
32	III	0,265
34	II8	0,235
36	I25	0,2I5
38	I32	0,I95
40	I39	0,I75
42	I44	0,I60
44	I50	0,I50

b – наименьший размер прямоугольного сечения элемента;

ℓ_o – расчетная длина (п.7.5 главы СНиП II-В.I-62);

r – наименьший радиус инерции сечения.

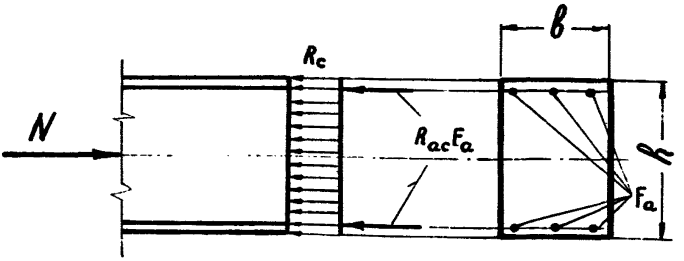


Рис. I. Схема расположения усилий в поперечном сечении центрально сжатого сталеполимербетонного элемента при расчете его по прочности.

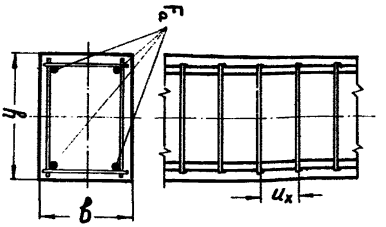


Рис. 2. Армирование центрально сжатого сталеполимербетонного элемента.

(рис.4) производят из условия (см.в приложении пример расчета)

$$M \leq R_a F_a h_0 \left(1 - \frac{3}{8} \xi_c\right) \qquad (19)$$

или

$$M \leq \frac{2}{3} R_c \beta h_0^2 \xi_c \left(1 - \frac{3}{8} \xi_c\right), \qquad (20)$$

где M - изгибающий момент от всех расчетных нагрузок при неблагоприятном сочетании их, определяемый по формуле

$$M = M_{дл} + M_{вр} + M_{кр} \; ; \qquad (21)$$

$M_{кр}$ - изгибающий момент от кратковременно приложенных расчетных нагрузок, продолжительность действия которых менее I-х суток;

$M_{вр}$ - момент от расчетных временных нагрузок, продолжительность действия которых более I-х суток;

$M_{дл}$ - изгибающий момент от постоянных нагрузок;

ξ_c - относительная высота сжатой зоны сечения, определяемая по формуле

$$\xi_c = 1{,}5 \frac{R_a}{R_c} \cdot \frac{F_a}{\beta h_0} = 1{,}5 \mu \frac{R_a}{R_c} \; ; \qquad (22)$$

R_c - расчетное сопротивление полимербетона при сжатии, определяемое по формулам (I3) или (I4), приведенным в п.I0.6; относительную деформацию ε_c, входящую в (I3) и (I4), устанавливают по формуле

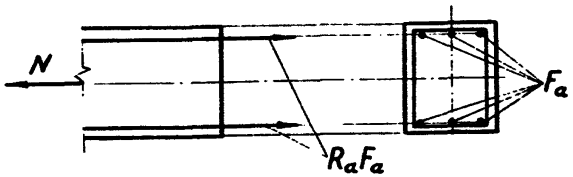


Рис. 3. Схема расположения усилий в поперечном сечении центрально растянутого сталеполимербетонного элемента при расчете его по прочности.

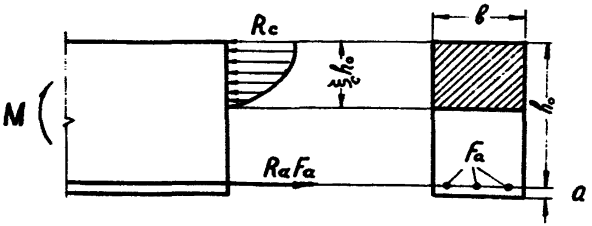


Рис. 4. Схема расположения усилий в поперечном сечении изгибаемого сталеполимербетонного элемента с одиночной арматурой при расчете его по прочности.

$$\varepsilon_c = \varepsilon_к + \frac{M_{дл} + m_{дл} M_{вр}}{M} \left(\varepsilon_d - \varepsilon_к \right) ; \qquad (23)$$

$\varepsilon_к$ и ε_d – расчетные деформации полимербетона при сжатии (табл.7);

$m_{дл}$ – коэффициент, учитывающий продолжительность действия на конструкцию временных нагрузок и принимаемый согласно п.9.3.;

подсчитанная по формуле (22) величина ξ_c должна отвечать следующему условию

$$\xi_c \leq \frac{1}{1 + \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_c}} ; \qquad (24)$$

ε_a – расчетная деформация арматуры растянутой зоны принимается равной

$$\varepsilon_a = \frac{R_a}{E_a} \qquad (25)$$

Коэффициент армирования $\mu = F_a : b h_0$ наиболее напряженного сечения из расчета на прочность не должен превышать максимальной величины, определяемой по формуле

$$\mu_{max c} = \frac{2}{3} \cdot \frac{R_c}{R_a} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_c}} . \qquad (26)$$

II.4. Для изгибаемых элементов прямоугольного сечения с двойной арматурой (рис.5) расчет сечений, нормальных к продольной оси элемента, производят из условия:

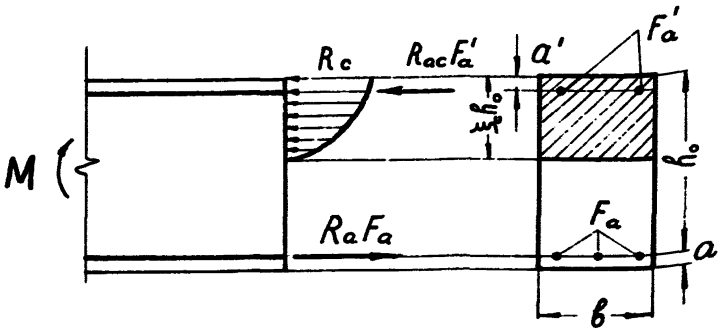


Рис. 5. Схема расположения усилий в поперечном сечении изгибаемого сталеполимербетонного элемента с двойной арматурой при расчете его по прочности.

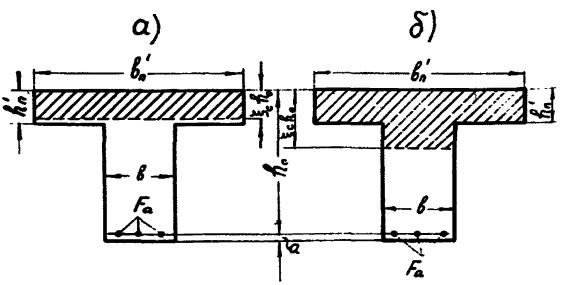


Рис. 6. Расположение сжатой зоны полимербетона в тавровом сечении изгибаемого сталеполимербетонного элемента при расчете его по прочности.

$$M \le \frac{2}{3} R_c b h_0^2 \xi_c \left(1 - \frac{3}{8}\xi_c\right) + R_{ac} F_a' (h_0 - a'), \qquad (27)$$

где F_a' – площадь сечения арматуры, размещаемой в сжатой зоне, с расчетным сопротивлением R_{ac} (п.9.5);

величину ξ_c приведенного условия определяют по формуле

$$\xi_c = 1{,}5\left(\frac{R_a F_a}{R_c b h_0} - \frac{R_{ac} F_a'}{R_c b h_0}\right) = 1{,}5\left(\frac{R_a}{R_c}\mu - \frac{R_{ac}}{R_c}\mu'\right); \qquad (28)$$

при этом должно соблюдаться условие (24); остальные обозначения те же, что и в формулах п.II.3.

II.5. Расчет симметричных тавровых сечений, нормальных к продольной оси элемента, имеющих полку в сжатой зоне, производят следующим образом:

а) если нейтральная ось проходит в полке (рис.6,а), т.е. соблюдается условие

$$\xi_c \le \frac{h_n'}{h_0}, \qquad (29)$$

то расчет производится как для прямоугольного сечения с шириной b_n';

б) если нейтральная ось проходит в ребре (рис.6,б), т.е. (29) не соблюдается, то расчет производят из следующего условия

$$M = \frac{2}{3} R_c b h_0^2 \xi_c \left(1 - \frac{3}{8}\xi_c\right) + R_c (b_n' - b)\left(h_0 - \frac{h_n'}{2}\right) h_n', \qquad (30)$$

где ξ_c – относительная высота сжатой зоны, определяемая по формуле

$$\xi_c = 1{,}5\,\frac{R_a F_a - R_c (b_n' - b) h_n'}{R_c b h_0}; \qquad (31)$$

подсчитанная по формуле (31) величина ξ_c должна отвечать условию (24); остальные обозначения приведенных формул те же, что и для формул предыдущих пунктов (см.рис.6).

II.6. Для обеспечения прочности сечений, наклонных к продольной оси изгибаемых сталеполимербетонных элементов, необходимо руководствоваться п.9.6.

Помимо конструктивной постановки поперечной арматуры рекомендуется в качестве расчетного принимать следующее условие:

$$Q \leq R_{dp} b h_0 , \qquad (32)$$

где Q – расчетная поперечная сила, определяемая от воздействия всех нагрузок при неблагоприятном их сочетании;

R_{dp} – расчетное длительное сопротивление полимербетона при растяжении, принимаемое по табл.7;

b – минимальная ширина сечения по его рабочей высоте h_0.

Внецентренные сжатые элементы прямоугольного сечения.

II.7. Различают два случая внецентренного сжатия:

а) случай малых эксцентриситетов, когда

$$e_0 < 0{,}25\, h ; \qquad (33)$$

б) случай больших эксцентриситетов, когда

$$e_0 \geq 0{,}25\, h , \qquad (34)$$

где e_0 – начальный эксцентриситет приложения продольной оси относительно центра тяжести сечения элемента;

h – высота прямоугольного сечения, параллельная плоскос-

ти изгиба элемента.

Если при этом соблюдается условие

$$0{,}5 \leqslant \frac{N}{R_c b h} < 1 \,, \qquad (35)$$

где N – расчетная продольная сила, определяемая по формуле (16);

R_c – расчетное сопротивление полимербетона при сжатии

устанавливаемое согласно п.10.6, то эпюра внутренних усилий отвечает схеме, приведенной на рис.7.

