

---

**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 № 10 от 12 февраля 2015 года

**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ  
ОБЪЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
Проектирование железобетонных конструкций АЭС с петлевыми стыками  
стержневой арматуры**

**СТО СРО-П 60542948 00035-2015**

**Москва  
2015**

## **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» № 10 от 12 февраля 2015 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.....	5
4 Сокращения и основные обозначения.....	9
5 Общие положения и требования.....	10
6 Материалы.....	12
6.1 Бетоны.....	12
6.2 Арматура.....	13
7 Основные типы петлевых стыков.....	14
8 Указания по конструированию.....	21
9 Расчеты по предельным состояниям.....	24
9.1 Основные положения и требования.....	24
9.2 Расчеты по первой группе предельных состояний.....	25
9.3 Расчеты по второй группе предельных состояний.....	31
Приложение А (справочное). Примеры расчета.....	35
Библиография.....	34



## 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,
- здания и сооружения с железобетонными конструкциями, выполняемыми в несъёмной опалубке;
- другие здания и сооружения согласно заданию на проектирование.

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

- элементов АЭС, относящихся к 2, 3 и 4 классам безопасности по классификации НП-001-97 [1];
- зданий и сооружений I, II и III категорий ответственности за радиационную и ядерную безопасность по классификации ПиН АЭ-5.6 [2];
- элементов АЭС, относящихся к I, II и III категориям сейсмостойкости по классификации НП-031-01 [3].

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

1.4 СТО устанавливает и дополняет требования по расчету прочности и деформативности (раскрытию трещин), а также по конструированию элементов петле-

вых 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, АЭС, а также для организаций, привлекаемых к перечисленным работам.

1.8 При расхождении требований СТО с требованиями нормативной и технической документации, выпущенной до его утверждения, необходимо руководствоваться требованиями СТО.

1.9 При вводе в действие новых законодательных актов, технических регламентов, нормативных правовых и методических документов, требования которых отличаются от приведенных в стандарте, следует пользоваться вновь введенными требованиями этих документов до внесения в стандарт соответствующих изменений.

## **2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 5781-82 Сталь горячекатанная для армирования железобетонных конструкций

ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия

ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости

ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам

ГОСТ 10181-2012 Смеси бетонные. Методы испытаний

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

ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 17624-2012 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности

ГОСТ 22690-88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля

ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов

ГОСТ 24452-80 Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона

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 31914-2012 Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества

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 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 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

**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». 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.

Сведения о действии сводов правил могут быть проверены в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

