
**ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ
ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»**

**САМОРЕГУЛИРУЕМАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
НЕКОММЕРЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО
ОБЪЕДИНЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИЙ ВЫПОЛНЯЮЩИХ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ
«СОЮЗАТОМПРОЕКТ»**

УТВЕРЖДЕНО
решением общего собрания членов
СРО НП «СОЮЗАТОМПРОЕКТ»
Протокол от _____ 20__ года № __

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

ОБЪЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

**Проектирование железобетонных конструкций АЭС с петлевыми стыками
стержневой арматуры
СТО XX XXX-2014**

Настоящий проект стандарта не подлежит
применению до его утверждения

Москва
2014

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения стандарта организации – ГОСТ Р 1.4–2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения».

Сведения о стандарте

- 1 РАЗРАБОТАН ООО «Центр технических компетенций атомной отрасли»
- 2 ВНЕСЁН Советом СРО НП «СОЮЗАТОМПРОЕКТ»
- 3 УТВЕРЖДЁН И ВВЕДЁН В ДЕЙСТВИЕ Протоколом общего собрания СРО НП «СОЮЗАТОМПРОЕКТ» № ____ от _____ 201__ г
- 4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведён, тиражирован и распространён в качестве официального издания без разрешения Госкорпорации «Росатом» и СРО НП «СОЮЗАТОМПРОЕКТ»

Содержание

1 Область применения.....	1
2 Нормативные ссылки.....	2
3 Термины и определения.....	4
4 Сокращения и основные обозначения.....	8
5 Общие положения и требования.....	9
6 Материалы.....	11
6.1 Бетоны.....	11
6.2 Арматура.....	11
7 Основные типы петлевых стыков.....	12
8 Указания по конструированию.....	19
9 Расчеты по предельным состояниям.....	20
9.1 Основные положения и требования.....	20
9.2 Расчеты по первой группе предельных состояний.....	21
9.3 Расчеты по второй группе предельных состояний.....	27
Библиография.....	29
Приложение А. Примеры расчета.....	30

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт организации (далее СТО) устанавливает требования к проектированию петлевых стыков сборных, монолитных и сборно-монолитных железобетонных конструкций в следующих зданиях и сооружениях АЭС:

- реакторное здание;
- вспомогательное реакторное здание;
- здание электроснабжения нормальной эксплуатации;
- хранилище отработавшего топлива;
- хранилище свежего топлива;
- кабельные тоннели системы безопасности;
- кабельные тоннели системы нормальной эксплуатации;
- здание резервного щита управления.

1.2 СТО распространяется на проектирование железобетонных конструкций с петлевыми стыками стержневой арматуры:

- элементов АЭС, относящихся ко 2, 3 и 4 классам безопасности по классификации [1];
- зданий и сооружений I, II и III категорий ответственности за радиационную и ядерную безопасность по классификации [2];
- элементов АЭС, относящихся к I, II и III категориям сейсмостойкости по классификации [3].

1.3 СТО распространяется на сборные, монолитные и сборно-монолитные железобетонные конструкции АЭС, выполняемые из тяжелого или мелкозернистого бетона классов В25–В60.

1.4 СТО устанавливает и дополняет требования по расчету прочности и деформативности (раскрытию трещин), а также по конструированию элементов петлевых стыков стержневой арматуры железобетонных конструкций с линейными и угловыми очертаниями.

1.5 СТО распространяется на нетрещиностойкие петлевые стыки стержневой арматуры железобетонных конструкций, воспринимающих статические, динамические и температурные нагрузки и воздействия.

1.6 СТО не распространяется на проектирование петлевых стыков предварительно напряженных железобетонных конструкций.

1.7 СТО предназначен для организаций, осуществляющих проектирование, строительство и эксплуатацию АЭС, а также для организаций, привлекаемых к перечисленным работам.

2 Нормативные ссылки

В настоящем СТО использованы нормативные ссылки на следующие федеральные законы, стандарты:

Федеральный закон от 27.12.2002 №184–ФЗ «О техническом регулировании»

Федеральный закон от 30.12.2009 №384–ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

ГОСТ 7473 Смеси бетонные. Технические условия

ГОСТ 10060 Бетоны. Методы определения морозостойкости

ГОСТ 10180 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

ГОСТ 12730 Бетоны. Методы определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водопроницаемости

ГОСТ 26633 – 2012 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия

ГОСТ 27751– 88 Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчёту

ГОСТ 28570 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций

ГОСТ 54257-2010 Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения

ГОСТ Р 1.4–2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения

ГОСТ Р 18105 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности

СП 14.13330.2012 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*

СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*

СП 27.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. Актуализированная редакция СНиП 2.03.04-84

СП 28.13330.2012 Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85

СП 41.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87

СП 43.13330.2012 Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85

СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003

СП 88.13330.2014 Защитные сооружения гражданской обороны. Актуализированная редакция СНиП II-11-77*

СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений

NS-G-1.6. Проектирование и аттестация сейсмостойких конструкций для атомных электростанций. Руководство по безопасности. МАГАТЭ, Вена

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по опубликованным в текущем году выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя «Национальные стандарты». Сведения о действии сводов правил можно проверить в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт (документ) на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем СТО применены понятия по Федеральному закону от 27.12.2002 №184–ФЗ и Федеральному закону от 30.12.2009 №384–ФЗ, термины по [4], а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 арматура (каркас) бетонного ядра петлевого стыка: Арматурные стержни (каркасы), уложенные вдоль ядра для его усиления, которые могут примыкать к арматурным петлям или быть плавающими (см. рисунок 7.6).

3.2 бетонное ядро петлевого стыка: Основная рабочая часть бетона петлевого стыка, заключенная между встречными петлями стыкуемых арматурных стержней (см. рисунок 3.1), передающая вместе с арматурным каркасом усилия с одной части элемента на другую или с одного элемента узла железобетонной конструкции на другой или на другие.

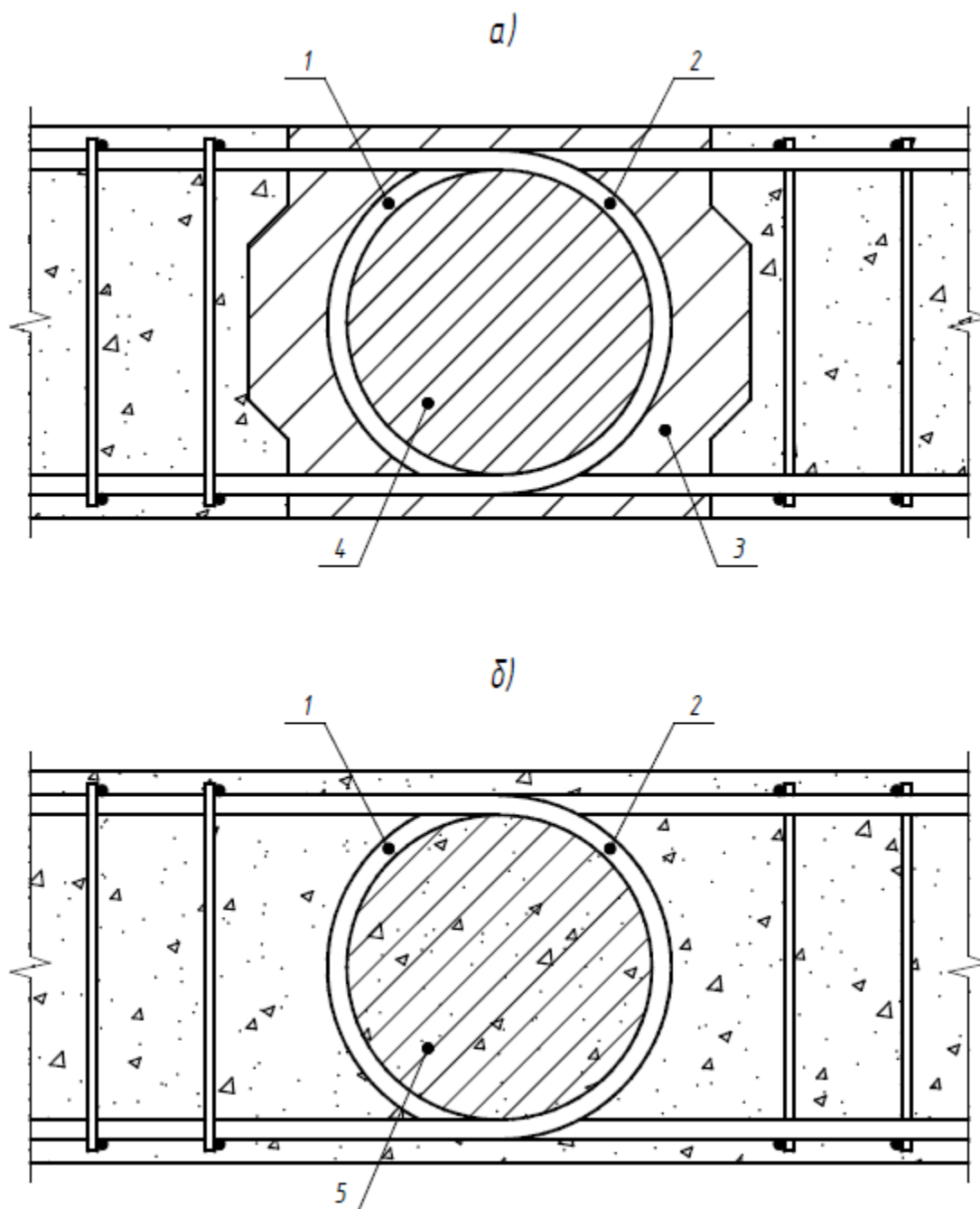


Рисунок 3.1- Петлевой стык стержневой арматуры железобетонных конструкций.