Условие (35) дополняет выражение (33).

11.8. Увеличение начального эксцентриситета e_o вследствие продольного изгиба учитывают с помощью коэффициента ηe, определяемого по формуле

$$\eta e = \frac{1}{1 - \frac{1{,}2\,N}{E_d b h}\left(\frac{l_o}{h}\right)^2} \,; \qquad (36)$$

где N – расчетная продольная сила от воздействия всех нагрузок при неблагоприятном сочетании их;

E_d – расчетный (секущий) длительный модуль деформации, принимаемый по табл.7;

l_o – расчетная длина стержня, определяемая согласно требованиям п.7,5 главы СНиП П-В.1-62.

11.9. Гибкость λ внецентренно сжатых элементов в плоскости действия момента должна быть не более

$$\lambda = \frac{l_o}{h} \leqslant 25 \qquad (37)$$

при $e_o < 0{,}25\,h$ и $\lambda = \frac{l_o}{h} \leqslant 20$ (38)

- при $e_o \geq 0{,}25\,h$.

II.IO. Расчет сечений нормальных к продольной оси, внецентренно сжатых сталеполимербетонных элементов при $e_o < 0{,}25\,h$ (33) и при соблюдении формулы (35) производят из условия (см. в приложении пример расчета)

$$Ne = N\left(e_o \eta + \frac{h}{2} - a\right) \leq \frac{5}{12} R_c b h_o^2 + R_{ac} F_a' (h_o - a') \quad , \qquad (39)$$

где N - расчетная продольная сила от всех нагрузок при неблагоприятном их сочетании, определяемая по формуле (I6) (рис.7);

e_o - эксцентриситет приложения продольной силы N , равный (см.рис.7)

$$e_o = \frac{N_{кр} e_{o\,кр} + N_{вр} e_{o\,вр} + N_{дл} e_{o\,дл}}{N} \quad ; \qquad (40)$$

R_c - расчетное сопротивление полимербетона при сжатии устанавливают по формуле (I3) или (I4) п.IO.6. с использованием выражения (I7) п.II.I;

остальные величины приведенного условия (39) имеют те же обозначения, что и в формулах других пунктов.

Внецентренно сжатый элемент должен быть дополнительно рассчитан на центральное сжатие в плоскости, перпендикулярной к действию изгибающего момента.

Армирование внецентренно сжатого элемента должно отвечать требованиям пп.I2.I4 ÷ I6 и пп.20 ÷ 23 главы СНиП II-В.I-62; при этом необходимо учитывать пп.9.II ÷ 9.I2 настоящего Руководства.

II.II. Расчет сечений, нормальных к продольной оси, вне-

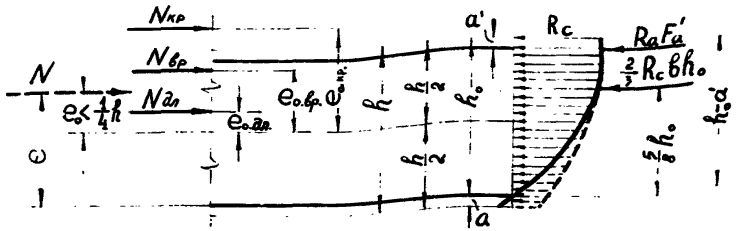


Рис. 7. Схема расположения усилий в поперечном сечении внецентренно сжатого элемента при расчете его по прочности (случай малых эксцентриситетов).

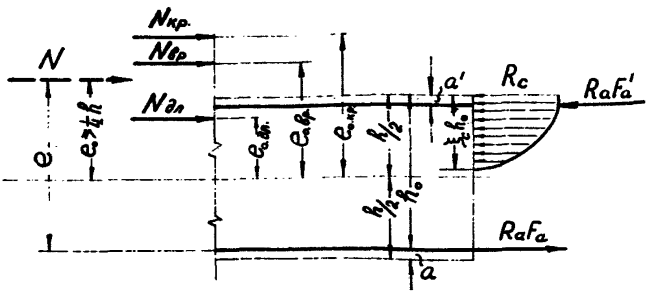


Рис. 8. Схема расположения усилий в поперечном сечении внецентренно сжатого элемента прямоугольного контура при расчете его по прочности (случай больших эксцентриситетов).

центренно сжатых элементов при $e_o \geq 0{,}25h$ (34) производят из условия (см. в приложении пример расчета)

$$Ne = N\left(e_o \partial e + \frac{h}{2} - a\right) \leq \frac{2}{3} R_c \beta h_o \xi_{sc}\left(1 - \frac{3}{8}\xi_{sc}\right) + R_{ac} F_a'(h_o - a'); \quad (41)$$

рекомендуется при этом симметричное армирование, т.е.

$$F_a = F_a' \quad (42)$$

тогда относительную высоту сжатой зоны ξ_{sc} (рис.8) определяют по формуле (при $R_{ac} = R_a$)

$$\xi_{sc} = \frac{1{,}5N}{R_a \beta h_o}, \quad (43)$$

значение величины которой должно удовлетворять условию (24); остальные обозначения приведенных выражений те же, что и в формулах предыдущих пунктов.

Элемент должен быть дополнительно рассчитан на центральное сжатие в плоскости, перпендикулярной к действию момента.

Внецентренно растянутые элементы прямоугольного сечения.

II.I2. Расчет сечений, нормальных к продольной оси, внецентренно растянутых элементов для случая, когда продольная сила N приложена в пределах контура сечения (рис.9), производят из следующих условий:

$$N\left(e_o + \frac{h}{2} - a'\right) \leq R_a F_a (h_o - a'); \quad (44)$$

$$N\left(\frac{h}{2} - e_o - a'\right) \leq R_a F_a' (h_o - a'), \quad (45)$$

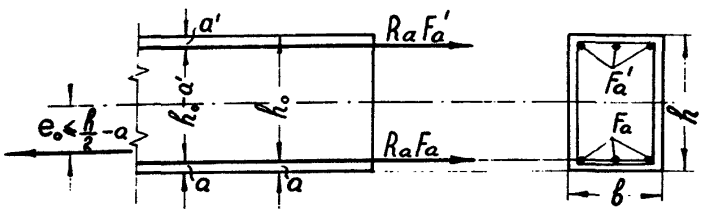


Рис. 9. Схема расположения усилий в поперечном сечении внецентренно растянутого элемента при расчете его по прочности (сила приложена в пределах контура сечения).

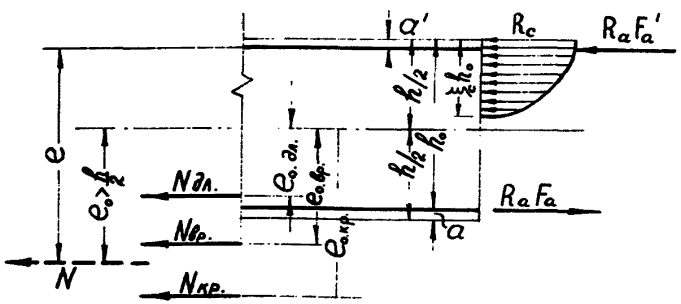


Рис. 10. Схема расположения усилий в поперечном сечении внецентренно растянутого сталеполимербетонного элемента прямоугольного контура при расчете его по прочности (сила приложена за пределами контура сечения).

где N – расчетная продольная сила от всех нагрузок при неблагоприятном их сочетании.

II.I3. Расчет сечений, нормальных к продольной оси, внецентренно растянутых сталеполимербетонных элементов для случая, когда продольная сила приложена за пределами контура сечения (рис.I0), производят из условия:

$$Ne = N\left(e_0 - \frac{h}{2} + a\right) \leqslant \frac{2}{3} R_c \beta h_0^2 \xi_{sc}\left(1 - \frac{3}{8}\xi_{sc}\right) + R_{ac} F_a'\left(h_0 - a'\right); \quad (46)$$

обозначения те же, что и в формуле (4I).

Рекомендуется при этом симметричное армирование, т.е. соблюдение равенства (42); в этом случае для определения величины ξ_{sc} используется формула (43).

I2. РАСЧЕТ СТАЛЕПОЛИМЕРБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ОБРАЗОВАНИЮ ТРЕЩИН.

Центрально растянутые элементы.

I2.I. Расчет по образованию трещин сталеполимербетонных элементов при осевом растяжении их производят из следующих двух условий:

$$N^н \leqslant N_{к.тр}; \quad (47)$$

$$N^н \leqslant N_{d.тр}, \quad (48)$$

где $N^н$ – продольная сила от внешних нормативных нагрузок при неблагоприятном их сочетании;

$N_{к.тр}$ – расчетная сила, вызывающая возникновение трещин в полимербетоне при кратковременном нагружении элемента, определяемая по формуле (рис.II,а);

$$N_{к.тр} = R_{кр}(F - F_a) + \varepsilon_{кр} E_a F_a \ ; \qquad (49)$$

$N_{d.тр}$ – расчетная сила, вызывающая возникновение трещин при длительном загружении элемента, определяемая по формуле (рис.II,б);

$$N_{d.тр} = R_{d.p}(F - F_a) + \varepsilon_{d.p} E_a F_a \ ; \qquad (50)$$

E_a – модуль упругости продольной арматуры;

F и F_a – площади поперечного сечения элемента и продольной арматуры;

$\varepsilon_{кр}$ и ε_{dp} – расчетные деформации полимербетона при растяжении, принимаемые по табл.7;

$R_{кр}$ и R_{dp} – расчетные сопротивления полимербетона при растяжении, принимаемые по табл.7.

Содержание продольной арматуры не должно быть более 8% от площади поперечного сечения центрально растянутого сталеполимербетонного элемента.

Расчетные сопротивления полимербетона, входящие в формулы (49) и (50) умножаются на соответствующие коэффициенты условий работы согласно п.I0.5.

Изгибаемые элементы.