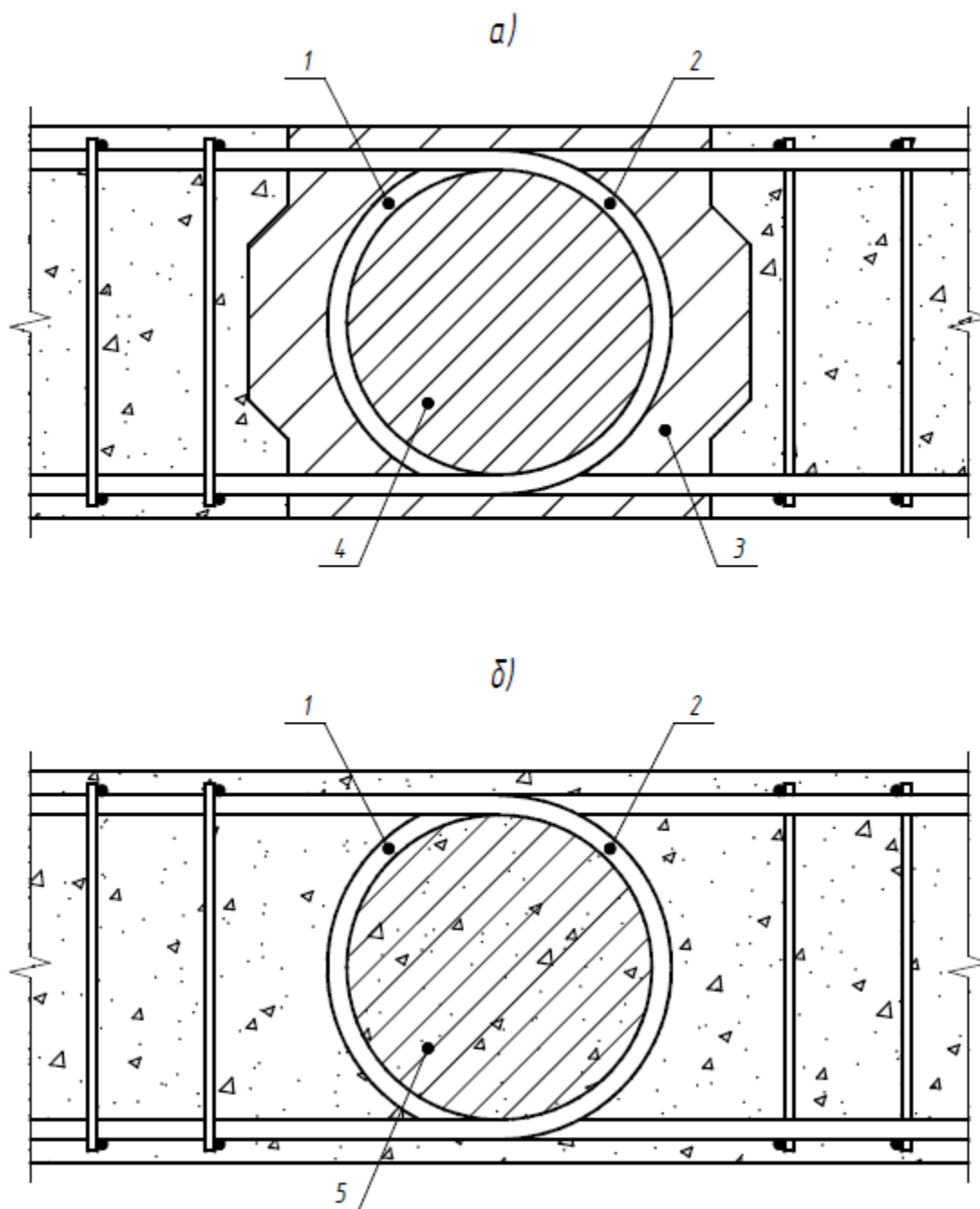
### **3 Термины и определения**

В настоящем стандарте применены понятия по Федеральному закону от 27.12.2002 №184–ФЗ [4], Федеральному закону от 30.12.2009 №384–ФЗ [5], термины по ГОСТ 15467-79, [6], 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.



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.

Рисунок 3.1- Петлевой стык стержневой арматуры железобетонных конструкций

**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 стержней 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  $180^\circ$  при одиночном центрегиба или с последовательными двумя загибами на  $90^\circ$  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.

**3.16 проектная авария:** Авария, для которой проектом определены исходные события и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности, обеспечи-

вающие с учетом принципа единичного отказа систем безопасности или одной, независимой от исходного события ошибки персонала, ограничение её последствий установленными для таких аварий пределами.

**3.17 прямая вставка:** Прямолинейные участки арматуры петлевых выпусков, образованные встречными петлевыми выпусками в зоне ядра петлевого стыка.

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

**3.19 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;

$R_{bb}$  - 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;

$D_{rat}$  - 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:

- 1) промышленного изготовления укрупненных армоопалубочных блоков;
  - 2) снижения трудозатрат при монтаже арматурных элементов;
  - 3) отказа от требований по соосности стыкуемых арматурных стержней;
  - 4) исключения концентрации напряжений, характерных для сварных и механических соединений 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 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.

5.6.1 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 Бетон**

6.1.1 Бетон петлевых стыков должен иметь класс по прочности на сжатие В25–В60 и выше. Расчетные характеристики бетона при расчете петлевых стыков, а также другие свойства бетона (средняя плотность, морозостойкость, водонепроницаемость) должны приниматься в соответствии с требованиями СП 27.13330, СП 28.13330, СП 41.13330, СП 43.13330, СП 63.13330 и других нормативных документов, относящихся к проектированию отдельных видов зданий и сооружений АЭС, а также с дополнительными требованиями, указанными в задании на проектирование.

6.1.2 Состав бетона и материалы для его приготовления должны соответствовать требованиям ГОСТ 7473, ГОСТ 24211 и ГОСТ 26633.

6.1.3 Контроль качества бетона и материалов для его приготовления при строительстве должен выполняться по ГОСТ 10060, ГОСТ 10180, ГОСТ 10181, ГОСТ 12730, ГОСТ Р 18105 и ГОСТ 31914.

6.1.4 Контроль прочности и других характеристик бетона в процессе эксплуатации ЖБК зданий и сооружений АЭС должны определяться по ГОСТ 17624, ГОСТ 22690, ГОСТ 24452 и ГОСТ 28570.