а) в сборной из двух элементов железобетонной конструкции;

б) в монолитной железобетонной конструкции;

1 – петля стержневой арматуры правого элемента (каркаса) железобетонной конструкции;

2 – петля стержневой арматуры левого элемента (каркаса) железобетонной конструкции;

3 – бетон омоноличивания стыка сборной железобетонной конструкции;

4 – бетон ядра петлевого стыка сборной железобетонной конструкции;

5 – бетон ядра монолитной железобетонной конструкции.

3.3 деформация строительной конструкции: Изменение формы и размеров, а также потеря устойчивости под влиянием нагрузок и воздействий окружающей среды.

3.4 конструкции строительные: Элементы здания или сооружения, выполняющие несущие, ограждающие либо совмещенные (несущие и ограждающие) функции.

3.5 критерии безопасности: Предельные значения количественных и качественных показателей состояния сооружения и условий его эксплуатации, соответствующие допустимому уровню риска аварии сооружения и утвержденные в установленном порядке федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими государственный надзор за безопасностью сооружений.

3.6 критерий оценки технического состояния: Установленная проектом или нормативным документом количественное или качественное значение параметра, характеризующего деформативность, несущую способность и другие нормируемые характеристики.

3.7 магистральные трещины: Силовые обособленные трещины, полностью пересекающие железобетонную конструкцию по всей её протяженности и рабочую арматуру, по которым произойдет деление конструкции на части.

3.8 нагрузка: Механическая сила или иное воздействие, прилагаемые к строительным конструкциям здания или сооружения и определяющие их напряженно-деформированное состояние.

3.9 несущая способность: Способность конструкции выполнять требуемые (проектной и нормативной документацией) функции в заданных режимах и условиях применения.

3.10 нормальные условия эксплуатации АЭС: Все состояния АЭС в соответствии с принятой в проекте технологией производства энергии, включая работу на заданных уровнях мощности, процессы пуска и останова, техническое обслуживание, ремонты, перегрузку ядерного топлива.

3.11 особые воздействия на здания и сооружения АЭС: Воздействия от экстремальных температур, ураганов, смерчей (торнадо), волн цунами, максимального расчетного землетрясения, максимальной проектной аварии, падения самолёта.

3.12 петлевой стык стержневой арматуры железобетонных конструкций: соединение заканчивающихся петлями стержневой арматуры двух или более стыкуемых арматурных каркасов, принадлежащих одному (при линейном расположении) или более (при угловом расположении) элементам узла железобетонной конструкции, путём перепуска встречных петель стержневой арматуры, в котором между петлями стыкуемых стержней образуется бетонное ядро, передающее вместе с арматурным каркасом усилия с одной части элемента на другую или с одного элемента узла железобетонной конструкции на другой (см. рисунки 3.1, 7.2 и 7.3).

3.13 петля: Арматурный стержень с углом загиба на 180° при одиночном центрегиба или с последовательными двумя загибами на 90° при двух расположенных в одной плоскости центрахгиба (см. рисунок 7.1).

3.14 предел прочности: Механическая характеристика материалов, выражающая условное напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению.

3.15 предельное состояние: Состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно (ГОСТ 15467).

3.16 проектная авария: Авария, исходное событие которой устанавливается действующей нормативно-технической документацией и для которой проектом предусматривается обеспечение безопасности АЭС.

3.17 срок службы: Календарная продолжительность эксплуатации объекта от начала эксплуатации или ее возобновления после ремонта до момента перехода в ПС.

3.18 усилия: Силы, возникающие в поперечном сечении элемента конструкций от внешних нагрузок и воздействий (продольная и поперечная силы, изгибающий и крутящий моменты).

4 Сокращения и обозначения

4.1 Сокращения

АЭС – атомная электростанция;

ЖБК – железобетонная(ые) конструкция(и);

СНиП – строительные нормы и правила;

СТО – стандарт организации.

4.2 Основные обозначения

Усилия от внешних нагрузок и воздействий в поперечном сечении элемента

M - изгибающий момент;

N - продольная сила;

Q - поперечная сила;

Характеристики материалов

$R_{b,n}$ - нормативное сопротивление бетона осевому сжатию;

R_b - расчетное сопротивление бетона осевому сжатию для предельного состояния первой и группы;

$R_{bt,n}$ - нормативное сопротивление бетона осевому растяжению;

R_{bt} - расчетное сопротивление бетона осевому растяжению для предельного состояния первой и группы;

R_{bond} - расчетное сопротивление сцепления арматуры с бетоном;

R_s - расчетное сопротивление арматуры растяжению

E_s - модуль упругости арматуры;

Геометрические характеристики

b - ширина прямоугольного сечения;

h - высота сечения;

a, a' - расстояние от равнодействующей усилий в арматуре соответственно S и S' до ближайшей грани сечения;

h_0, h'_0 - рабочая высота сечения, равная соответственно $h - a$ и $h - a'$;

x - высота сжатой зоны бетона;

l_{an} - длина зоны анкеровки;

d_s - номинальный диаметр стержней продольной арматуры;

A_s - площадь сечения арматуры;

D - диаметр ядра петлевого стыка;

D_{cal} - требуемый по расчету диаметр бетонного ядра петлевого стыка;

D_k - приведенный диаметр эквивалентного кругового ядра;

A_k - площадь сечения бетонного ядра петлевого стыка;

c - длина прямой вставки арматурного стержня в петлевом стыке;

r - радиус закругления арматуры в петлевом соединении

U_0 - расстояние между стержнями рабочей арматуры в зоне петлевого соединения.

5 Общие положения и требования

5.1 Петлевые стыки предназначены для повышения:

А) технологичности ЖБК АЭС, индустриализации их возведения и снижения стоимости путем:

- промышленного изготовления укрупненных армопалубочных блоков;
- снижения трудозатрат при монтаже арматурных элементов;
- отказа от требований по соосности стыкуемых арматурных стержней;
- исключения концентрации напряжений, характерных для сварных и механических соединениях стержневой арматуры;

Б) долговечности ЖБК.

5.2 Петлевые стыки должны отвечать требованиям: безопасности, эксплуатационной пригодности, долговечности, а также дополнительным требованиям, указанным в задании на проектирование.

5.3 Для удовлетворения требований по безопасности петлевые стыки должны иметь такие начальные характеристики, чтобы при различных расчетных нагрузках и воздействиях в процессе строительства и эксплуатации АЭС были исключены разрушения любого характера или нарушения эксплуатационной пригодности, связанные с причинением вреда жизни или здоровью граждан, а также материального ущерба и ущерба окружающей среде.

5.4 Для удовлетворения требований по эксплуатационной пригодности петлевые стыки должны иметь такие начальные характеристики, чтобы при различных расчетных нагрузках и воздействиях не возникали чрезмерные перемещения, колебания и другие повреждения, затрудняющие нормальную эксплуатацию (нарушение технологических требований по нормальной работе оборудования, механизмов, конструктивных требований по совместной работе элементов и других требований, установленных при проектировании).

5.5 Для удовлетворения требований долговечности петлевые стыки должны иметь такие начальные характеристики, чтобы в течение установленного длительного времени выполнялись бы требования по их безопасности и эксплуатационной пригодности с учетом влияния на геометрические характеристики элементов и механические характеристики материалов различных расчетных нагрузок и воздействий (длительное воздействие нагрузок, неблагоприятные технологические, климатические, температурные и влажностные воздействия, агрессивные воздействия, попеременное замораживание и оттаивание, радиационное воздействие).

5.6 Безопасность, эксплуатационная пригодность, долговечность и требования, устанавливаемые заданием на проектирование, должны быть обеспечены выполнением требований к бетону, к арматуре и арматурным изделиям, к расчетам и конструкциям зданий и сооружений АЭС, к технологии производства строительномонтажных работ и условиям эксплуатации зданий и сооружений АЭС.

Помимо требований настоящего СТО надлежит соблюдать требования соответствующих нормативных документов, относящихся к проектированию отдельных видов зданий и сооружений АЭС.

5.7 Качество монтажа и условия эксплуатации петлевых стыков должны соответствовать требованиям проекта по их пригодности к эксплуатации и по долговечности.

6 Материалы

6.1 Бетоны

6.1.1 Бетон петлевых стыков должен иметь класс по прочности на сжатие В25 и выше. Расчетные характеристики бетона при расчете петлевых стыков должны приниматься в соответствии с требованиями СП 63.13330.2012, СП 27.13330.2012, СП 41.13330.2012 и других нормативных документов, относящихся к проектированию отдельных видов сооружений, а также с дополнительными требованиями, указанными в задании на проектирование.

6.1.2 Состав бетона и контроль его качества должны удовлетворять требованиям ГОСТ 7473, ГОСТ 10060, ГОСТ 10180, ГОСТ 12730, ГОСТ 26633–2012, ГОСТ 28570, ГОСТ Р 18105.

6.1.3 Учитывая локальное уплотнение размещения арматуры и специфику контактного взаимодействия бетона с гнутой арматурой, при бетонировании петлевых стыков следует уделять особое внимание обеспечению сплошности бетонной массы и плотности контакта бетона с арматурой.