I2.2. Расчет по образованию трещин в сечениях, нормальных к продольной оси изгибаемых сталеполимербетонных элементов, производят исходя из следующих двух условий (см. в приложении пример расчета):

$$M^{н} \leq M_{к.тр} \ ; \qquad (5I)$$

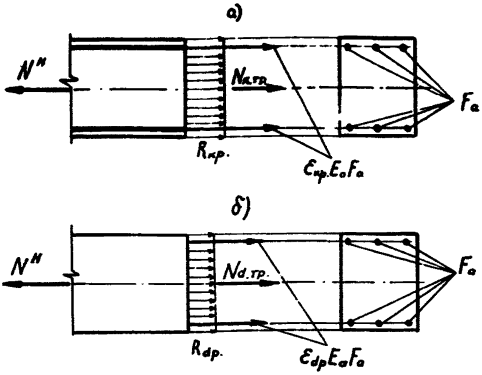


Рис. II. Схема расположения усилий в поперечном сечении центрально растянутого сталеполимербетонного элемента при расчете его по образованию трещин на кратковременное (а) и длительное (б) воздействие осевой силы.

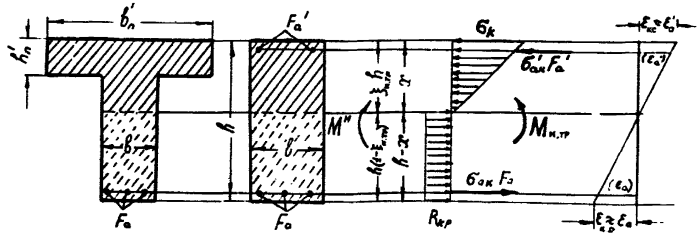


Рис. I2. Схема расположения усилий в поперечном сечении изгибаемых сталеполимербетонных элементов при расчете по образованию трещин на воздействие кратковременной нормативной нагрузки.

$$M^{н} \leq M_{d.тр} \ , \qquad (52)$$

где $M^{н}$ – момент от внешних нормативных нагрузок при неблагоприятном их сочетании;

$M_{к.тр}$ и $M_{d.тр}$ – изгибающие моменты, вызывающие возникновение трещин в полимербетоне растянутой зоны сечения элемента при кратковременном и долговременном загружении его, определяемые по формулам, приведенным в п.I2.3.

I2.3. Для прямоугольных сечений с одиночной арматурой значения величин моментов $M_{к.тр}$ (рис.I2) и $M_{d.тр}$ (рис.I3), исходя из условий (5I) и (52) определяют по следующим формулам:

$$M_{к.тр} = 1{,}3\left[(1-\xi_{к.тр})\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{6}\xi_{к.тр}\right)+n\mu_1\left(\frac{h_0}{h}-\frac{1}{3}\xi_{к.тр}\right)\right]R_{кр}bh^2; \qquad (53)$$

$$M_{d.тр} = 1{,}3\varepsilon_{dp}E_a F_a h_0\left(1-\frac{3}{8}\xi_{d.тр}\right), \qquad (54)$$

где $n = E_a : E_0$ – отношение модуля упругости продольной арматуры к модулю упругости полимербетона;

$\mu_1 = \frac{F_a}{bh}$ – коэффициент армирования, отнесенный к площади всего сечения элемента;

$\xi_{к.тр}$ – относительная высота сжатой зоны сечения, отвечающая схеме, приведенной на рис.I2, равная:

$$\xi_{к.тр} = a - \sqrt{a^2-b} \ ; \qquad (55)$$

a и b – коэффициенты, определяемые по следующим формулам:

$$a = 2 + n\mu_1 \ ; \qquad (56)$$

$$b = 2 + 2n\mu_1 \ ; \qquad (57)$$

$\xi_{\sigma d}$ – относительная высота сжатой зоны сечения, соответствующая схеме, приведенной на рис.I4, равная:

$$\xi_{\sigma d} = -\frac{c}{2} + \sqrt{\left(\frac{c}{2}\right)^2 + d} \; ; \qquad (58)$$

c и d – коэффициенты, определяемые по формуле

$$c = d = 1{,}5\,\frac{E_a}{E_d}\,\frac{F_a}{b h_o} \; ; \qquad (59)$$

остальные обозначения (53) и (54) те же, что и в формулах предыдущего пункта.

Для прямоугольных сечений с двойной арматурой значения моментов $M_{к.тр}$ (рис.I2) и $M_{d.тр}$ (рис.I3) имеют следующие выражения соответственно:

$$M_{к.тр} = 1{,}3\left[(1-\xi_{\sigma к.тр})\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{6}\xi_{\sigma к.тр}\right) + n\mu_1\left(\frac{h_o}{h}-\frac{1}{3}\xi_{\sigma к.тр}\right) + n\mu_1\left(\frac{1}{3}\xi_{\sigma к.тр}-\frac{a'}{h}\right)\frac{\xi_{\sigma к.тр}}{1-\xi_{\sigma к.тр}}\right] R_{кр} b h^2 \; ; \qquad (60)$$

$$M_{d.тр} = 1{,}3\,\varepsilon_{dp} E_a h_o\left[F_a\left(1-\frac{3}{8}\xi_{\sigma d.тр}\right) + F_a'\left(\frac{3}{8}\xi_{\sigma d.тр}-\frac{a'}{h_o}\right)\frac{\xi_{\sigma d.тр}}{1-\xi_{\sigma d.тр}}\right], \qquad (6I)$$

где $\mu_1' = F_a' : bh$ – коэффициент армирования по сжатой арматуре, отнесенный к площади всего сечения элемента;

остальные величины приведенных формул (60) и (6I) имеют тот же смысл, что и в формулах (53) и (54);

при определении $\xi_{\sigma к.тр}$ и $\xi_{\sigma d.тр}$ для значений (60) и (6I) постоянные коэффициенты a и c выражений (55) и (58) устанавливают по формулам

$$a = 2 + n\mu_1 + n\mu_1' \; ; \qquad (62)$$

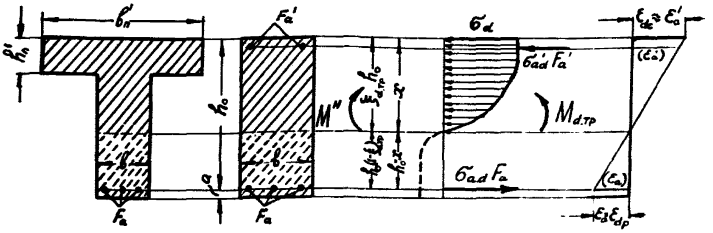


Рис. I3. Схема расположения усилий и деформаций в поперечном сечении изгибаемых сталеполимербетонных элементов при расчете по образованию трещин на длительное воздействие нормативной нагрузки.

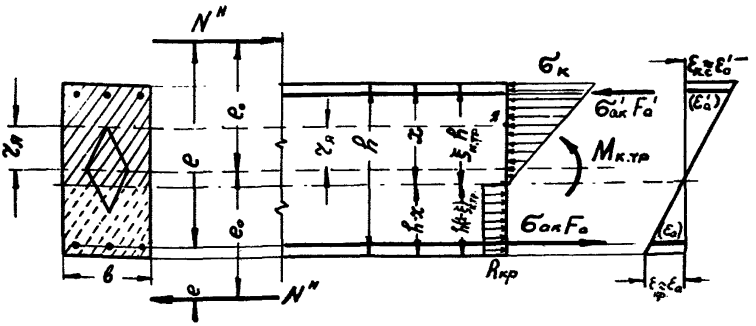


Рис. I4. Схема расположения усилий и деформаций в поперечном сечении внецентренно сжатого и внецентренно растянутого с большими эксцентриситетами сталеполимербетонного элемента при расчете по образованию трещин на воздействие кратковременной нормативной нагрузки.

$$c = 1{,}5\frac{E_a}{E_d}\left(\frac{F_a}{bh_o}+\frac{F'_a}{bh_o}\right). \qquad (63)$$

Для тавровых сечений с полкой в сжатой зоне величины моментов $M_{к.тр}$ (рис.I2) и $M_{d.тр}$ (рис.I3) определяют по формулам:

$$M_{к.тр} = 1{,}3\left[(1-\xi_{к.тр})\left(\frac{1+\xi_{к.тр}}{2}-c_{тр}\right)+n\mu_1\left(\frac{h_o}{h}-c_{тр}\right)\right]R_{кр}bh^2 ; \qquad (64)$$

$$M_{d.тр} = 1{,}3\varepsilon_{d.p}E_aF_ah_o\left[1-\frac{\frac{1}{4}\xi^2_{d.тр}+\frac{h'_п}{2h_o}\gamma'}{\frac{2}{3}\xi_{d.тр}+\gamma'}\right], \qquad (65)$$

где $C_{тр}$ – коэффициент, определяющий положение равнодействующей сжатой зоны (рис.I2), равный

$$C_{тр} = \frac{\frac{1}{3}\xi^2_{к.тр}+\frac{h'_п}{h}\gamma'_1}{\xi_{к.тр}+2\gamma'_1} ; \qquad (66)$$

γ' и γ'_1 – коэффициенты, определяемые по формулам

$$\gamma' = \frac{(b'_п-b)h'_п}{bh_o} ; \quad \gamma'_1 = \frac{h_o}{h}\gamma' \qquad (67)$$

Значения относительных величин $\xi_{к.тр}$ и $\xi_{d.тр}$ формул (64) и (65) получают из выражений (55) и (58), в которых постоянные коэффициенты a и c подсчитывают по формулам

$$a = 2+n\mu_1+\gamma'_1 ; \qquad (68)$$

$$c = 1{,}5\frac{E_a}{E_d}\frac{F_a}{bh_o}+1{,}5\gamma' . \qquad (69)$$

Примечание: Эмпирическим коэффициентом I,30 в вышеприведенных формулах учитывается повышение растяжимости полимербетона при изгибе по сравнению с осевым растяжением.

Внецентренно сжатые и внецентренно растянутые элементы прямоугольного сечения.

I2.4. Расчет по образованию трещин в сечениях, нормальных к продольной оси внецентренно сжатых и внецентренно растянутых сталепластбетонных элементов при больших эксцентриситетах (рис.I4 и I5), производят из следующих условий (см. в приложении пример расчета):

$$N^{н}\left(e_{o}\,\vartheta e \mp \frac{1}{6}h\right) \leqslant M_{к.тр} \quad ; \tag{70}$$

$$N^{н}\left(e_{o}\,\vartheta e \mp \frac{1}{6}h\right) \leqslant M_{d.тр} \quad , \tag{7I}$$

где $N^{н}$ - внецентренно приложенная продольная сила от всех нормативных нагрузок;

$M_{к.тр}$ и $M_{d.тр}$ - расчетные изгибающие моменты, вызывающие возникновение трещин в полимербетоне растянутой зоны, определяемые по формулам (60) и (6I) соответственно;

коэффициент ϑe и эксцентриситет e_{o} определяют по формулам, приведенным в пп.II.8, II.I0; при внецентренном растяжении принимают $\vartheta e = I$.