6.1.5 Учитывая особенность размещения арматуры и специфику контактного взаимодействия бетона с гнутой арматурой, при бетонировании петлевых стыков следует уделять особое внимание обеспечению качества и 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 ГОСТ 5781 или утвержденных в установленном порядке технических условий.

6.2.1.1 Расчетные характеристики арматуры при расчете петлевых стыков должны приниматься в соответствии с требованиями СП 63.13330, СП 27.13330, СП 41.13330 и других нормативных документов, относящихся к проектированию отдельных видов сооружений, а также с дополнительными требованиями, 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 0,05 диаметра петли и не более диаметра стыкуемых стержней.

6.2.2.1 Скачкообразное изменение размеров сечения бетонного ядра по его длине более чем на 0,05 диаметра петли не допускается.

6.2.3 Проволочную арматуру классов В и В<sub>р</sub> разрешается применять в противооткольных арматурных сетках, устанавливаемых в защитном слое бетона.

6.2.4 В конструкциях с петлевыми стыками, рассчитываемых на выносливость, величина усталостной прочности 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:

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

б) по количеству стыкуемых ЖБК (элементов) на петлевые стыки:

1) 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.

2) 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.

3) для четырёх стыкуемых ЖБК:

- 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.

в) по количеству арматурных сеток у растянутых и сжатых гранях ЖБК на петлевые стыки:

1) с одним рядом арматурных сеток у растянутой и сжатой гранях ЖБК (см. рисунок 7.1);

2) с двумя рядами арматурных сеток у растянутой и сжатой гранях ЖБК, которые подразделяются на петлевые стыки:

— с двумя соосными ядрами, которые сформированы растянутой и сжатой арматурой (см. рисунок 7.4 а);

— с двумя ядрами, из которых одно сформировано растянутой, а другое — сжатой арматурой (см. рисунок 7.4 б).

г) по взаимному размещению арматурных петель в ЖБК (см. рисунок 7.5) на петлевые стыки:

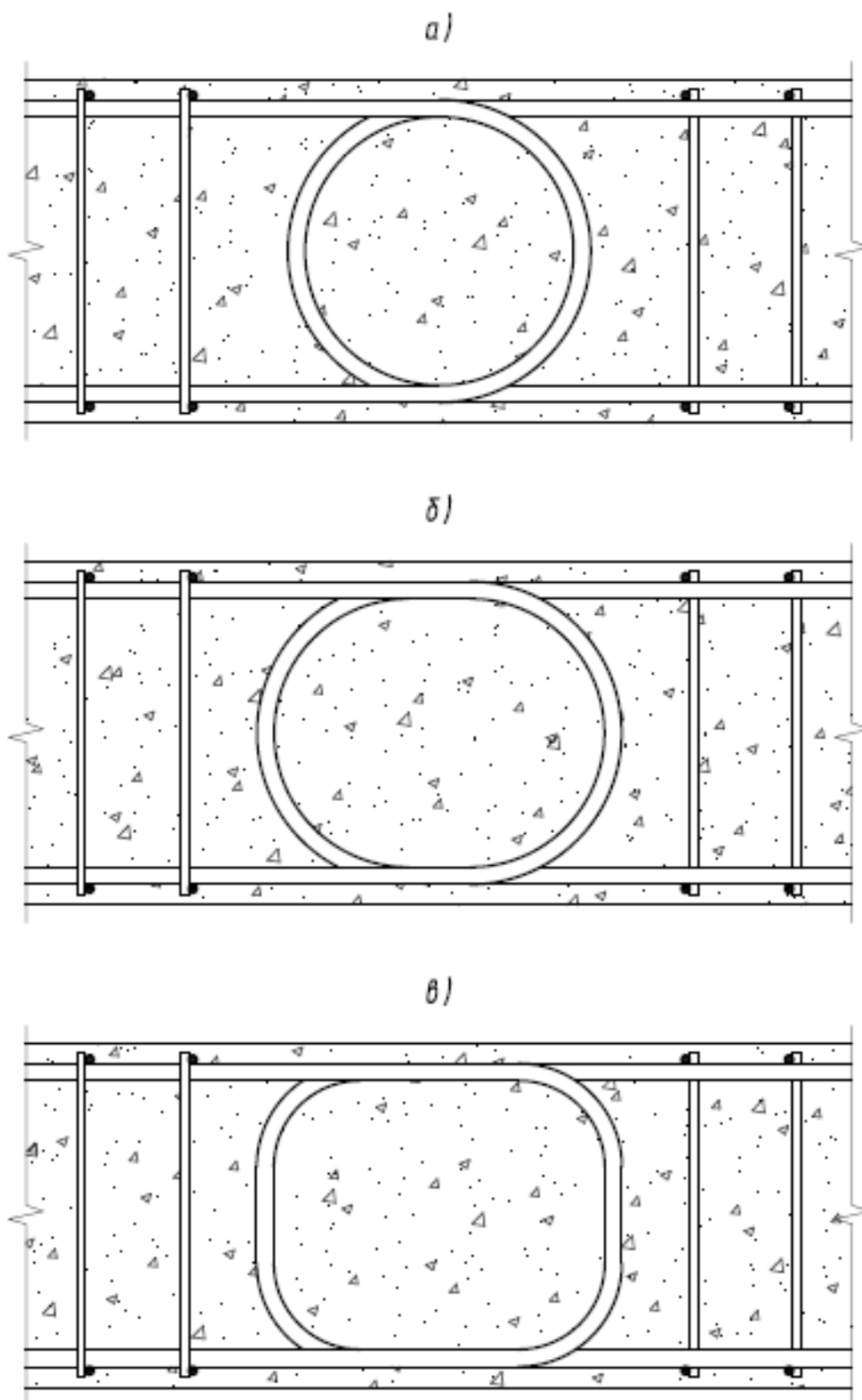
1) с попарным расположением петель;