6.2 Арматура

6.2.1 Для армирования петлевых стыков ЖБК АЭС следует применять стержневую арматуру периодического профиля классов А400, А500 и А600, отвечающую требованиям соответствующих стандартов или утвержденных в установленном порядке технических условий.

Расчетные характеристики арматуры при расчете петлевых стыков должны приниматься в соответствии с требованиями СП 63.13330.2012, СП 27.13330.2012, СП 41.13330.2012 и других нормативных документов, относящихся к проектированию отдельных видов сооружений, а также дополнительным требованиям, указанным в задании на проектирование.

6.2.2 Учитывая особенности работы петлевых стыков, отклонения от проектного положения, размеров и формы арматурных петель должны быть не более 0,1 диаметра петли и не более диаметра стыкуемых стержней.

Скачкообразное изменение размеров сечения бетонного ядра по его длине более чем на 0,1 диаметра петли не допускается.

6.2.3 Проволочную арматуру классов В и В_р разрешается применять в противооткольных арматурных сетках, устанавливаемых в защитном слое бетона.

6.2.4 В конструкциях с петлевыми стыками, рассчитываемых на выносливость, усталостная прочность арматуры умножается на коэффициент условий работы стыка, равный 0,95.

7 Основные типы петлевых стыков

7.1 Основные типы петлевых стыков стержневой арматуры ЖБК разделяются по следующим основным признакам:

А) По форме очертания ядра петлевого стыка арматуры (см. рисунок 7.1) на петлевые стыки:

- с ядром кругового очертания;
- с ядром овального очертания;
- с ядром полигонального (прямоугольного) очертания.

Б) По количеству стыкуемых ЖБК (элементов) на петлевые стыки:

а) для двух стыкуемых ЖБК (см. рисунок 7.2):

- с ядром кругового очертания для стыкуемых ЖБК одинаковой толщины;
- с ядром полигонального (прямоугольного) очертания для стыкуемых ЖБК одинаковой толщины;
- с ядром полигонального (прямоугольного) очертания для стыкуемых ЖБК разной толщины.

б) для трёх стыкуемых ЖБК (см. рисунок 7.3):

- с ядром кругового очертания для стыкуемых ЖБК одинаковой толщины;
- с ядром полигонального (прямоугольного) очертания для стыкуемых ЖБК одинаковой толщины;
- с ядром полигонального (прямоугольного) очертания для стыкуемых ЖБК разной толщины.

Стык трёх ЖБК (элементов) по сравнению со стыком двух ЖБК (элементов) обладает более высокими прочностными показателями в связи со стеснённой угловой деформацией от действия крутящих моментов в ядре и его несущая способность определяется только анкерующей способностью петлевых стержней в стыке.

В) По количеству арматурных сеток у растянутых и сжатых гранях ЖБК (см. рисунки 7.4) на петлевые стыки:

- с двумя рядами арматурных сеток у растянутой и сжатой гранях ЖБК;
- с двумя рядами арматурных сеток у растянутой грани ЖБК;
- с двумя рядами арматурных сеток у растянутой и сжатой гранях ЖБК.

Г) По взаимному размещению арматурных петель ЖБК (см. рисунок 7.5) на петлевые стыки:

- с попарным расположением петель;
- с расположением петель вразбежку.

Д) По армированию ядра стыка ЖБК (см. рисунок 7.6) на петлевые стыки:

- с продольным армированием ядра стыка;
- с поперечным армированием ядра стыка шпильками.

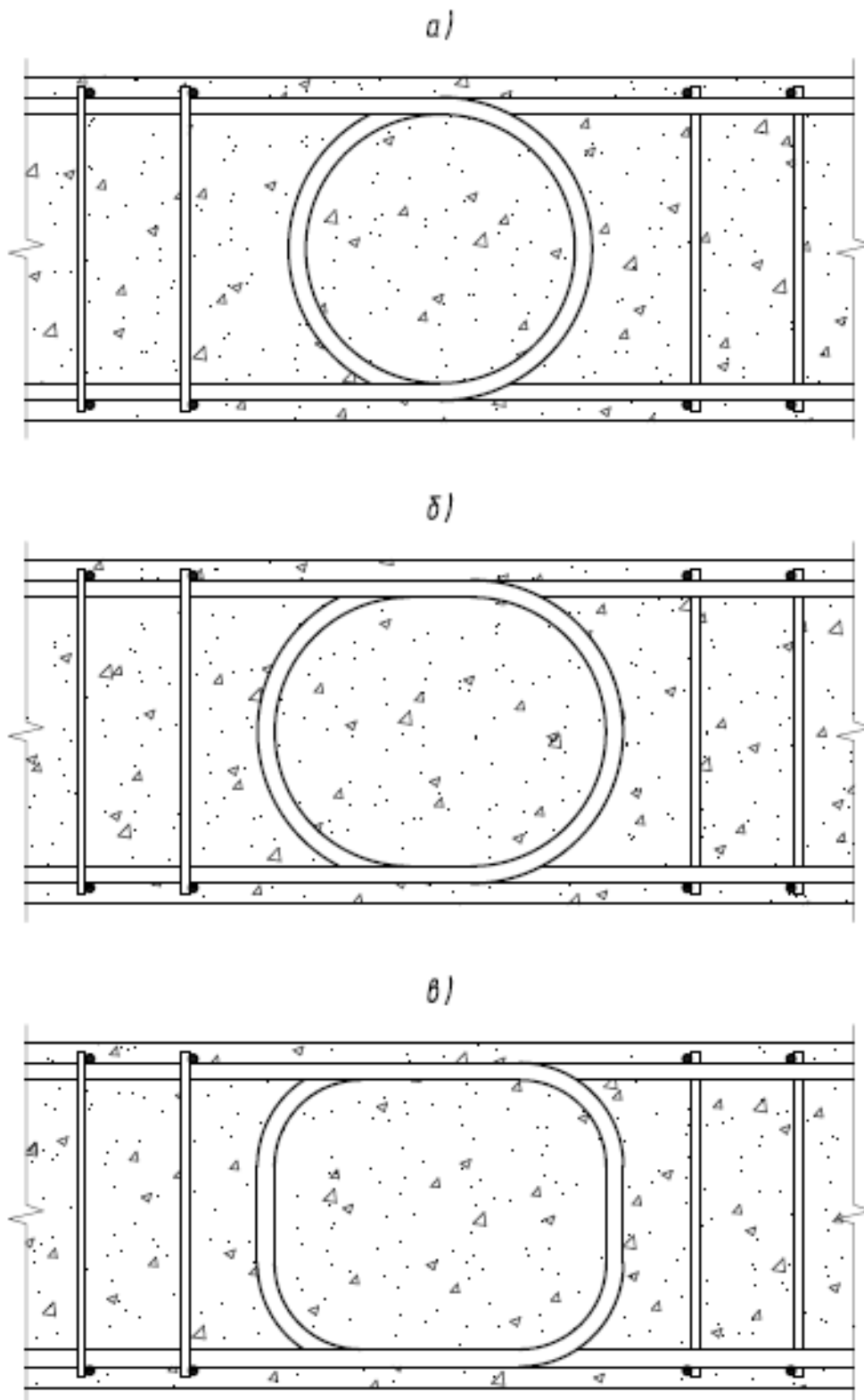


Рисунок 7.1 - Петлевые стыки, классифицируемые по форме очертания ядра петлевого стыка:

- а) с ядром круглого очертания;
- б) с ядром овального очертания;
- в) с ядром полигонального (прямоугольного) очертания.