Примечание: В условиях (70) и (7I) знак минус принимается при внецентренном сжатии и знак плюс - при внецентренном растяжении.

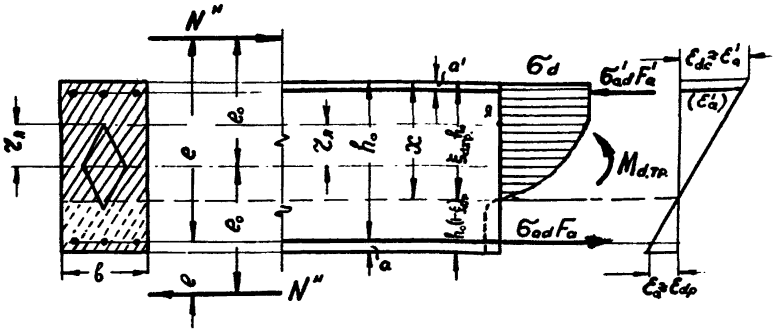


Рис. I5. Схема расположения усилий и деформаций в поперечном сечении внецентренно сжатого и внецентренно растянутого с большими эксцентриситетами сталеполимербетонного элемента при расчете по образованию трещин на воздействие длительной нормативной нагрузки.

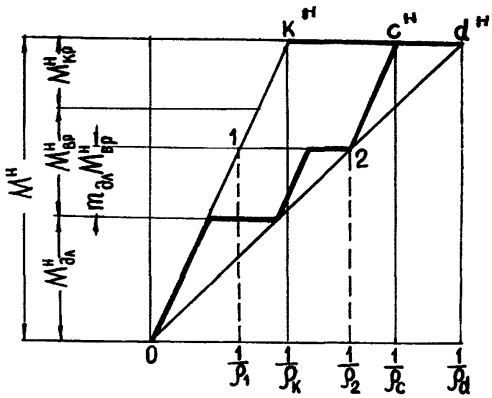


Рис. I6. К формуле (74) п.I3.2

I2.5. Расчет по образованию трещин в сечениях нормальных к продольной оси внецентренно растянутых элементов с малыми эксцентриситетами (сила размещена в пределах контура сечения, приведенного на рис.9) производят также как для центрально растянутых элементов, согласно п.I2.I. При этом внецентренно приложенную силу от нормативных нагрузок переносят (условно) в центр тяжести сечения, умножая ее на коэффициент K , равный:

$$K = 1{,}15 \quad (\text{при} \quad e_0 \leq 0{,}3\,h)$$

$$K = 1{,}25 \quad (\text{при} \quad e_0 > 0{,}3\,h).$$

I3. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЕПОЛИМЕРБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ.

I3.I. Расчет деформаций элементов сталеполимербетонных конструкций производят на воздействие нормативных нагрузок при отсутствии трещин в полимербетоне, растянутом от внешних нагрузок.

Требуется при этом соблюдение условия

$$f \leq [f] , \qquad (72)$$

где $[f]$ - нормируемая п.4.I4 главы СНиП П-В.I-62 деформация (прогиб);

f - величина прогиба, определяемая расчетом по формуле, приведенной в п.I3.2.

I3.2. Расчет прогибов изгибаемых сталеполимербетонных элементов производят по формуле

$$f = s\,l^2 \frac{1}{\rho_c} , \qquad (73)$$

где s - коэффициент, численное значение которого приведены

в табл.I2;

$\frac{1}{\rho_c}$ – кривизна наиболее напряженного от изгибающего момента сечения, определяемая по формуле (рис.I6)

$$\frac{1}{\rho_c} = \frac{1,3}{h}\cdot\left[\frac{\varepsilon_{кр}}{1-\xi_{к.тр}} + \frac{M^{н}_{дл} + m_{дл} M^{н}_{вр}\left(\frac{\varepsilon_{dp}}{1-\xi_{d.тр}} - \frac{\varepsilon_{кр}}{1-\xi_{к.тр}}\right)}{M^{н}}\right], \quad (74)$$

$\varepsilon_{кр}$ и ε_{dp} – расчетные деформации полимербетона при растяжении, принимаемые по табл. 7;

$\xi_{к.тр}$ и $\xi_{d.тр}$ – относительные высоты сжатых зон, соответствующие схемам, приведенным на рис. I2, I3 и определяемых по формулам (55) и (58) п.I2.3;

$M^{н}$ – изгибающий момент от нормативных нагрузок в наиболее напряженном сечении элемента;

$M^{н}_{дл}$ – момент от нормативных постоянных нагрузок, действующий в том же сечении;

$M^{н}_{вр}$ – момент от нормативных временных нагрузок, различной продолжительности действия;

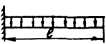
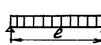
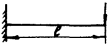
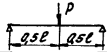
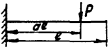
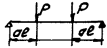
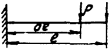
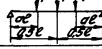
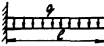
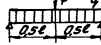
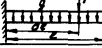
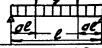
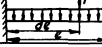
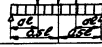
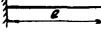
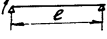
$m_{дл}$ – коэффициент, принимаемый согласно п.93;

l – расчетный пролет изгибаемого элемента.

Прогиб, подсчитанный по формуле (73), должен удовлетворять условию (72).

Таблица 12

Значения коэффициентов ζ в зависимости от схемы загружения

№ п/п	Схема загружения консольной балки	ζ		Схема загружения свободно опертой балки	ζ
1		$\frac{1}{4}$	1		$\frac{5}{48}$
2		$\frac{1}{3}$	2		$\frac{1}{12}$
3		$\alpha(\frac{1}{2}-\frac{\alpha}{8})$	3		$\frac{1}{8}-\frac{\alpha^2}{6}$
4		$\frac{\alpha^2(3-\alpha)+2}{6(1+\alpha)}$	4		$\frac{1+2\alpha(3-4\alpha^2)}{12(1+4\alpha)}$
5		$\frac{8+3k}{12(2+k)}$	5		$\frac{8+5k}{(2+k)48}$
6		$\frac{4\alpha^2(3-\alpha)+3k}{12(2\alpha+k)}$	6		$\frac{16\alpha(3-4\alpha^2)+5k}{(8\alpha+k)48}$
7		$\frac{8+4\alpha^2(3-\alpha)+3k}{12(2+2\alpha+k)}$	7		$\frac{8+16\alpha(3-4\alpha^2)+5k}{(2+8\alpha+k)48}$
8		$\frac{1}{2}$	8		$\frac{1}{8}$

Приложение

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример I. Дано: центрально сжатая колонна с размерами сечения 40х40 см; расчетная длина ℓ_0 = 8 м; полимербетон ФАМ марки 700; продольная арматура из стали класса А-П (R_{ac} = 2700 кГ/см^2); температура среды стабильная и не превышает 20°; влажность переменная 60% ÷ 90% с концентрацией фосфорной кислоты до 5%; расчетные продольные силы: от постоянной нагрузки $N_{дл}$ = 73Т; от временно действующей снеговой нагрузки $N_{вр}$ = 60Т; от кратковременно действующей крановой нагрузки $N_{кр}$ = 47Т.

Требуется определить площадь сечения продольной арматуры.

Расчет. Произведение коэффициентов условий работы при заданной повышенной влажности (табл.9) и воздействии химически агрессивной среды (табл.I0)

$$K_в \cdot K_х = 0{,}7 \cdot 0{,}75 = 0{,}525.$$

Из табл.7 при $\bar{R}$ = 700 имеем: $\varepsilon_к = 2.10^{-3}$; $\varepsilon_d = 3{,}6.10^{-3}$; согласно п.9.3 коэффициент $m_{дл} = 0{,}9$ и при суммарной величине продольной силы $N = N_{дл} + N_{вр} + N_{кр} = 73 + 60 + 47 = 180$Т находим деформацию ε_c по формуле (I7)

$$\varepsilon_c = \varepsilon_к + \frac{N_{дл} + m_{дл} N_{вр}}{N} (\varepsilon_d - \varepsilon_к) = 2 \cdot 10^{-3} +$$

$$+ \frac{73 + 0{,}9 \cdot 60}{180} (3{,}6 - 2) \cdot 10^{-3} = 3{,}13 \cdot 10^{-3}.$$

Расчетное сопротивление R_c определяем по формуле (I3) с учетом коэффициентов условий работы (0,525)

$$R_c = (562{,}5 - 81{,}3 \cdot 10^3 \varepsilon_c) K_в K_х =$$

$= (562,5 - 81,3.10^3 . \varepsilon_c) . 0,525 = (562,5 - 81,3.10^3 . 3,13.10^{-3}).0,525 = 162$ кГ/см^2.

Иллюстрацией формул (12),(17) являются рис.17 и рис.18 соответственно.

По табл.11 при $\frac{l_0}{\delta} = \frac{800}{40} = 20$ находим $\varphi = 0,6$.

Требуемую площадь сечения продольной арматуры определяем из условия (15) (рис.1)

$$F_a = \frac{\frac{N}{\varphi} - R_c F}{R_{ac} - R_c} = \frac{\frac{18000}{0,6} - 162.40.40}{2700 - 162} = 17,40 \text{ см}^2.$$

Принимаем 4 ⌀ 25 ($F_a = 19,64$ см^2, рис.2); процент армирования равен 1,23% и находится в рекомендуемых п.11 пределах.

Пример 2. Дано: сталеполимербетонная балка покрытия пролетом $l = 5,86$ м; полимербетон ФАМ марки 700; продольная рабочая арматура из стали класса А-П ($R_a = 2700$ кГ/см^2); температура среды 20°С; влажность до 60% с концентрацией азотной кислоты до 3%; нормативные нагрузки на погонный метр пролета балки: постоянная от собственного веса и веса конструкций покрытия $q^н_{дл} = 1$ т/м; временная от снега $q^н_{вр} = 1,5$ т/м.