2) с расположением петель вразбежку.

д) по армированию ядра стыка ЖБК на петлевые стыки:

1) без армирования ядра (см. рисунок 7.1);

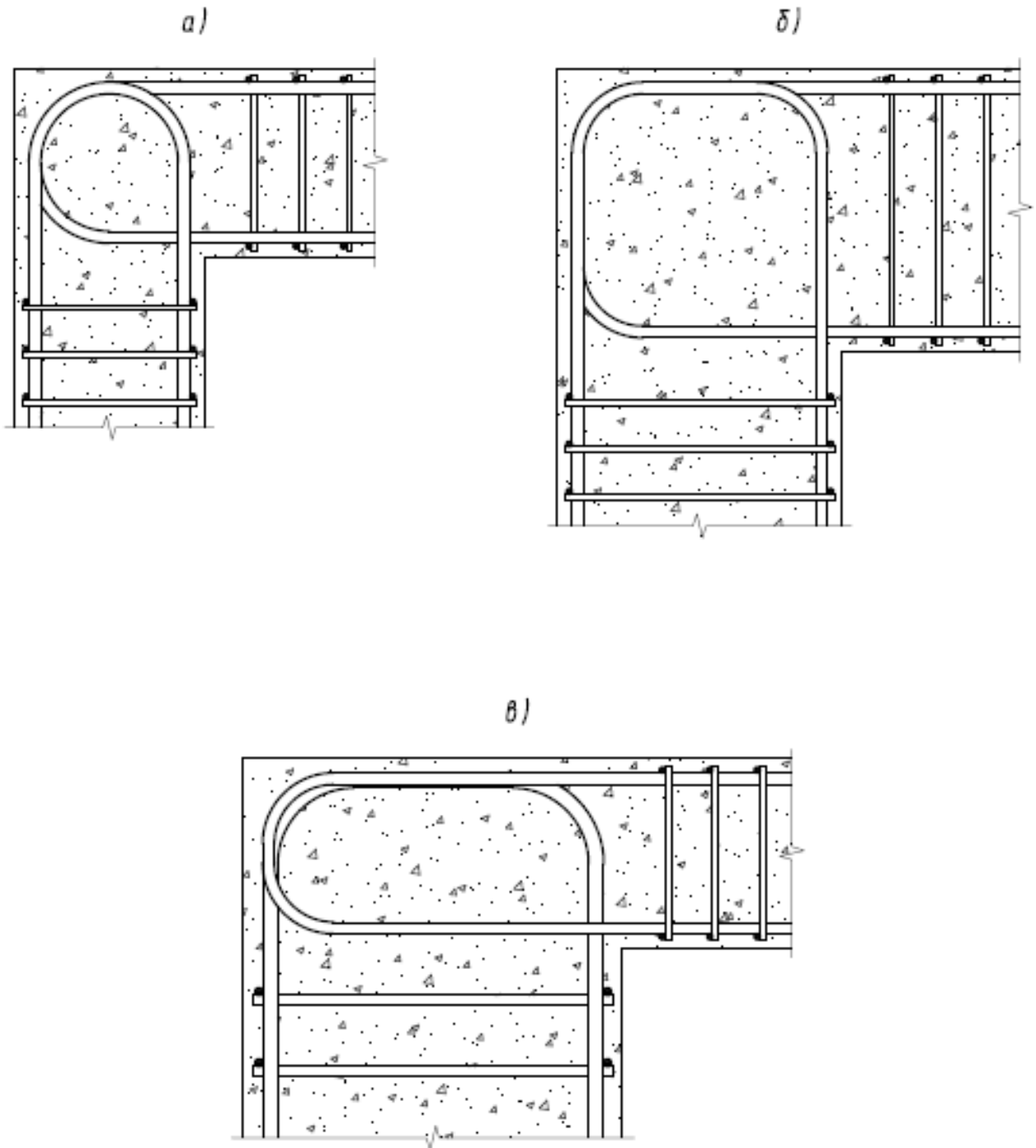
2) с армированием ядра (см. рисунок 7.6).