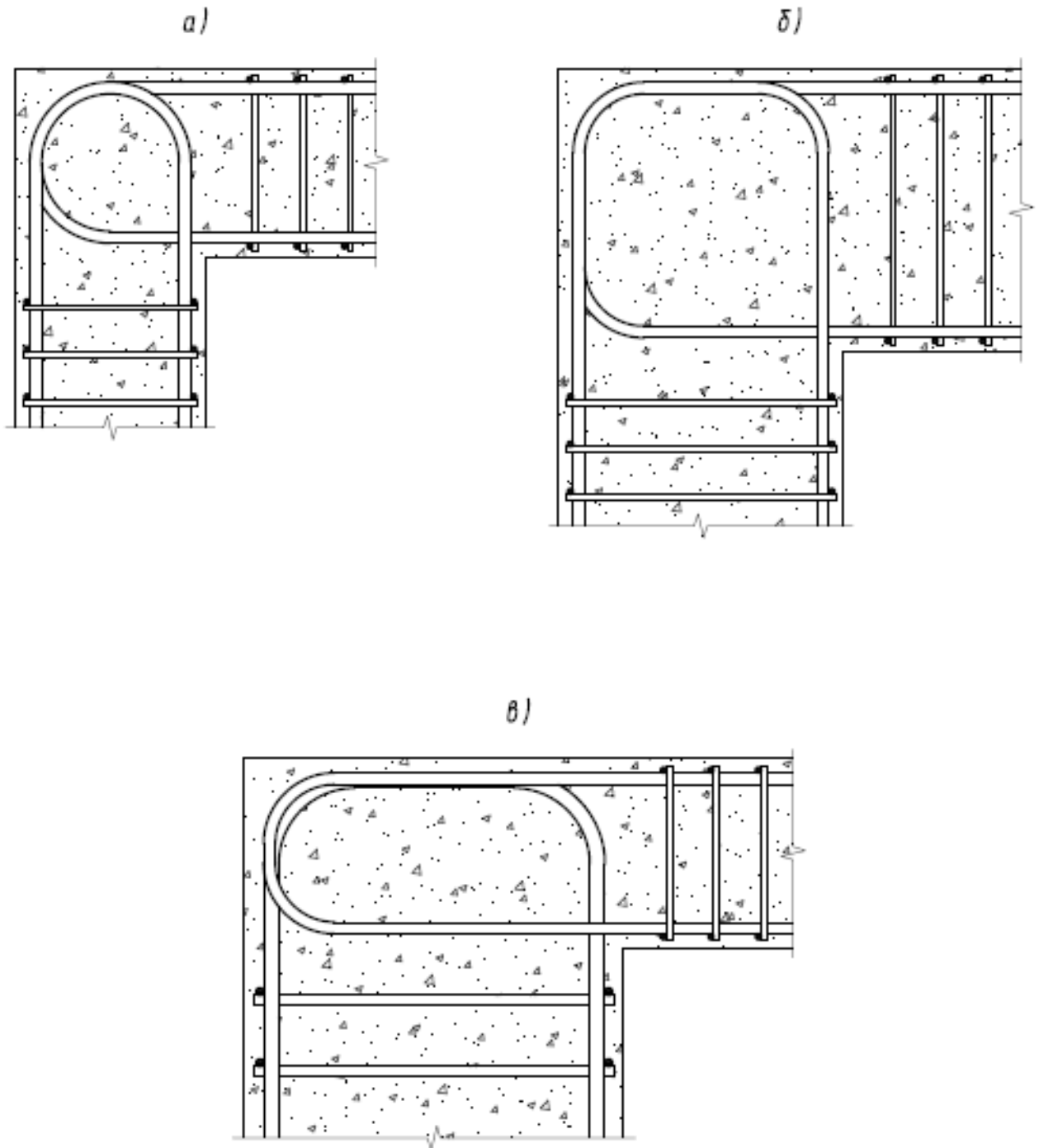


Рисунок 7.2 – Петлевые стыки, классифицируемые по количеству стыкуемых ЖБК, в частности для двух стыкуемых ЖБК:

- а) с ядром кругового очертания для стыкуемых ЖБК одинаковой толщины;
- б) с ядром полигонального (прямоугольного) очертания для стыкуемых ЖБК одинаковой толщины;
- в) с ядром полигонального (прямоугольного) очертания для стыкуемых ЖБК разной толщины.

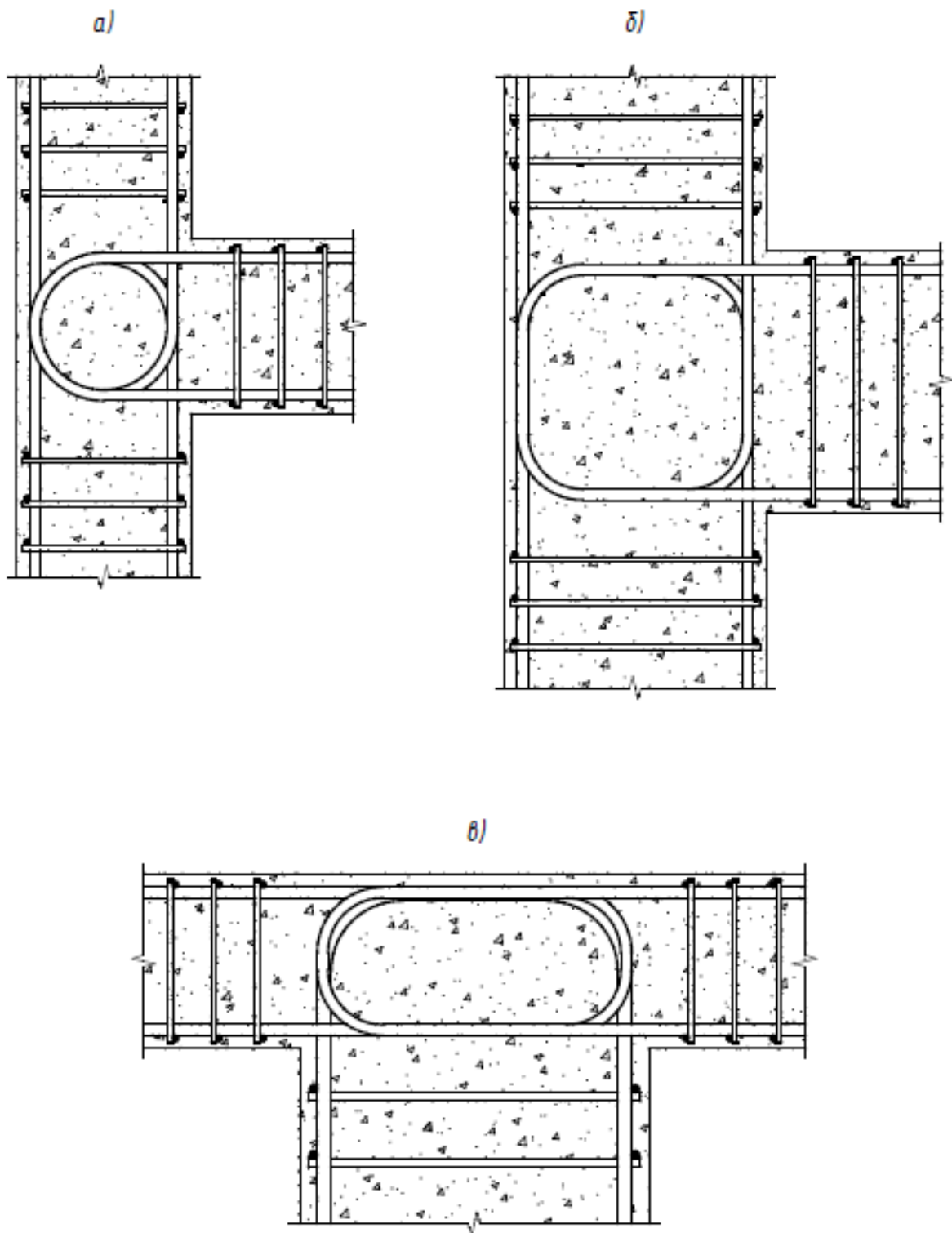


Рисунок 7.3 – Петлевые стыки, классифицируемые по количеству стыкуемых ЖБК, в частности для трех стыкуемых ЖБК:

- а) с ядром кругового очертания для стыкуемых ЖБК одинаковой толщины;
- б) с ядром полигонального (прямоугольного) очертания для стыкуемых ЖБК одинаковой толщины;
- в) с ядром полигонального (прямоугольного) очертания для стыкуемых ЖБК разной толщины.

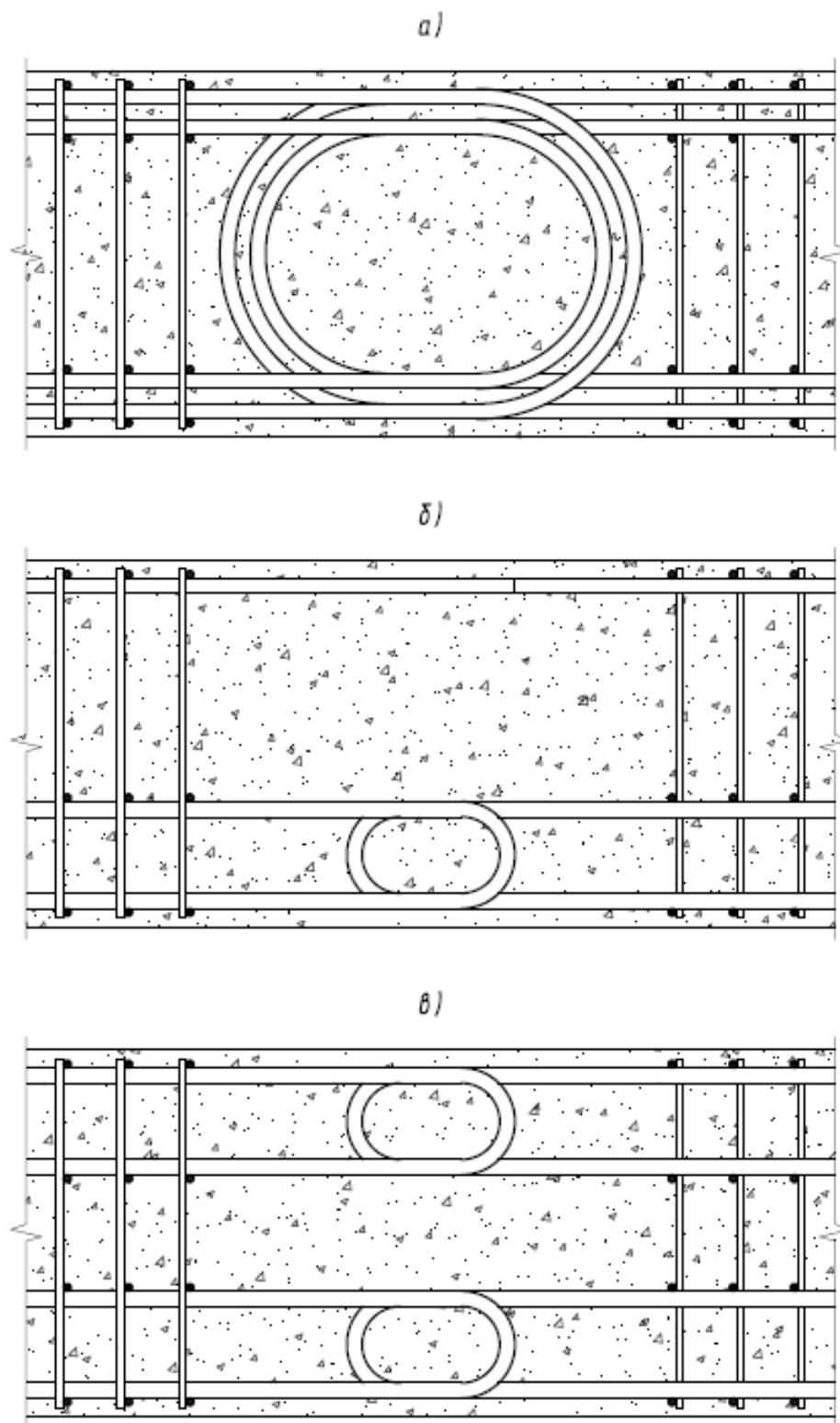


Рисунок 7.4 - Петлевые стыки, классифицируемые по количеству арматурных сеток у растянутых и сжатых гранях стыкуемых ЖБК, в частности для двух арматурных сеток:

- а) с двумя рядами арматурных сеток у растянутой и сжатой гранях ЖБК;
- б) с двумя рядами арматурных сеток у растянутой грани ЖБК;
- в) с двумя рядами арматурных сеток у растянутой и сжатой гранях ЖБК

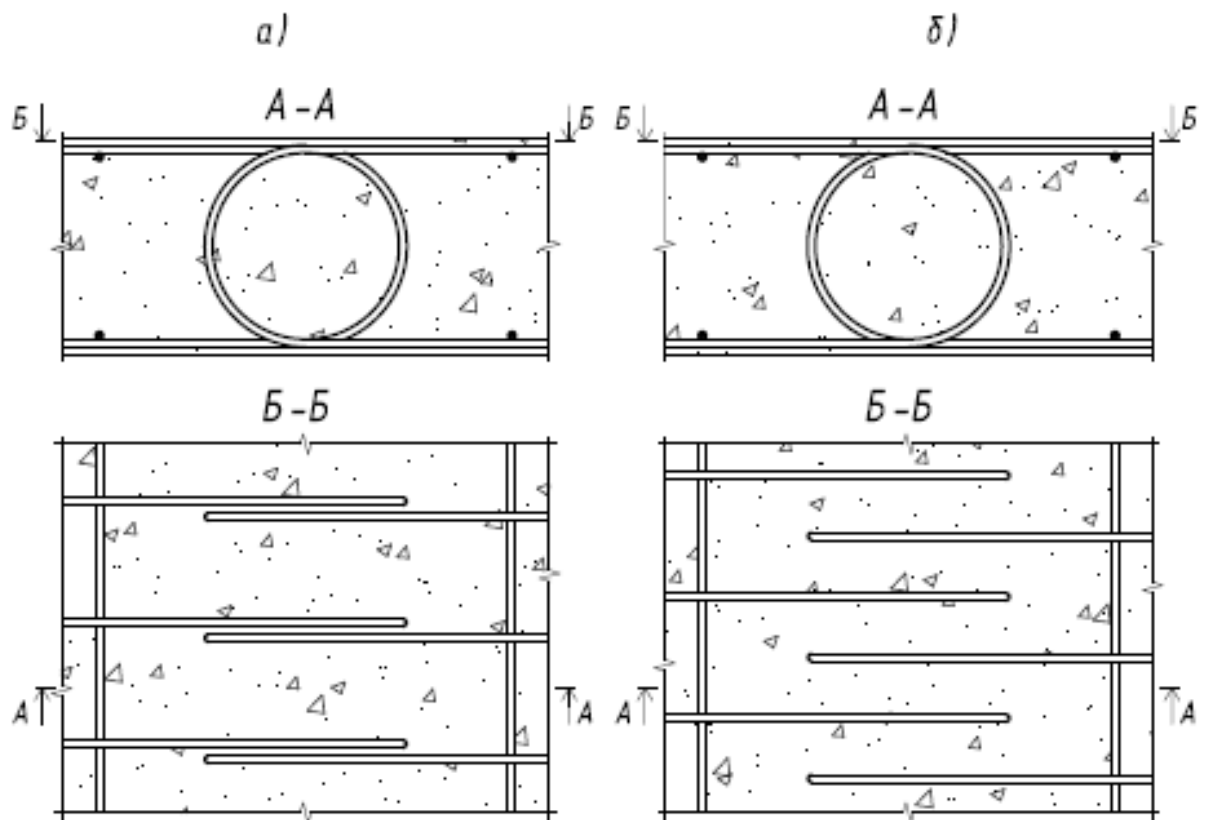


Рисунок 7.5 - Петлевые стыки, классифицируемые по взаимному размещению арматурных петель ЖБК:

- а) с попарным расположением петель;
- б) с расположением петель вразбежку.

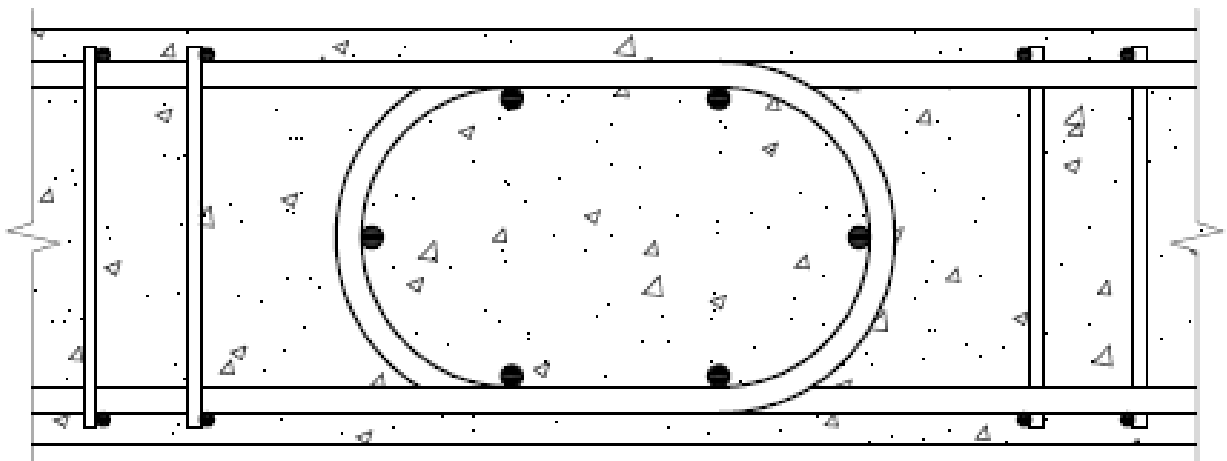


Рисунок 7.6 - Петлевой стык арматуры с продольным армированием ядра.

8 Указания по конструированию

8.1 Радиусы изгиба арматурных стержней для образования петель должны быть не менее $5d$ по внутреннему радиусу.

8.2 Расстояние в осях между соседними арматурными петлями в каждом элементе должно быть не более $2D$. Минимальное расстояние между петлями в каждом сопрягаемом элементе должно быть таким, чтобы встречные петли в стыке располагались с расстоянием между ними в свету не менее $1d$.

8.3 В зоне омоноличивания шва стыкуемых сборных ЖБК минимальный зазор между арматурной петлей и торцом стыкуемой ЖБК должен быть не менее двух диаметров арматуры.

8.4 При стыковании сборных ЖБК допускается делать их торцевые поверхности ломаными, допускается устраивать штрабы или применять другие мероприятия по повышению прочности стыка.

8.5 В балочных элементах для предотвращения соскальзывания, крайние петлевые выпуски в двух зонах перехода прямолинейного участка в круговой закрепляются шпильками или крюками. Диаметр шпилек, крюков составляет не менее $1/4$ диаметра рабочей арматуры и длиной $10d$. При этом абсолютного контакта шпилек, крюков и петлевых выпусков не требуется.

9 Расчеты по предельным состояниям

9.1 Общие положения и требования

9.1.1 При проектировании надежность петлевых стыков устанавливают согласно ГОСТ Р 54257 полувероятностным методом расчета путем использования расчетных значений нагрузок и воздействий, расчетных характеристик бетона и арматуры, определяемых с помощью соответствующих частных коэффициентов надежности по нормативным значениям этих характеристик, с учетом уровня ответственности элементов, зданий и сооружений АЭС.

9.1.2 Прочность петлевых стыков определяется прочностью бетонного ядра, воспринимающего усилия от петлевых выпусков рабочей арматуры.

Условие прочности петлевых стыков: усилие, воспринимаемое бетонным ядром до его разрушения должно быть равно или больше действующего усилия в арматуре. Усилие в арматуре определяется от воздействия всех сочетаний расчетных нагрузок из рассмотрения напряженного состояния сечений при одновременном действии M, N в балочных элементах и $M_x, M_y, M_{xy}, N_x, N_y, N_{xy}$, в плитных элементах.

9.1.3 Надежность петлевых стыков обосновывается недопущением наступления предельных состояний: для первой группы – несущей способности, второй группы – ограничению раскрытия магистральных трещин от воздействия расчетных сочетаний нагрузок, как при НУЭ, так и с учетом особых воздействий по [2].