Требуется определить размеры поперечного сечения $b \times h$ и площадь продольной арматуры из условия прочности.

Расчет. Величины расчетных нагрузок равны

$$q_{дл} = q^н_{дл} \cdot 1,1 = 1.1,1 = 1,1 \text{ т/м};$$

$$q_{вр} = q^н_{вр} \cdot 1,4 = 1,5.1,4 = 2,1 \text{ т/м};$$

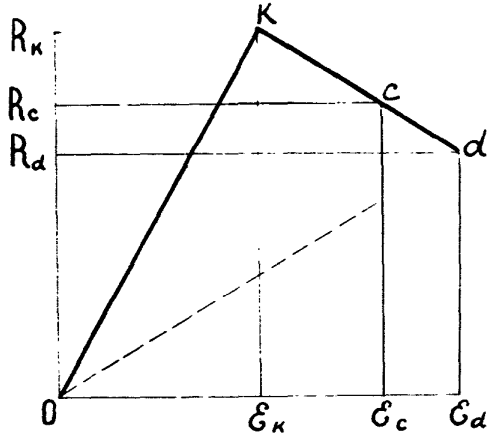


Рис. I7. К формуле (I3).

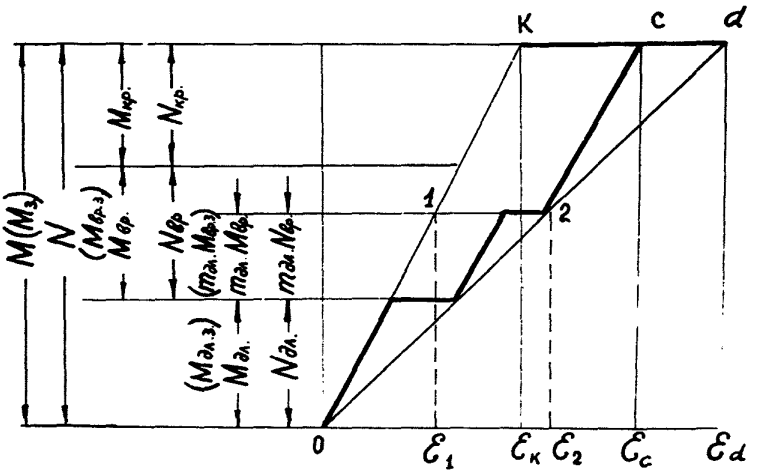


Рис. I8. К формуле (I7).

(I,I и I,4 - коэффициенты перегрузки).

Расчетный изгибающий момент

$$M = \frac{(q_{дл} + q_{вр})\ell^2}{8} = \frac{(I,I + 2,I).5,86^2}{8} = I3,72 \text{ Тм};$$

Изгибающие моменты от постоянной и временной нагрузок равны $M_{дл} = \frac{q_{дл}\ell^2}{8} = \frac{1,1 \cdot 5,86^2}{8} = 4,72$ Тм ;

$$M_{вр} = \frac{q_{вр}.\ell^2}{8} = \frac{2,I,5,86^2}{8} = 9,0 \text{ Тм}.$$

Согласно п.9.3 коэффициент $m_{дл} = 0,9$. Расчетную величину относительной деформации ε_c полимербетона сжатой грани сечения устанавливаем по формуле (23) (см.рис.I9)

$$\varepsilon_c = \varepsilon_к + \frac{M_{дл} + m_{дл}.M_{вр}}{M}(\varepsilon_d - \varepsilon_к) =$$

$$= 2.I0^{-3} + \frac{4,72 + 0,9,9,0}{I3,72}(3,6 - 2,0).I0^{-3} = 3,49.10^{-3}$$

По табл.I0 коэффициент условия работы $K_x = 0,7$.

Величину расчетного сопротивления R_c с учетом коэффициента K_x находим по формуле (I3)

$$R_c = (562,5 - 8I,3.I0^3\varepsilon_c)K_x = (562,5 - 8I,3.I0^3 .$$

$$3,49.I0^{-3}).0,7 = I95 \text{ кГ/см}^2.$$

Максимальное значение относительной высоты сжатой зоны, согласно формулы (24), равно

$$\xi_c = \frac{I}{I + \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_c}} = \frac{I}{I + \frac{I,285.I0^{-3}}{3,490.I0^{-3}}} = 0,73I,$$

где $\varepsilon_a = R_a : F_a = 2700 : 2{,}1 \cdot 10^6 = 1{,}285 \cdot 10^{-3}$.

Этому значению $\xi_{\text{гс}}$ соответствует максимальная величина коэффициента армирования (26)

$$\mu_{\text{макс}} = \frac{2}{3} \frac{R_c}{R_a} \xi_{\text{гс}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{195}{2700} \cdot 0{,}731 = 0{,}0353.$$

Назначаем высоту h сечения балки в пределах $\left(\frac{1}{12} + \frac{1}{15}\right)\ell$, ширину $b = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right)h$; принимаем $h = 50$ см и $b = 20$ см.

Из условия (19) при рабочей высоте $h_0 = h - a = 50 - 4 = 46$ см и $\xi_{\text{гс}} = 0{,}731$ находим требуемую площадь сечения арматуры

$$F_a = \frac{M}{R_a h_0 \left(1 - \frac{3}{8} \xi_{\text{гс}}\right)} = \frac{13{,}72 \cdot 10^5}{2700 \cdot 46 \left(1 - \frac{3}{8} \cdot 0{,}731\right)} =$$

$= 15{,}25$ см^2, что меньше максимально допустимой, равной

$$F_a = \mu_{\text{макс}} \cdot b \cdot h_0 = 0{,}0353 \cdot 20 \cdot 46 = 32{,}6 \text{ см}^2.$$

Принимаем 3ø28 ($F_a = 18{,}47$ см^2), для размещения которых в один ряд (рис.4) целесообразно иметь ширину сечения $b = 20$ см.

По формуле (22) находим новое значение величины относительной высоты сжатой зоны

$$\xi_{\text{гс}} = 1{,}5 \frac{F_a}{b h_0} \cdot \frac{R_a}{R_c} = 1{,}5 \frac{18{,}47 \cdot 2700}{20 \cdot 46 \cdot 195} = 0{,}416$$

и проверяем выполнение условия (20)

$$M = 13{,}72 \text{ Тм} < \frac{2}{3} R_c b h_0^2 \left(1 - \frac{3}{8} \xi_{\text{гс}}\right) =$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 195 \cdot 20 \cdot 46^2 \cdot 0{,}416 \left(1 - \frac{3}{8} \cdot 0{,}416\right) = 19{,}35 \cdot 10^5 \text{ кГсм} =$$

= I9,35 Тм.

Расчетное длительное сопротивление полимербетона растяжению с учетом коэффициента условия работы $K_x = 0,7$

$$R_{dp} = 20 \cdot 0,7 = 14 \text{ кГ/см}^2$$

Проверяем выполнение условия (32)

$$Q = \frac{(q_{дл} + q_{вр})\ell}{2} = \frac{(1,1 + 2,1) \cdot 5,86}{2} =$$

$$= 9,37 \text{ Т} < R_{dp} b h_0 = 14 \cdot 20 \cdot 46 = 12900 \text{ кГ} = 12,9 \text{ Т}.$$

Поперечная арматура ставится в соответствии с указаниями п.9.5. Наряду с расчетом прочности требуется проверить сопротивляемость балки образованию трещин и выполнить расчет по деформациям.

Пример 3. Дано: сталеполимербетонная балка покрытия пролетом $\ell = 5,86$ м с размерами поперечного сечения $b = 20$см; $h = 50$ см; $h_0 = 46$ см; полимербетон ФАМ марки 700; продольная арматура из стали класса А-II (из расчета на прочность поставлено 3ø28, $F_a = 18,47$ см^2, см.пример 2, рис.4); температура среды 20^0; влажность до 60% с концентрацией азотной кислоты до 3%; нормативные равномерно распределенные нагрузки: постоянная $q^н_{дл} = 1,0$ т/м; временная от снега $q^н_{вр} =$ = 1,5 т/м.

Требуется проверить сопротивляемость сечения, нормального к продольной оси балки, образованию трещин.

Расчет. Изгибающий момент от воздействия нормативных нагрузок

$$M^н = \frac{(q^н_{дл} + q^н_{вр})\ell^2}{8} = \frac{(1 + 1,5) \cdot 5,86^2}{8} = 10,72 \text{ Тм};$$

По формулам (56), (57) и (59) подсчитываем постоянные коэффициенты a, β и c:

из табл.7 $E_0 = 2 \cdot 10^5$ кГ/см^2 и $E_d = 0{,}75 \cdot 10^5$ кГ/см^2;

$E_a = 2{,}1 \cdot 10^6$ кГ/см^2;

$$a = 2 + n\mu_1 = 2 + \frac{E_a}{k_x E_0} \cdot \frac{F_a}{\beta \cdot h} = 2 + \frac{2{,}1 \cdot 10^6}{0{,}7 \cdot 2 \cdot 10^5} \cdot \frac{18{,}47}{20.50} =$$

$= 2{,}278$;

$$\beta = 2 + 2n\mu_1 = 2{,}556.$$

$$c = d = 1{,}5 \frac{E_a}{k_x E_d} \cdot \frac{F_a}{\beta h_0} = 1{,}5 \frac{2{,}1 \cdot 10^6}{0{,}7 \cdot 0{,}75 \cdot 10^5} \cdot \frac{18{,}47}{20.46} =$$

$= 1{,}206$;

где $k_x = 0{,}7$ – коэффициент условия работы (табл.10).