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

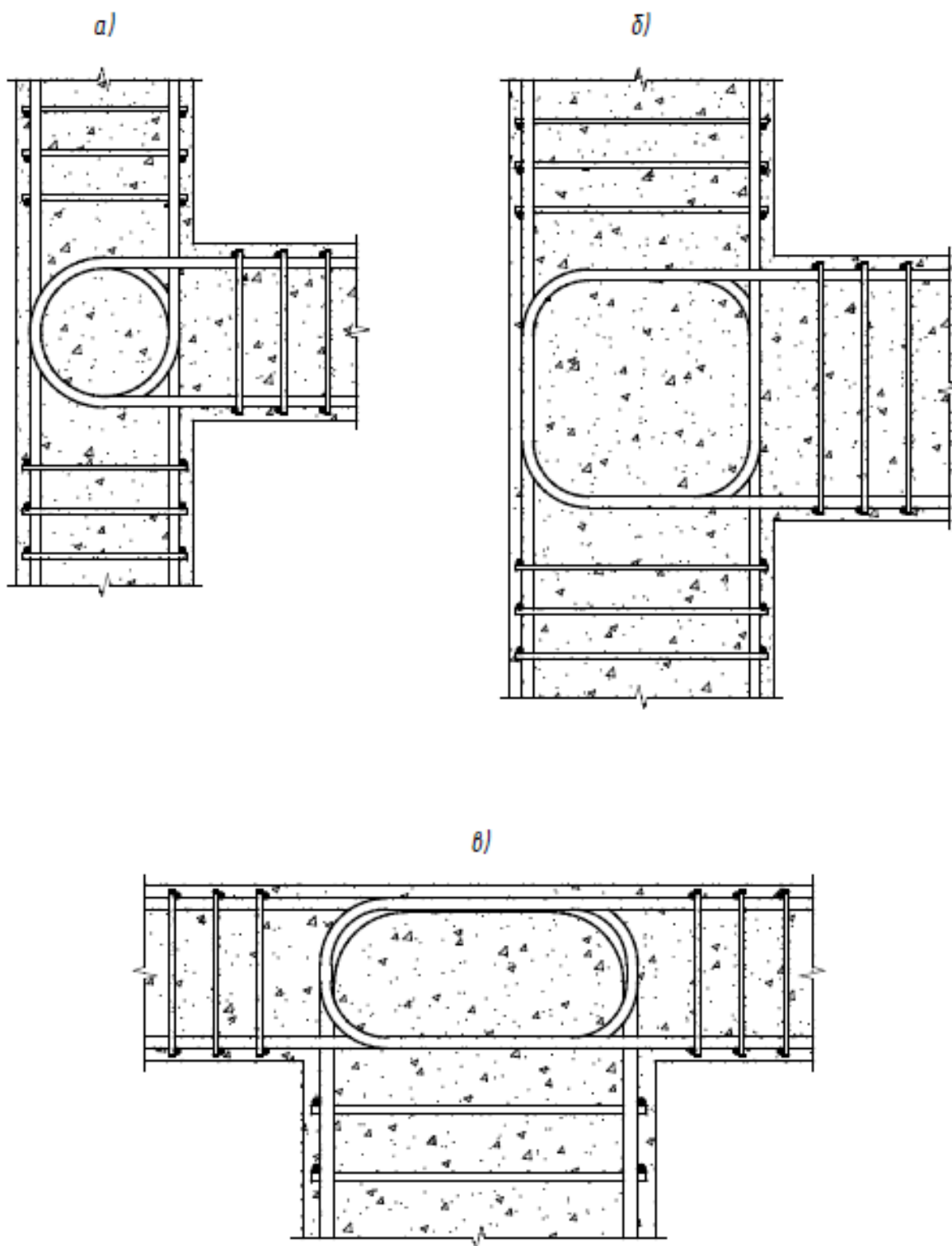
Рисунок 7.1 – Петлевые стыки, классифицируемые по форме очертания ядра петлевого стыка