9.1.4 Расчеты петлевых стыков на действие изгибающих моментов, продольных и поперечных сил, крутящих моментов следует производить в соответствии с требованиями ГОСТ 27751-88 и ГОСТ 54257-2010 по предельным состояниям, включающим:

- первую группу предельных состояний, превышение которых ведёт к потере несущей способности и к полной непригодности к эксплуатации петлевых стыков;
- вторую группу предельные состояния, превышение которых нарушает нормальную эксплуатацию петлевых стыков или исчерпывает ресурс их долговечности по сравнению с предусматриваемым сроком службы.

9.1.5 Расчет петлевых стыков по предельным состояниям предусматривает определение прочности бетонного ядра петлевого стыка и раскрытия трещин. Расчеты деформаций, прогибов железобетонных конструкций с петлевыми стыками проводятся как для монолитных железобетонных конструкций.

9.1.6 Расчеты должны обеспечивать надежность петлевых стыков в течение всего срока их службы.

В необходимых случаях в зависимости от вида и назначения ЖБК петлевые стыки должны быть рассчитаны по предельным состояниям, связанным с явлениями, при которых возникает необходимость прекращения эксплуатации соответствующих элементов АЭС, например чрезмерные деформации, сдвиги в соединениях.

9.2 Расчеты по первой группе предельных состояний

9.2.1 Расчеты по предельным состояниям первой группы включают расчеты прочности петлевых стыков, которые следует производить из условия, по которому усилия в петлевых стыках от различных нагрузок и воздействий с учетом начального напряженного состояния (предварительное напряжение, температурные и другие воздействия) не должны превышать соответствующих предельно допустимых значений, превышение которых ведёт к потере несущей способности петлевых стыков.

9.2.2 Расчет по первому предельному состоянию – несущей способности, напряжения в бетоне ядра не должны превосходить расчетных сопротивлений при сжатии и растяжении от действия усилий, равных произведению площади сечения арматуры на ее расчетное сопротивление.

9.2.3 Принимая во внимание результаты экспериментальных исследований и учитывая сложное напряженное состояние ядра, наблюдается многообразие форм разрушения, и предельное состояние может наступить от:

А – раскалывания ядра под петлями;

Б – срез по наклонным площадкам, как в многопролетной условной «балке» кругового либо полигонального сечения, от вторичных поперечных сил;

В – сдвига от кручения, вызываемого встречными петлевыми выпусками;

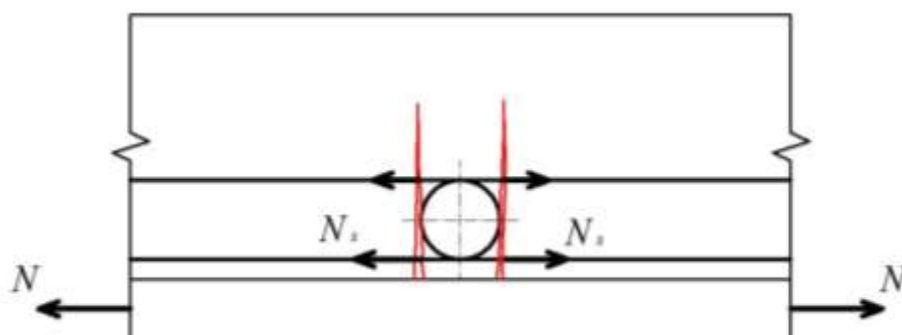
Г – образования шарнира в результате потери анкерующей способности петлевых выпусков.

В зависимости от конструкции петлевого стыка и сочетания усилий, расчет прочности производят по нескольким формам гипотетического разрушения – по А, Б, В, Г.

9.2.4 Направление усилий и схемы магистральных трещин в зависимости от конструкции.

9.2.5 А – линейные петлевые стыки.

а)



б)

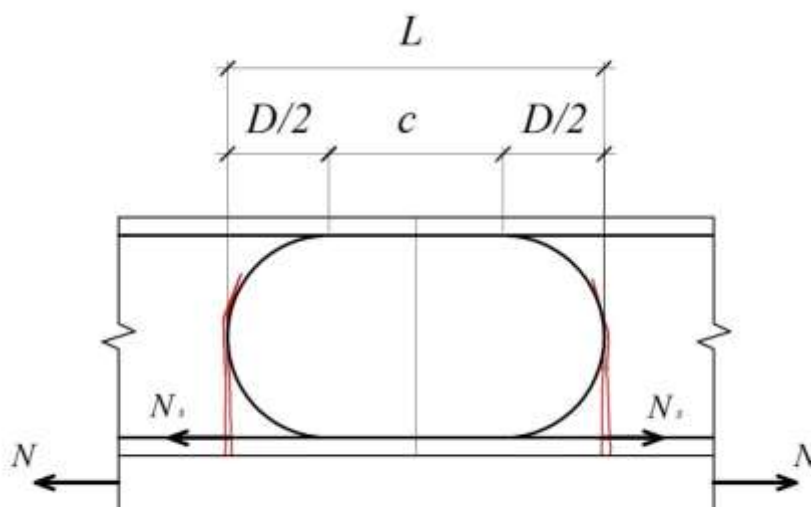


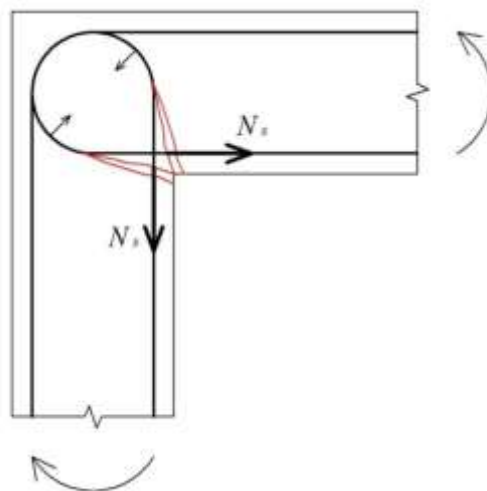
Рисунок 9.1 – Линейные петлевые стыки:

а) петлевой стык кругового очертания;

б) петлевой стык овального очертания.

9.2.6 Б – угловые петлевые стыки.

а)



б)

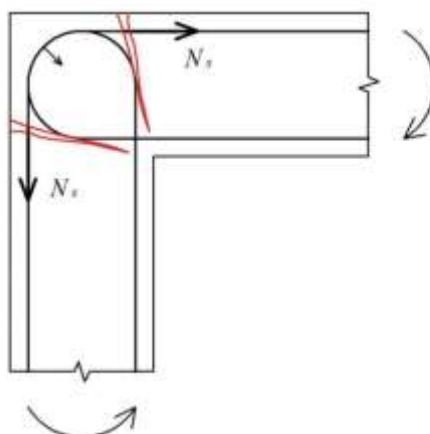


Рисунок 9.2 – Схемы передачи усилий на ядро в угловых петлевых стыках:
 а) стык, воспринимающий положительный момент, растягивающий внутреннюю грань петлевого соединения;

б) стык, воспринимающий отрицательный момент, сжимающий внутреннюю грань петлевого соединения.

Соединения типа Аа рассчитываются по формам А или Б в зависимости от шага петель: на раскалывание и на срез по наклонным сечениям.

Соединения типа Аб рассчитываются по формам В и Г – на кручение и на анкерующую способность.

Соединения типа Ба рассчитываются по формам Б, В и Г – на срез по наклонным сечениям, кручение и на анкерующую способность.

Соединения типа Бб рассчитываются по формам В и Г – на кручение и на анкерирующую способность.

9.2.7 Предельное состояние при раскалывании – форма разрушения «А».

Методика расчета основывается на численном анализе локального, под петлевыми выпусками, поля напряжений при различных соотношениях шага петель в стыке к диаметру ядра с учетом прямой вставки и является альтернативной решению задачи Буссинеска – возникновению раскалывающих усилий – N/π .

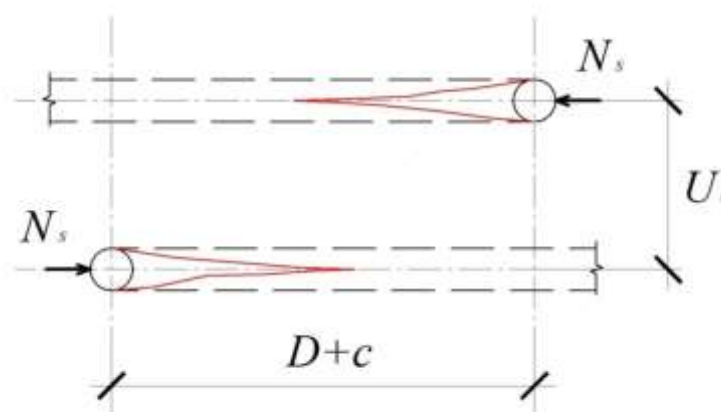


Рисунок 9.3 – Схема усилий и характер трещинообразования при раскалывании ядра петлевого стыка под петлями.

Условие прочности:

$$N_{cl} \geq N_s,$$

где N_{cl} – несущая способность ядра петлевого стыка;

N_s – усилие в одном арматурном стержне.

$$N_{cl} = \left[2.3 \left(\frac{U_0}{D+c} \right)^2 + 1.3 \right] \cdot (0.25 \cdot \pi \cdot D^2 + c \cdot D) \cdot k_c \cdot R_{bt}, \quad (9.2.1),$$

где U_0 – расстояние между стержнями арматуры в зоне стыка;

k_c – коэффициент, учитывающий повышение прочности ядра в зависимости от его армирования:

- в стыке:

$$k_c = 1 + 0,125 \cdot \frac{A_c}{A_s} \leq 1.5, \quad (9.2.2),$$

где A_s – площадь сечения одного стержня рабочей арматуры;

A_c – площадь сечения всех стержней, армирующих ядро.