По формулам (55) и (58) определяем $\xi_{к.тр}$ и $\xi_{d.тр}$.

$$\xi_{к.тр} = a - \sqrt{a^2 - \beta} = 2{,}278 - \sqrt{2{,}278^2 - 2{,}556} = 0{,}658;$$

$$\xi_{d.тр} = -\frac{c}{2} + \sqrt{\left(\frac{c}{2}\right)^2 + d} = -\frac{1{,}206}{2} +$$

$$+ \sqrt{\left(\frac{1{,}206}{2}\right)^2 + 1{,}206} = 0{,}650.$$

Из табл.7 для ФАМ при $\bar{R}$ = 700 с учетом коэффициента = 0,7 имеем расчетное сопротивление $R_{кр} = 0{,}7 \cdot 40 =$ = 28 кГ/см^2; по формуле (53) определяем момент $M_{к.тр}$ (рис.12)

$$M_{к.тр} = 1{,}3 \left[(1 - \xi_{к.тр})\left(\frac{1}{2} + \frac{\xi_{к.тр}}{6}\right) + n\mu_1\left(\frac{h_0}{h} - \frac{1}{3}\xi_{к.тр}\right)\right] \cdot R_{кр} \beta h^2 = 1{,}3 \ (1-0{,}685)\ (0{,}5 - \frac{0{,}658}{6}) +$$

$$+ 0{,}278 \left(\frac{46}{50} - \frac{0{,}658}{3}\right)\Big] 28 \cdot 20.50^2 = 736000 \text{ кГсм} =$$

= 7,36 Тм, что меньше $M^{н}$ = I0,7I Тм; условие (5I) не выполняется.

Определяем момент $M_{d.тр}$ (рис.I3) по формуле (54)

$$M_{d.тр} = I,3\,\varepsilon_{dp} E_a F_a h_0 \left(I - \frac{3}{8}\,\xi_{d.тр}\right) = I,3.5.I0^{-4}.2,I.I0^{6}.$$

$$.I8,47.46\left(I - \frac{3}{8}\,.0,650\right) = 875000 \text{ кГсм} = 8,75 \text{ Тм},$$

что так же меньше $M^{н}$ = I0,7I Тм.

Для выполнения условий (5I) и (52) ставим 4⌀32 А-II, F_a = 32,I7 см^2 и принимаем ширину сечения b = 24 см; в этом случае будем иметь:

$$a = 2 + n\mu_1 = 2 + \frac{E_a}{K_x E_0} \cdot \frac{F_a}{bh} = 2 + \frac{2,I.I0^{6}}{0,7.2.I0^{5}} \cdot \frac{32,I7}{24.50} =$$

$$= 2,403;$$

$$b = 2 + 2n\mu_1 = 2 + 2.0,403 = 2,806;$$

$$c = d = I,5.\frac{E_a}{K_x E_d}\frac{F_a}{b h_0} = I,5\,\frac{2,I.I0^{6}}{0,7.0,75.I0^{5}} \cdot \frac{32,I7}{24.46} = I,75;$$

$$\xi_{к.тр} = a - \sqrt{a^2 - b} = 2,403 - \sqrt{2,403^2 - 2,806} = 0,678;$$

$$\xi_{d.тр} = -\frac{c}{2} + \sqrt{\left(\frac{c}{2}\right)^2 + d} = -\frac{I,75}{2} + \sqrt{\left(\frac{I,75}{2}\right) + I,75} = 0,725;$$

$$M_{к.тр} = I,3\left[(I - \xi_{к.тр})(0,5 + \frac{I}{6}\,\xi_{к.тр}) + n\mu_1\left(\frac{h_0}{h} - \frac{I}{3}\,\xi_{к.тр}\right)\right] \cdot R_{кр} \cdot b \cdot h^2 =$$

$$= I,3\left[(I-0,678)(0,5 + \frac{I}{6}\,0,678) + 0,403.\right.$$

$$\left.\left(\frac{46}{50} - \frac{I}{3}\,0,678\right)\right] .28.24.50^2 = I065000 \text{ кГсм} = I0,65 \text{ Тм},$$

что практически равно $M^{н}$ = I0,7I Тм;

$$M_{d.тр} = I,3\,\varepsilon_{dp} E_a F_a h_0 \left(I - \frac{3}{8}\,\xi_{d.тр}\right) = I,3.5.I0^{-4}.2,I.I0^{6}.$$

$.32,17.46.(1-\frac{3}{8}.0{,}725)=1470000$ кГсм = 14,7 Тм, что больше $M^{н}$ = 10,71 Тм.

Таким образом, для обеспечения трещиностойкости рассматриваемой сталеполимербетонной балки необходимо поставить 4ø32 (вместо 3ø28 из расчета по прочности, см пример 2) и принять ширину сечения b = 24 см.

Пример 4. По данным примера 3 определим прогиб сталеполимербетонной балки покрытия, пользуясь формулой (73).

По формуле (74) находим кривизну наиболее напряженного сечения

$$\frac{1}{\rho_c}=\frac{1{,}3}{h}\left[\frac{\varepsilon_{кр}}{1-\xi_{к.тр}}+\frac{M^{н}_{дл}+m_{дл}M^{н}_{вр}}{M^{н}}\left(\frac{\varepsilon_{dp}}{1-\xi_{d.тр}}-\frac{\varepsilon_{кр}}{1-\xi_{к.тр}}\right)\right]=$$

$$=\frac{1{,}3}{50}\left[\frac{2.10^{-4}}{1-0{,}678}+\frac{4{,}29+0{,}9.6{,}42}{8{,}59}\left(\frac{5.10^{-4}}{1-0{,}7}-\frac{2.10^{-4}}{1-0{,}678}\right)\right]=$$

$=4{,}19.10^{-5}$ см, где $M^{н}_{дл}=\frac{q^{н}_{дл}\ell^2}{8}=\frac{1.586^2}{8}=4{,}29$ Тм; $M^{н}_{вр}=\frac{q^{н}_{вр}\ell^2}{8}=\frac{15.586^2}{8}=6{,}42$ Тм.

Расчетный прогиб балки равен

$$f=s\ell^2\frac{1}{\rho_c}=\frac{5}{48}.586^2.4{,}19.10^{-5}=1{,}50 \text{ см, что меньше}$$

допустимого $[f]=\frac{1}{300}\ell=\frac{1}{300}.586=1{,}95$ см; коэффициент $s=\frac{5}{48}$ (табл.12).

Пример 5. Дано: внецентренно нагруженная колонна с размерами сечения $b \times h$ = 30x50 см; $a=a'=5$ см; расчетная длина ℓ_o = 5,0м; полимербетон ФАМ марки 700; арматура из стали класса А-II ($R_a=R_{ac}$ = 2700 кГ/см^2); температура среды стабильная и не превышает 20°; влажность переменная 60% ÷ 90% с концен-

трацией фосфорной кислоты до 5%; расчетные продольные силы и им соответствующие изгибающие моменты: от постоянной нагрузки $N_{дл}$ = 90Т и $M_{дл}$ = 2,5Тм; от временной снеговой нагрузки $N_{вр}$ = 50Т и $M_{вр}$ = 2,0Тм; от кратковременно действующей крановой нагрузки $N_{кр}$ = 40Т и $M_{кр}$ = 9,5Тм.

Требуется определить площадь сечения продольной арматуры.

Расчет. Произведение коэффициентов условий работы при заданной повышенной влажности (табл.9) и воздействии химически агрессивной среды (табл.10)

$$K_в \cdot K_х = 0,7 \cdot 0,75 = 0,525.$$

Подсчитываем суммарные значения величин продольной силы и изгибающего момента

$$N = N_{дл} + N_{вр} + N_{кр} = 90 + 50 + 40 = 180Т;$$
$$M = M_{дл} + M_{вр} + M_{кр} = 2,5 + 2 + 9,5 = 14Тм.$$

Начальный эксцентриситет приложения продольной силы

$$e_o = \frac{M}{N} = \frac{14}{180} = 0,0778м = 7,78см.$$

По формуле (36) определяем величину $\mathscr{e}$ с учетом снижения длительного модуля деформации полимербетона E_d = 75000 кГ/см^2 (табл.7) путем умножения его на произведение коэффициентов условий работы 0,525

$$\mathscr{e} = \frac{1}{1 - \frac{1,2\,N}{0,525 \cdot E_d b h} \cdot \left(\frac{l_o}{h}\right)^2} = \frac{1}{1 - \frac{1,2 \cdot 180000}{0,525 \cdot 75000 \cdot 30 \cdot 50} \cdot \left(\frac{500}{50}\right)^2} =$$

= 1,576.

С учетом увеличения эксцентриситета e_o после умножения на коэффициент $\mathscr{e}$ имеем случай малого эксцентриситета (33)

$e_{0\partial\ell} = 7{,}78.1{,}576 = 12{,}26$ см $< 0{,}25\,h = 0{,}25.50 = 12{,}5$ см.

Из табл.7 при $\bar{R} = 700$ имеем: $\varepsilon_к = 2.10^{-3}$, $\varepsilon_d = 3{,}6.10^{-3}$; согласно п.9.3 коэффициент $m_{\partial\Lambda} = 0{,}9$; находим деформацию по формуле (17)

$$\varepsilon_c = \varepsilon_к + \frac{N_{\partial\Lambda} + m_{\partial\Lambda} N_{вр}}{N} (\varepsilon_d - \varepsilon_к) = 2.10^{-3} + \frac{90+0{,}9.50}{180} \cdot$$

$$\cdot (3{,}6-2).10^{-3} = 3{,}2.10^{-3}.$$

Расчетное сопротивление R_c определяем по формуле (13) с учетом коэффициентов условий работы (0,525)

$$R_c = (562{,}5 - 81{,}3.10^3 \cdot \varepsilon_c).0{,}525 = (562{,}5 - 81{,}3.10^3 \cdot$$

$$\cdot 3{,}2.10^{-3}).0{,}525 = 158{,}6 \text{ кГ/см}^2,$$ при котором выполняется условие (35)

$$1 > \frac{N}{R_c \beta h} = \frac{180000}{158{,}6.30.50} = 0{,}756 > 0{,}5.$$

Требуемую площадь F_a' арматуры, размещаемой у более напряженной сжатой грани, определяем из условия (39)

$$F_a' = \frac{N(e_{0\partial\ell} + \frac{h}{2} - a) - \frac{5}{12} R_c \beta h_0^2}{R_{ac}(h_0 - a')} =$$

$$= \frac{180000\ (12{,}26 + \frac{50}{2} - 5) - \frac{5}{12} \cdot 158{,}6.30.45^2}{2700\ (45-5)} = 16{,}46 \text{см}^2.$$

Принимаем 3ø28 ($F_a' = 18{,}47$ см^2); со стороны менее напряженной грани ставим 2ø16 (рис.18) с площадью $F_a = 4{,}02$см^2, что больше требуемого конструктивного минимума ($0{,}0025.\beta.h = 0{,}9925.30.50 = 3{,}76$ см^2). Суммарная площадь арматуры

$$F_a + F_a' = 4{,}02 + 18{,}47 = 22{,}47 \text{ см}^2.$$

Прочность колонны в плоскости, перпендикулярной к действию изгибающих моментов, обеспечена – условие (I5) выполняется

$$N = 180T < \varphi\left[R_c(F - F_a) + R_{ac}F_a\right] = 0{,}731\left[158{,}6\ (30.50 - 22{,}47) + 2700.22{,}47\right] = 215500\ кГ = 21{,}55T,$$

где $\varphi = 0{,}731$ при $l_0 : b = 500.30 = 16{,}7$ (табл.II).