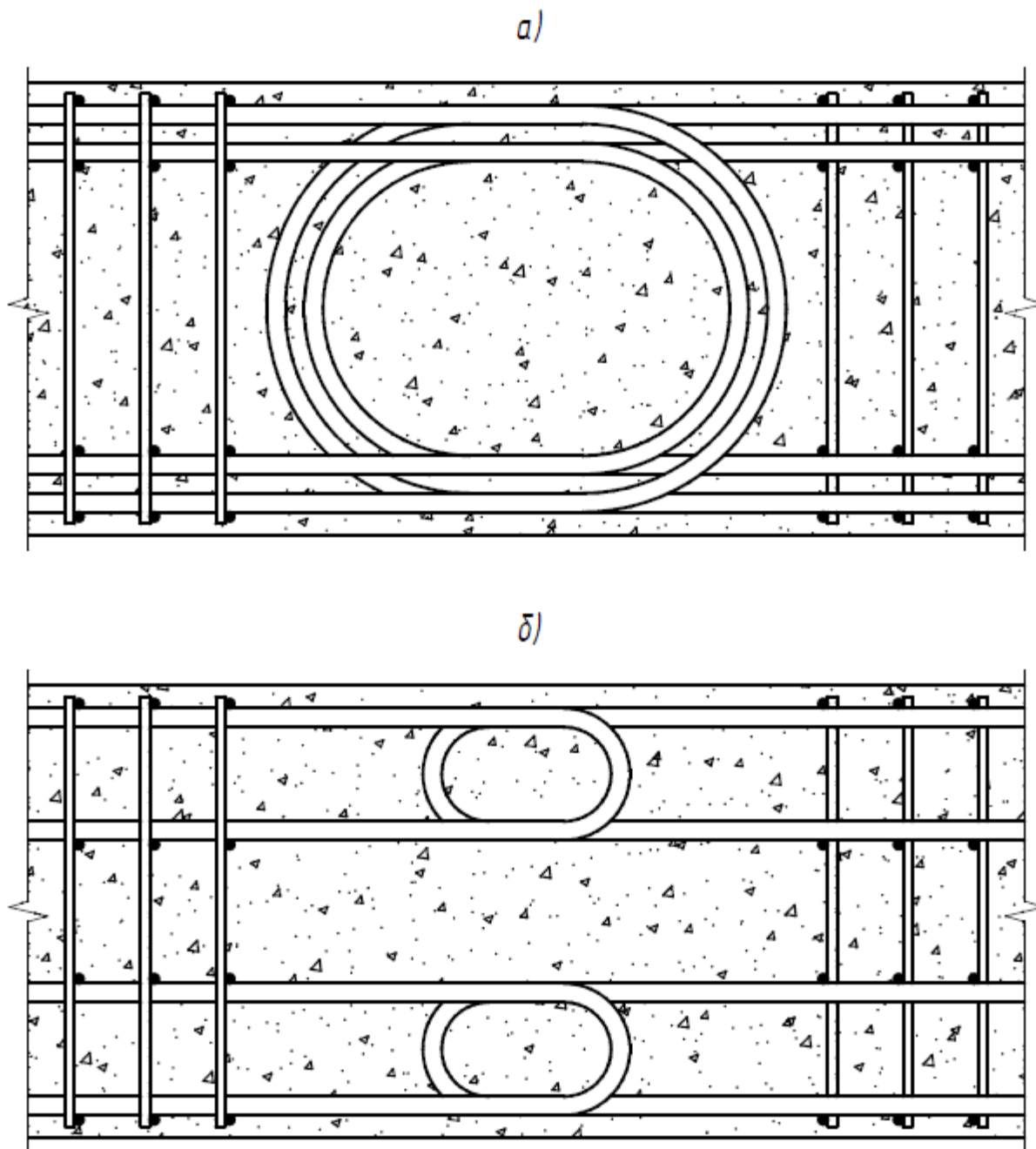
а) с ядром кругового очертания для стыкуемых ЖБК одинаковой толщины; б) с ядром полигонального (прямоугольного) очертания для стыкуемых ЖБК одинаковой толщины; в) с ядром полигонального (прямоугольного) очертания для стыкуемых ЖБК разной толщины