- в перепуске и угловых стыках:

$$k_c = 1 + \frac{4 \cdot A_c}{\pi \cdot D^2} \cdot \frac{E_s}{E_b} \leq 1.5. \quad (9.2.3).$$

9.2.8 Предельное состояние от среза ядра по наклонным сечениям, соединяющим встречные петли – форма разрушения «Б».

В основе методики используется теория прочности Мора. Методика апробирована на результатах ранее выполненных испытаний методической серии моделей с различным шагом арматуры.

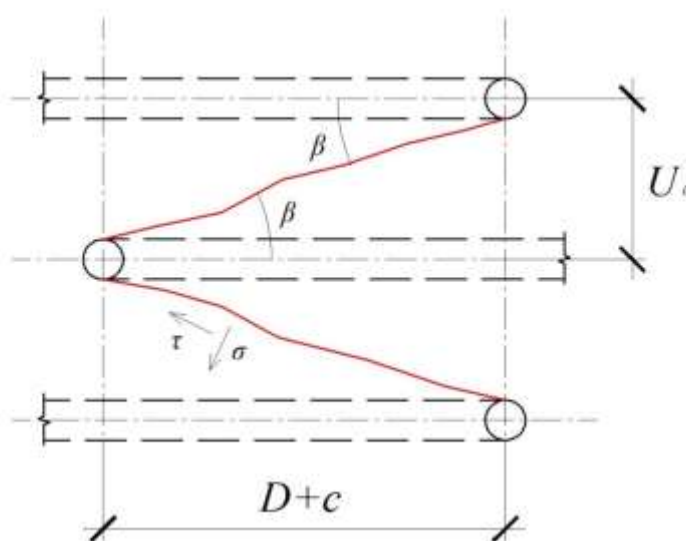


Рисунок 9.4 – Схема усилий и характер трещинообразования при срезе по наклонным сечениям.

Условие прочности:

$$N_{cl} \geq N_s,$$

$$N_{cl} = S \cdot k_c \cdot ([\tau] \cdot \cos\beta + [\sigma] \cdot \sin\beta), \quad (9.2.4)$$

$$\beta = \arctg \frac{U_0 - d}{D + c};$$

$$S = \frac{D \cdot (D + d + c)}{\cos\beta},$$

где S – площадь наклонного сечения;

$$k = \frac{R_{bt}}{R_b};$$

$$[\sigma] = \frac{R_{bt}}{1 - k + 2 \cdot \sqrt{k} \cdot \text{ctg}\beta}; \quad (9.2.5)$$

$$[\tau] = [\sigma] \cdot ctg\beta. \quad (9.2.6)$$

9.2.9 Предельное состояние от кручения – Форма разрушения «В».

Максимальные касательные напряжения в ядре от кручения возникают по его контуру и не суммируются с максимальными касательными напряжениями, возникающими в средней части наклонного сечения при рассмотрении напряженного состояния многопролетной «балки». Структура разработанной зависимости принята зависимость крутящего момента от упруго-пластичного полярного момента сопротивления и максимальных касательных напряжений по [5] и [6].

Проверка производится для петлевого стыка кругового очертания. Расчетный диаметр определяется по площади сечения ядра всего стыка.

В петлевом стыке сравнение проводят с эквивалентным круговым ядром, определенным по площади, заключенной между петлевыми выпусками по формуле (9.2.7):

$$D = k \cdot d \cdot \sqrt{\frac{R_s}{R_b}}, \quad (9.2.7),$$

где $k = 3$ – для линейного перепуска;

$k = 2$ – для углового стыка.

Пример расчета приведён в Приложение А.

9.2.10 Предельное состояние от потери анкерующей способности петель – форма разрушения «Г».

В основе методики лежит условие равновесия арматурного стержня, состоящего из прямолинейных и криволинейных участков. В методике используется прочность сцепления криволинейного анкера и бетоном, полученная в результате обработки и анализа разрушающих усилий (образование шарниров) при испытаниях балок с петлевыми круговыми перепусками по [7].

$$D = \frac{0.5 \cdot R_s \cdot d}{\pi \cdot \eta_2 \cdot R_{bt}}, \quad (9.2.8),$$

где $\eta_2 \cdot R_{bt} = R_{bond2}$ – средние касательные напряжения сцепления бетона с арматурой по криволинейному анкеру.

$$\eta_2 = 5.7 - 0.12 \cdot \frac{D}{d}, \quad (9.2.9),$$

где $D = h_0 - a'$.

Если $D > h_0 - a'$, определяют длину прямой вставки из зависимости:

$$c = \frac{0.25 \cdot R_s \cdot d - 0.5 \cdot \pi \cdot D \cdot \eta_2 \cdot R_{bt}}{\eta_1 \cdot R_{bt}}; \quad (9.2.10),$$

где η_1 определяется по п. 8.3.21 СП 52-101-2003.

В полигональных (прямоугольных) стыках в прямую вставку c включают все прямолинейные участки горизонтального и вертикального направления.

9.2.11 В угловых петлевых соединениях, в которых увеличение прямой вставки конструктивно невозможно, прочность соединения рекомендуется увеличивать за счет:

- повышения класса бетона по прочности,
- увеличения ядра петлевого соединения (переход на форму петли типа "лампочки" при соединении элементов с разной толщиной/высотой сечения),
- применения конструктивного передаточного элемента, армирования бетонного ядра.

9.3 Расчеты по второй группе предельных состояний

9.3.1 Расчеты петлевых стыков по предельным состояниям второй группы включают:

- расчеты по образованию трещин, которые следует производить как для монолитных конструкций по СП 63.13330.2012 для проверки необходимости учета трещин при расчете по деформациям;

- расчеты по раскрытию трещин, которые необходимо выполнять согласно 9.3 из условия, по которому ширина раскрытия трещин в стыке от различных нагрузок и воздействий не должна превышать предельно допустимых значений, устанавливаемых в зависимости от требований, предъявляемых к конструкции, условий ее эксплуатации, воздействия окружающей среды и характеристик материалов с учетом особенностей коррозионного поведения арматуры и бетона;

- расчеты по деформациям, которые следует выполнять как для монолитных конструкций по СП 63.13330.2012 из условия, по которому перемещения и амплитуды колебаний конструкции от различных нагрузок и воздействий не должны превышать соответствующих предельно допустимых значений, при превышении которых нарушается нормальная эксплуатация ЖБК или исчерпывается ресурс их долговечности.

9.3.2 Раскрытие магистральной трещины в сечении по контуру ядра определяется деформацией растянутой арматуры и деформацией бетонного ядра и суммируется из трех составляющих:

- Деформации арматуры вне ядра;
- Деформации арматуры как прямой вставки;
- Деформации ядра.

9.3.3 Определяется расстояние между трещинами с использованием зависимости:

$$l_{crc} = 0,125 \cdot \frac{\sigma_{s,crc}}{R_{bt,n}} \cdot d,$$

где $R_{bt,n}$ – нормативная прочность бетона на растяжение;

$\sigma_{s,crc}$ – напряжение в растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин (п. 7.2.15 СП 52-101-2003).

9.3.4 Для угловых и линейных стыков при $l_{crc} < D + c$, ширина раскрытия трещин определяется формуле:

$$a_{crc} = \frac{\pi}{\varphi} \cdot \left[\left(0,062 \frac{d}{R_{bt,n}} \cdot \sigma_{s,crc} + 0,5 \cdot D \right) \cdot \Psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} + 0,25 \cdot \Psi'_s \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot c + 0,78 \cdot \frac{d^2}{U_0} \cdot \frac{\sigma_s}{E_{b,\tau}} \right], \quad (9.3.1)$$

где Ψ_s – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами (п. 7.2.12 СП 52-101-2003);

Ψ'_s – коэффициент полноты эпюры σ_s с двойным армированием в зоне расположения прямой вставки (п. 7.2.15 СП 52-101-2003);

$E_{b,\tau}$ – длительный модуль упругости бетона (п. 5.1.13 СП 52-101-2003);

φ – угол между сопрягаемыми элементами, рад.

9.3.5 Для линейных стыков, в случае, если $l_{crc} > D + c$:

$$a_{crc} = \left(0.062 \frac{d}{R_{bt,n}} \cdot \sigma_{s,crc} + 0.5 \cdot D \right) \cdot \Psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} + 0.5 \cdot \Psi'_s \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot c + 1.56 \cdot \frac{d^2}{U_0} \cdot$$

$$\frac{\sigma_s}{E_{b,\tau}}, (9.3.2).$$

Библиография

[1] ОПБ 88/97 НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97) Общие положения обеспечения безопасности атомных станций.

[2] ПиН АЭ – 5.6 Нормы строительного проектирования АЭС с реакторами различного типа.

[3] НП-031-01 Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций.

[4] Сборник «Официальные термины и определения в строительстве, архитектуре и жилищно-коммунальном хозяйстве». Минрегион России, ВНИИТПИ, М.2009.

[5] Новые конструкции промышленных стыков в энергетическом строительстве. Обзорная информация / А.П. Кириллов, В.Б. Николаев, О.Д. Рубин, С.В. Селезнёв. Информэнерго. М. 1987.

[6] А.Е. Минарский. Угловые петлевые стыки арматуры в гидротехнических сооружениях. Диссертация на соискание учёной степени к.т.н. по специальности №486 Гидротехническое строительство и сооружения. ВНИИ гидротехники имени Б.Е. Веденеева. Ленинград. 1970.