При выполнении условий (35) и (33) расчет трещиностойкости внецентренно сжатых элементов не производят (предполагается отсутствие растянутой зоны).

Пример 6. Дано: внецентренно нагруженная колонна с размерами сечения $b \times h = 30 \times 50$ см; $a = a' = 5$ см; расчетная длина $l_0 = 5{,}0$ м; полимербетон ФАМ марки 700; арматура из стали класса А-II ($R_a = R_{ac} = 2700$ кГ/см^2); температура среды 20^0; влажность до 60% с концентрацией азотной кислоты до 3%; расчетные продольные силы и им соответствующие изгибающие моменты: от постоянной нагрузки $N_{дл} = 50T$ и $M_{дл} = 6$Тм; от временной снеговой нагрузки $N_{вр} = 40T$ и $M_{вр} = 5$Тм; от кратковременно действующей крановой нагрузки $N_{кр} = 20T$ и $M_{кр} = 8$Тм.

Требуется определить площадь сечения продольной арматуры из условия обеспечения прочности колонны.

Расчет. Суммарные значения величин продольной силы и изгибающего момента

$$N = N_{дл} + N_{вр} + N_{кр} = 50 + 40 + 20 = 110T$$

$$M = M_{дл} + M_{вр} + M_{кр} = 6 + 5 + 8 = 19{,}0Tм.$$

Начальный эксцентриситет приложения продольной силы N

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{19{,}0}{110} = 17{,}26см.$$

Согласно табл.10 коэффициент условия работы $K_x = 0,7$.

По формуле (36) определяем коэффициент

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{1,2\,N}{K_x E_d b h}\left(\frac{l_0}{h}\right)^2} = \frac{1}{1 - \frac{1,2 \cdot 110000}{0,7 \cdot 75000 \cdot 30 \cdot 50}\left(\frac{500}{50}\right)^2} =$$

$$= 1,202.$$

С учетом увеличения e_0 после умножения на коэффициент η имеем случай большого эксцентриситета (34)

$$e_0\eta = 17,26 \cdot 1,202 = 20,55 > 0,25\,h = 0,25 \cdot 50 = 12,5 \text{см}$$

Подсчитываем величины заменяющих моментов (см.рис.8):

момент от суммарной продольной силы $N = 110$Т относительно центра растянутой арматуры -

$$M_з = N\left(e_0\eta + \frac{h}{2} - a\right) = 110000\left(20,55 + \frac{50}{2} - 5\right) =$$

$$= 4465000 \text{ кГсм} = 44,65 \text{ Тм};$$

момент от продольной силы $N_{дл} = 50$Т -

$$M_{дл.з} = N_{дл}\left(e_{0.дл}\eta + \frac{h}{2} - a\right) = N_{дл}\left(\frac{M_{дл}}{N_{дл}}\eta + \frac{h}{2} - a\right) = 50000\left(\frac{600}{50} \cdot 1,202 + \frac{50}{2} - 5\right) = 1720000 \text{кГсм} =$$

$$= 17,2 \text{ Тм};$$

момент от продольной силы $N_{вр} = 40$Т

$$M_{вр.з} = N_{вр}\left(e_{0.вр}\eta + \frac{h}{2} - a\right) = N_{вр}\left(\frac{M_{вр}}{N_{вр}}\eta + \frac{h}{2} - a\right) =$$

$$= 40000\left(\frac{500}{40} \cdot 1,202 + \frac{50}{2} - 5\right) = 1402000 \text{ кГсм} =$$

$$= 14,02 \text{ Тм}$$ (здесь коэффициент η принят наибольшим

и постоянной величины, что идет в запас прочности).

Расчетную величину относительной деформации ε_c полимербетона на сжатой грани сечения устанавливаем по формуле (23), в которой принимаем $M = M_з$, $M_{дл} = M_{дл.з}$, $M_{вр} = M_{вр.з}$ (см. рис.18) и $m_{дл} = 0,9$ (п.9.3)

$$\varepsilon_c = \varepsilon_к + \frac{M_{дл.з} + m_{дл} M_{вр.з}}{M_з}(\varepsilon_d - \varepsilon_к) = 2.10^{-3} +$$

$$+ \frac{17,2+0,9.14,02}{44,65}(3,6-2).10^{-3} = 3,068.10^{-3},$$

где величины $\varepsilon_к$ и ε_d принимаются по табл.7.

Расчетное сопротивление R_c, отвечающее установленной деформации ε_c, определяем по формуле (13) при $K_x = 0,7$ ($K_в = 1$ и $K_t = 1$)

$$R_c = (562,5 - 81,3.10^3 \cdot \varepsilon_c).K_x = (562,5 - 81,3.10^3.3,068.10^{-3})$$

$$.0,7 = 219 \text{ кГ/см}^2.$$

Принимая симметричное армирование находим относительную высоту сжатой зоны по формуле (43)

$$\xi_c = 1,5 \frac{N}{R_c b h_o} = 1,5 \frac{110000}{219.30.45} = 0,558,$$

полученное значение величины ξ_c удовлетворяет условию (24)

$$\xi_c = 0,558 < \frac{1}{1 + \frac{1,285.10^{-3}}{3,068.10^{-3}}} = 0,705.$$

Площадь сжатой и растянутой арматуры определяем из условия (41)

$$F'_a = F_a = \frac{N\left(e_{0\partial e} + \frac{h}{2} - a\right) - \frac{2}{3} R_c\, b\, h_0^2 \left(1 - \frac{3}{8}\right)}{R_{ac}(h_0 - a)} =$$

$$= \frac{110000.(20{,}55 + \frac{50}{2} - 5) - \frac{2}{3}\, 219.30.45^2.0{,}558.(1 - \frac{3}{8} 0{,}558)}{2700\ (45-5)} =$$

$= 5{,}24\ см^2$.

Принимаем для сжатой и растянутой зоны по 2ø20 ($F_a = F'_a = 6{,}28\ см^2$).

Прочность колонны в плоскости, перпендикулярной к действию изгибающих моментов, обеспечена – условие (15) выполняется

$$N = 110Т < \varphi\left[R_c(F - F_a) + R_{ac}F_a\right] =$$

$= 0{,}731\ \left[219(30.50 - 12{,}56) + 2700.12{,}56\right] = 263000\ кГ =$
$= 26{,}3Т$, где $\varphi = 0{,}731$ при $l_0 : b$ 500:30 =
$= 16{,}7$ (табл.11) и $F_a = 2.6{,}28 = 12{,}56\ см^2$.

Внецентренно нагруженный элемент, работающий с большим эксцентриситетом, необходимо рассчитать и на трещиностойкость.

Пример 7. По данным примера 6 произведем расчет трещиностойкости внецентренно нагруженной колонны.

Продольные усилия от нормативных нагрузок равны

$$N^н_{дл} = \frac{N_{дл}}{1{,}15} = \frac{50}{1{,}15} = 43{,}5Т; \quad N^н_{вр} = \frac{N_{вр}}{1{,}4} = \frac{40}{1{,}4} = 28{,}6Т;$$

$$N^н_{кр} = \frac{M_{дл}}{1{,}2} = \frac{20}{1{,}2} = 16{,}65Т;$$

изгибающие моменты от нормативных нагрузок

$$M^н_{дл} = \frac{M_{дл}}{1{,}15} = \frac{6}{1{,}15} = 5{,}22Тм; \quad M^н_{вр} = \frac{M_{вр}}{1{,}4} = \frac{5}{1{,}4} = 3{,}57Тм;$$

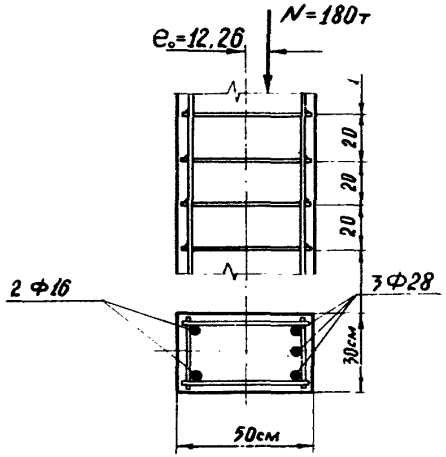


Рис. 19. Армирование внецентренно сжатого элемента (пример 5)

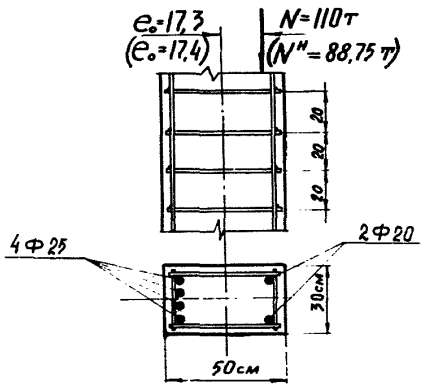


Рис. 20. Армирование внецентренно сжатого элемента (пример 6 и 7).

$$M^{н}_{кр} = \frac{M_{кр}}{1{,}2} = \frac{8{,}0}{1{,}2} = 6{,}67 \text{ Тм},$$

где 1,15, 1,4 и 1,2 – коэффициенты перегрузки.