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



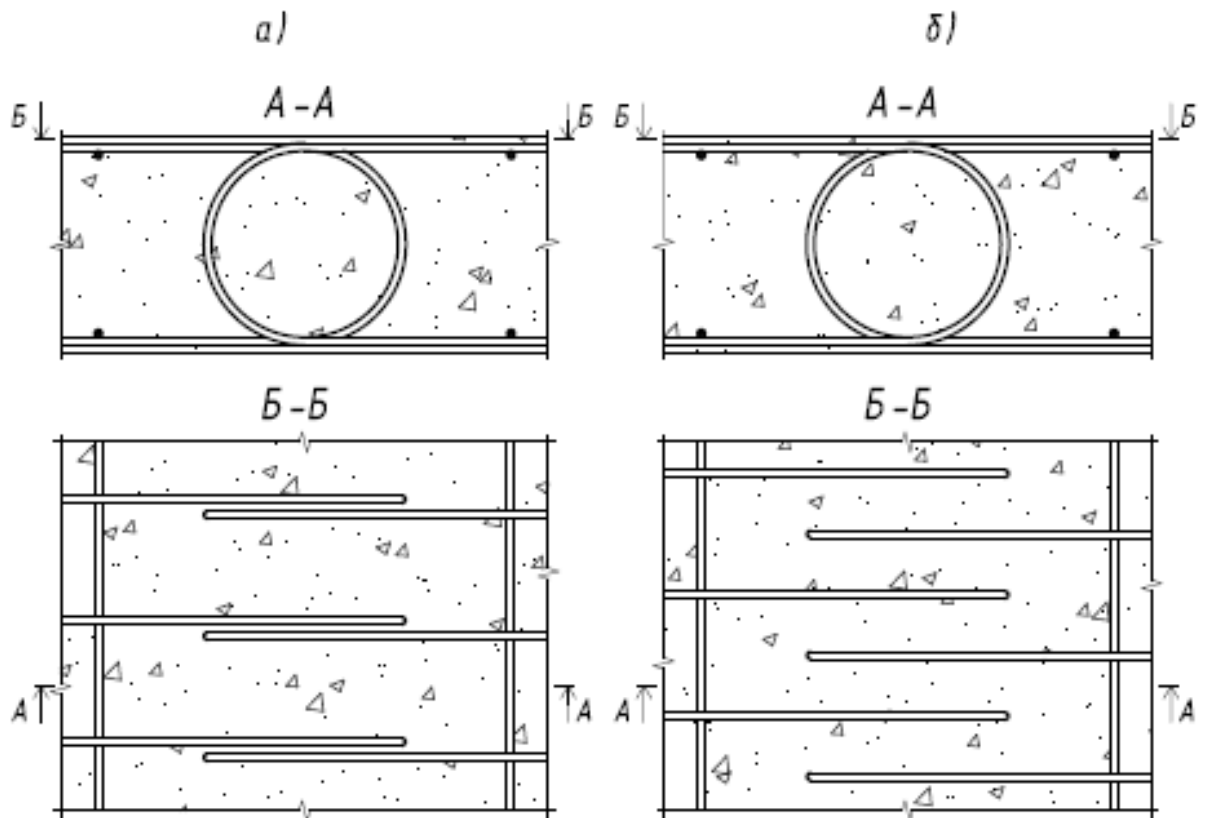
а) с ядром кругового очертания для стыкуемых ЖБК одинаковой толщины; б) с ядром полигонального (прямоугольного) очертания для стыкуемых ЖБК одинаковой толщины; в) с ядром полигонального (прямоугольного) очертания для стыкуемых ЖБК разной толщины

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



а) с двумя соосными ядрами, которые сформированы растянутой и сжатой арматурой; б) с двумя ядрами, из которых одно сформировано растянутой, а другое — сжатой арматурой

Рисунок 7.4 – Петлевые стыки, классифицируемые по количеству арматурных сеток у растянутой и сжатой гранях стыкуемых ЖБК, в частности для двух арматурных сеток у каждой названной грани, которые подразделяются на петлевые стыки