[7] Отчёт по теме: «Исследование стыков балочных элементов». ВПиНИИ «Гидропроект им. С.Я. Жука». НИС. М. 1966.

Приложение А

Примеры расчета

I. Линейный стык типа 2.1.

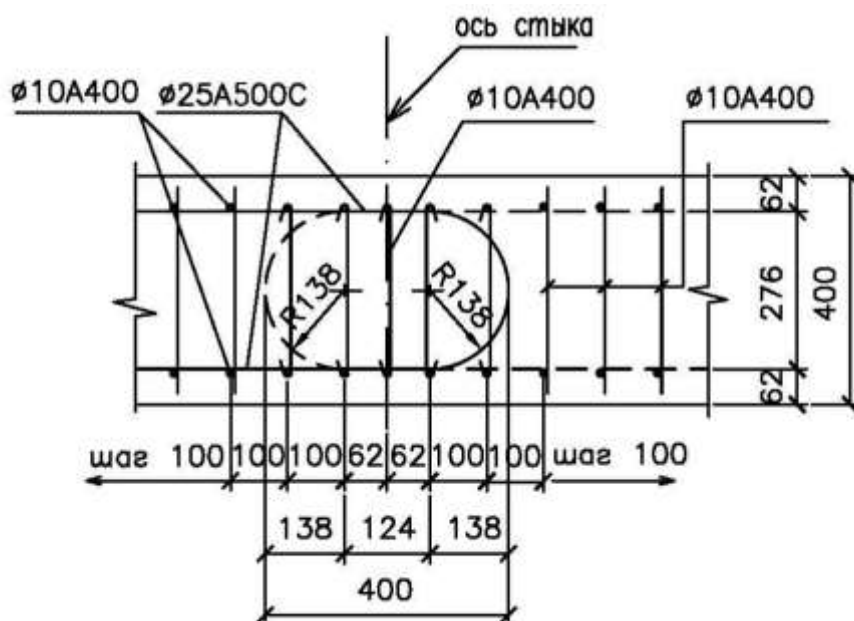
Исходные данные:

$h = 400$ мм; $a = a' = 62$ мм;

$c = 124$ мм; $D = 276$ мм; $U_0 = 100$ мм;

Бетон В30; $R_b = 1.15$ МПа; $R_{bt} = 17$ МПа;

Арматура $\varnothing 25A500C$; $A_s = 4,91$ см²; $R_s = 435$ МПа.



Соединение типа Аб рассчитывается по формам разрушения «В» и «Г» (на кручение и анкерующую способность).

Для формы разрушения «В»:

$$D_{cal} = k \cdot d \cdot \sqrt{\frac{R_s}{R_b}};$$

$k = 3$ для линейного петлевого стыка.

$$D_{cal} = 3 \cdot 25 \cdot \sqrt{\frac{435}{17}} = 379 \text{ мм};$$

$$D_k = 2 \cdot \sqrt{\frac{A_k}{\pi}},$$

где D_k – приведенный диаметр эквивалентного кругового ядра;

A_k – площадь ядра стыка:

$$A_k = \frac{\pi \cdot D^2}{4} + c \cdot D = \frac{3,14 \cdot 276^2}{4} + 124 \cdot 276 = 94022,1 \text{ мм}^2;$$
$$D_k = 2 \cdot \sqrt{\frac{94022,1}{3,14}} = 346 \text{ мм} < D_{cal} = 379 \text{ мм}.$$

Требуется увеличение прямой вставки.

Для формы разрушения «Г»:

$$\eta_2 = 5,7 - 0,12 \cdot \frac{D}{d} = 5,7 - 0,12 \cdot \frac{276}{25} = 4,375;$$
$$D_{cal} = \frac{0,5 \cdot R_s \cdot d}{\pi \cdot \eta_2 \cdot R_{bt}} = \frac{0,5 \cdot 435 \cdot 25}{3,14 \cdot 4,375 \cdot 1,15} = 344 \text{ мм} > D = 276 \text{ мм}.$$

Определим длину прямой вставки c :

$$c = \frac{0,25 \cdot R_s \cdot d - 0,5 \cdot \pi \cdot D \cdot \eta_2 \cdot R_{bt}}{\eta_1 \cdot R_{bt}} =$$
$$= \frac{0,25 \cdot 435 \cdot 25 - 0,5 \cdot 3,14 \cdot 276 \cdot 4,375 \cdot 1,15}{2,5 \cdot 1,15} = 187,3 \text{ мм}.$$

Принимаем $c = 200$ мм.

Проверяем соединение с учетом прямой вставки $c = 200$ мм.

Для формы разрушения «В»:

$$A_k = \frac{\pi \cdot D^2}{4} + c \cdot D = \frac{3,14 \cdot 276^2}{4} + 200 \cdot 276 = 114998,2 \text{ мм}^2;$$
$$D_k = 2 \cdot \sqrt{\frac{114998,2}{3,14}} = 383 \text{ мм} < D_{cal} = 379 \text{ мм}.$$

II Линейный стык типа 2.2.3

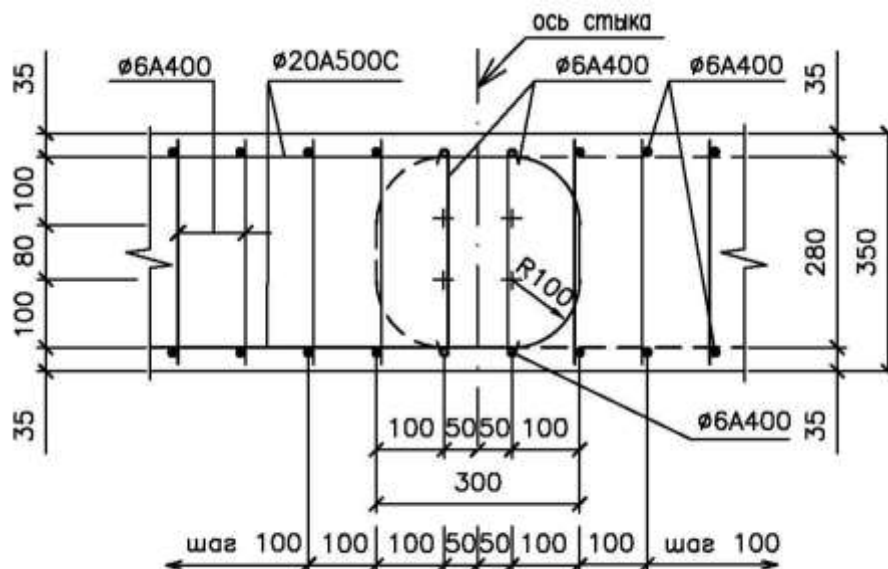
Исходные данные:

$$h = 350 \text{ мм}; \quad a = a' = 35 \text{ мм};$$

$$c = 100 \text{ мм}; \quad U_0 = 50 \text{ мм}; \quad r = 100 \text{ мм};$$

$$\text{Бетон } B30; \quad R_b = 1,15 \text{ МПа}; \quad R_{bt} = 17 \text{ МПа};$$

$$\text{Арматура } \emptyset 20A500C; \quad A_s = 3,14 \text{ см}^2; \quad R_s = 435 \text{ МПа};$$



Соединение типа Аб рассчитывается по формам разрушения «В» и «Г».

Для формы разрушения «В»:

Площадь ядра стыка с учетом прямой вставки c :

$$\begin{aligned} A_k &= \pi \cdot r^2 + c \cdot (h_0 - a') + 2 \cdot r \cdot (h_0 - a' - 2 \cdot r) = \\ &= 3.14 \cdot 100^2 + 100 \cdot (350 - 70) + 2 \cdot 100 \cdot (350 - 70 - 2 \cdot 100) = \\ &= 75400 \text{ мм}^2; \end{aligned}$$

$$D_k = 2 \cdot \sqrt{\frac{75400}{3.14}} = 310 \text{ мм};$$

$$D_{cal} = 3 \cdot 20 \cdot \sqrt{\frac{435}{17}} = 304 \text{ мм} < D_k = 310 \text{ мм};$$

Условие выполняется.

Для формы разрушения «Г»:

$$D_{cal} = \frac{0.5 \cdot R_s \cdot d}{\pi \cdot \eta_2 \cdot R_{bt}};$$

$$\eta_2 = 5.7 - 0.12 \cdot \frac{D}{d} = 5.7 - 0.12 \cdot \frac{200}{20} = 4.5;$$

$$D_{cal} = \frac{0.5 \cdot 435 \cdot 20}{3.14 \cdot 4.5 \cdot 1.15} = 267.7 \text{ мм} > D = 200 \text{ мм};$$

Определим необходимую длину прямой вставки:

$$\begin{aligned} c &= \frac{0.25 \cdot R_s \cdot d - 0.5 \cdot \pi \cdot D \cdot \eta_2 \cdot R_{bt}}{\eta_1 \cdot R_{bt}} = \\ &= \frac{0.25 \cdot 435 \cdot 20 - 0.5 \cdot 3.14 \cdot 200 \cdot 4.5 \cdot 1.15}{2.5 \cdot 1.15} = 192 \text{ мм} \end{aligned}$$

Из расчетной длины прямой вставки вычитаем вертикальный участок, перпендикулярный оси элемента, тогда:

$$c = 192 - 80 = 112 \text{ мм}. \text{ Принимаем } c = 120 \text{ мм}.$$