Суммарные продольное усилие и момент

$$N^{н} = N^{н}_{дл} + N^{н}_{вр} + N^{н}_{кр} = 43{,}5 + 28{,}6 + 16{,}65 = 88{,}75\text{Т};$$

$$M^{н} = M^{н}_{дл} + M^{н}_{вр} + M^{н}_{кр} = 5{,}22 + 3{,}57 + 6{,}67 = 15{,}46 \text{ Тм}.$$

Начальный эксцентриситет приложения продольной силы

$$e_{o} = \frac{M^{н}}{N^{н}} = \frac{15{,}46}{88{,}75} = 0{,}174 \text{ м} = 17{,}4 \text{ см};$$

имеем случай большого эксцентриситета

$$e_{o} = 17{,}4\text{см} > 0{,}25\,h = 0{,}25 \cdot 50 = 12{,}5 \text{ см}.$$

По формуле (36) определяем коэффициент ηe при

$N^{н} = 88{,}75\text{Т}$ и при $K_{х} = 0{,}70$

$$\eta e = \frac{1}{1 - \frac{1{,}2\,N^{н}}{K_{х} E_{d} \beta h}\left(\frac{l_{o}}{h}\right)^{2}} = \frac{1}{1 - \frac{1{,}2 \cdot 88750}{0{,}70 \cdot 75000 \cdot 30 \cdot 50}\cdot\left(\frac{500}{50}\right)^{2}} = 1{,}156$$

Подсчитываем коэффициенты α (62), β (57), c (63) и d (59).

$$\alpha = 2 + n\mu_{1} + n\mu'_{1} = 2 + \frac{E_{a}}{K_{х} E_{o}} \cdot \frac{F_{a}}{\beta h} + \frac{E_{a}}{K_{х} E_{o}} \cdot \frac{F'_{a}}{\beta \cdot h} =$$

$$= 2 + \frac{2{,}1{,}10^{6}}{0{,}7 \cdot 2 \cdot 10^{5}} \cdot \frac{6{,}28}{30 \cdot 50} + \frac{2{,}1{,}10^{6}}{0{,}7 \cdot 2 \cdot 10^{5}} \cdot \frac{6{,}28}{30 \cdot 50} = 2{,}126;$$

$$\beta = 2 + 2n\mu_{1} = 2 + 2 \cdot 0{,}063 = 2{,}126;$$

$$c = 1{,}5 \frac{E_{a}}{K_{х} E_{d}} \left(\frac{F_{a}}{\beta h_{o}} + \frac{F'_{a}}{\beta h_{o}}\right) = 1{,}5 \frac{2{,}1{,}10^{6}}{0{,}7 \cdot 75000} \cdot \frac{6{,}28}{30 \cdot 45} \cdot 2 =$$

$$= 0{,}560; \qquad d = 1{,}5 \frac{E_{a}}{K_{х} E_{d}} \frac{F_{a}}{\beta h_{o}} =$$

$$= 1{,}5\,\frac{2{,}1\cdot10^{6}}{0{,}7\cdot0{,}75\cdot10^{5}}\cdot\frac{6{,}28}{30\cdot45} = 0{,}280.$$

По формулам (55) и (58) находим

$$\xi_{\text{к.тр}} = a - \sqrt{a^2 - \beta} = 2{,}126 - \sqrt{2{,}126^2 - 2{,}126} = 0{,}581;$$

$$\xi_{d.\text{тр}} = -\frac{c}{2} + \sqrt{\left(\frac{c}{2}\right)^2 + d} = -\frac{0{,}560}{2} +$$

$$+\sqrt{\left(\frac{0{,}560}{2}\right)^2 + 0{,}280} = 0{,}315.$$

Из табл.7 для ФАМ при $\bar{R} = 700$ с учетом $K_x = 0{,}7$ имеем расчетное сопротивление $R_{кр} = 0{,}7\cdot40 = 28$ кГ/см^2. По формуле (60) определяем момент $M_{\text{к.тр}}$ (см.рис.12 и 14)

$$M_{\text{к.тр}} = 1{,}3\left[(1 - \xi_{\text{к.тр}})\left(\frac{1}{2} + \frac{\xi_{\text{к.тр}}}{6}\right) + n\mu_1\left(\frac{h_0}{h} - \frac{\xi_{\text{к.тр}}}{2}\right) + \right.$$

$$\left. + n\mu_1\left(\frac{\xi_{\text{к.тр}}}{3} - \frac{a'}{h}\right)\frac{\xi_{\text{к.тр}}}{1 - \xi_{\text{к.тр}}}\right] R_{кр} b h^2 =$$

$$= 1{,}3\left[(1-0{,}581)\left(0{,}5 + \frac{0{,}581}{6}\right) + 0{,}063\left(\frac{45}{50} - \frac{0{,}581}{3}\right) + \right.$$

$$\left. + 0{,}063\left(\frac{0{,}581}{3} - \frac{5}{50}\right)\cdot\frac{0{,}581}{1-0{,}581}\right]\cdot 28\cdot30\cdot50^2 =$$

= 828000 кГсм = 8,28Тм, что меньше величины внешнего момента, соответствующего левой части условия (70) и равного

$$N^{н}\left(e_0 e - \frac{h}{6}\right) = 88750\left(17{,}4\cdot1{,}156 - \frac{50}{6}\right) =$$

= 1031100 кГсм = 10,31 Тм; трещиностойкость колонны не обеспечена и производить проверку выполнения условия (71) в данном случае не имеет смысла. Для обеспечения трещиностойкости колонны следует в

растянутую зону поставить 4Ø25 (F_a = I9,64 см^2).

В этом случае имеем:

$$a = 2 + n\mu_1 + n\mu_1' = 2 + \frac{E_a}{\kappa_x E_o} \cdot \frac{F_a}{\beta h} + \frac{E_a}{\kappa_x E_o} \cdot \frac{F_a'}{\beta h} =$$

$$= 2 + \frac{2,I.I0^6}{0,7.2.I0^5} \cdot \frac{I9,64}{30.50} + \frac{2,I.I0^6}{0,7.2.I0^5} \cdot \frac{6,28}{30.50} = 2,26 ;$$

$$\beta = 2 + 2n\mu_1 = 2 + 2 \cdot 0,I97 = 2,394;$$

$$c = I,5 \frac{E_a}{\kappa_x E_d} \left(\frac{F_a}{\beta h_o} + \frac{F_a}{\beta h_o}\right) = I,5 \frac{2,I.I0^6}{0,7.75000} \cdot$$

$$\cdot \left(\frac{I9,64}{30.46} + \frac{6,28}{30.46}\right) = I,I5;$$

$$d = I,5 \cdot \frac{E_a}{\kappa_x E_d} \frac{F_a}{\beta h_o} = I,5 \frac{2,I.I0^6}{0,7.75000} \cdot \frac{I9,64}{30.45} = 0,872;$$

$$\xi_{K.TP} = a - \sqrt{a^2 - \beta} = 2,26 - \sqrt{2,26^2 - 2,394} = 0,360$$

$$\xi_{d.TP} = -\frac{c}{2} + \sqrt{\left(\frac{c}{2}\right)^2 + d} = -\frac{I,I5}{2} + \sqrt{\left(\frac{I,I5}{2}\right)^2 + 0,872} =$$

$$= 0,524.$$

По вышеприведенной формуле (60) величина момента $M_{K.TP}$ будет при этом равна

$$M_{K.TP} = I,3 \left[(I - 0,360)\left(0,5 + \frac{0,360}{6}\right) + \frac{2,I.I0^6}{0,7.2.I0^5} \cdot \frac{I9,64}{30.50} \left(\cdot\right.\right.$$

$$\left. \cdot \left(\frac{45}{50} - \frac{0,360}{3}\right) + \frac{2,I.I0^6}{0,7.2.I0^5} \cdot \frac{6,28}{30.50} \cdot \left(\frac{0,360}{3} - \frac{5}{50}\right) \cdot \right.$$

$$\left. \frac{0,360}{I - 0,360}\right] \cdot 28.30.50^2 = I050000 \text{ кГсм} = I0,5 \text{Тм}, \text{ что больше}$$

I0,3I Тм.

По формуле (6I) определяем момент $M_{d.тр}$

$$M_{d.тр} = 1{,}3 \cdot \varepsilon_{dp} E_a h_0 \left[F_a \left(1 - \frac{3}{8} \xi_{d.тр}\right) + F'_a \left(\frac{3}{8} \xi_{d.тр} - \frac{a'}{h}\right) \cdot \frac{\xi_{d.тр}}{1 - \xi_{d.тр}} \right] = 1{,}3 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 2{,}1 \cdot 10^{6} \cdot 45 \left[19{,}64 \left(1 - \frac{3}{8} 0{,}524\right) + 6{,}28 \cdot \left(\frac{3}{8} 0{,}524 - \frac{5}{45} \right) \frac{0{,}524}{1 - 0{,}524} \right] = 1040000 \text{ кГсм} =$$

= 10,4Тм, что больше 10,31Тм; трещиностойкость колонны обеспечена.

Из приведенного расчета видно, что для обеспечения условий (70) и (71) необходимо принять 4 ⌀ 25 (рис.20).

С О Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
Предисловие	3
1. Терминология	5
2. Виды полимербетонов и особенности их физико-механических свойств	6
3. Материалы для полимербетонов, проектирование и расчет составов	8
4. Технология приготовления полимербетонов:	
а) Основные требования к конструкциям из полимербетонов	18
б) Приготовление полимербетонов	20
в) Формование и отверждение конструкций из полимербетонов	21
5. Контроль качества изготовления конструкций из полимербетонов	23
6. Определение показателя изменчивости, прочности полимербетонов	24
7. Основные физико-механические свойства полимербетонов и рациональные области их применения	25
8. Температурные и усадочные напряжения в полимербетонах	26
9. Основные положения проектирования и расчета несущих сталеполимербетонных конструкций .	30
10. Механические характеристики и коэффициенты условий работы конструкционных полимербетонов.....	34
11. Расчет элементов сталеполимербетонных конструкций по прочности	40
12. Расчет сталеполимербетонных элементов по образованию трещин	55
13. Расчет элементов сталеполимербетонных конструкций по деформациям	64
14. Приложение (примеры расчета)	67

РУКОВОДСТВО ПО РАСЧЕТУ И ПРИМЕНЕНИЮ
КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АРМОПОЛИМЕРБЕТОНОВ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Отдел научно-технической информации НИИЖБ
г. Москва, Ж-389, 2-я Институтская ул.,6

Л 123244 Подписано к печати 23-IX-70г.
Заказ 8/8 Тираж 500 экз. Цена 26 коп.

Отпечатано в Производственных экспериментальных
мастерских ЦИНИСа Госстроя СССР

gost.e-ecolog.ru