а) с попарным расположением петель; б) с расположением петель вразбежку  
 Рисунок 7.5 – Петлевые стыки, классифицируемые по взаимному размещению арматурных петель ЖБК

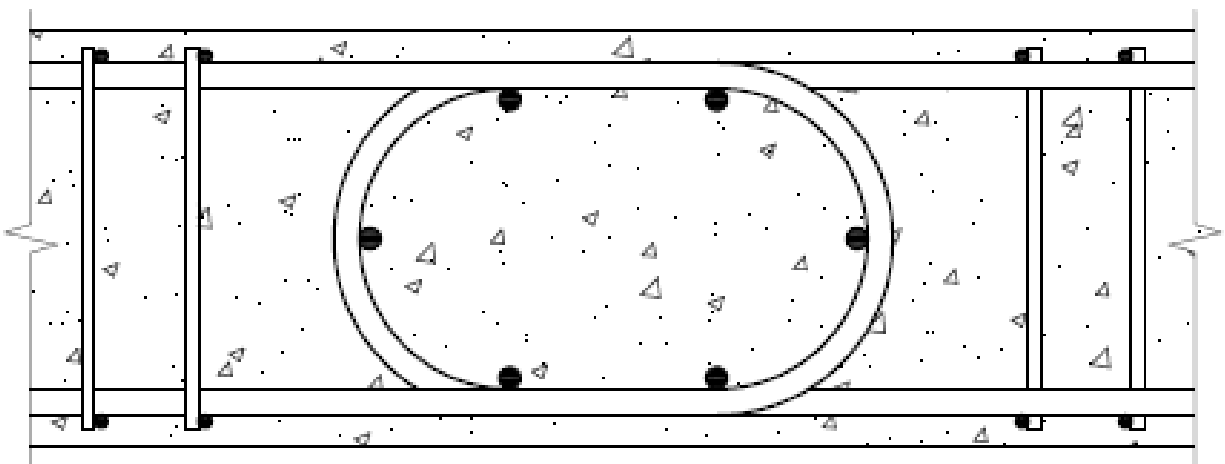


Рисунок 7.6 – Петлевой стык арматуры с продольным армированием ядра



## 8 Указания по конструированию

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

8.2 Минимальную длину прямой вставки для линейных петлевых стыков принимать не менее  $5d$ .

8.3 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  $1d$  (см. рисунок 8.1).

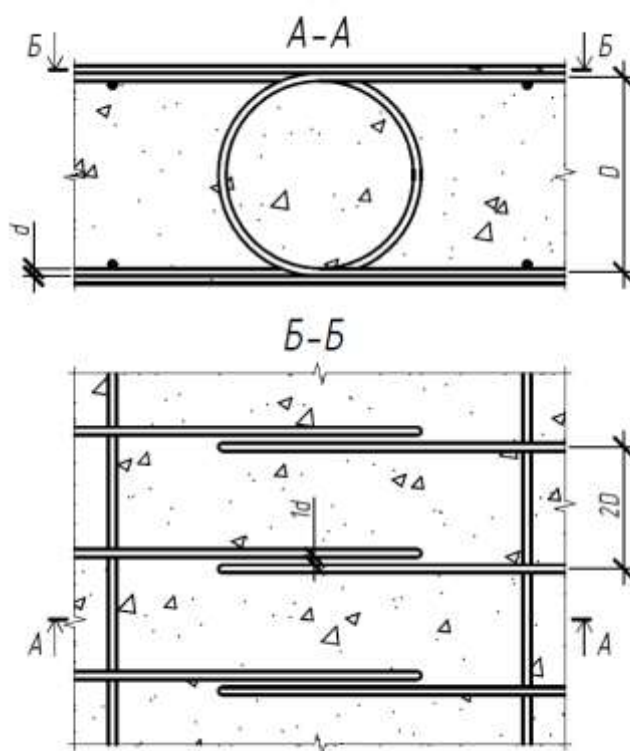


Рисунок 8.1 – Требование к расстоянию между петлями

8.4 В зоне омоноличивания шва стыкуемых сборных и сборно-монолитных ЖБК минимальный зазор между арматурной петлей и торцом стыкуемой ЖБК должен быть не менее двух диаметров арматуры (см. рисунок 8.2).

8.5 При стыковании сборных и сборно-монолитных ЖБК целесообразно делать их торцевые поверхности ломаными (см. рисунок 8.2), устраивать штрабы или применять другие мероприятия по повышению прочности стыка.

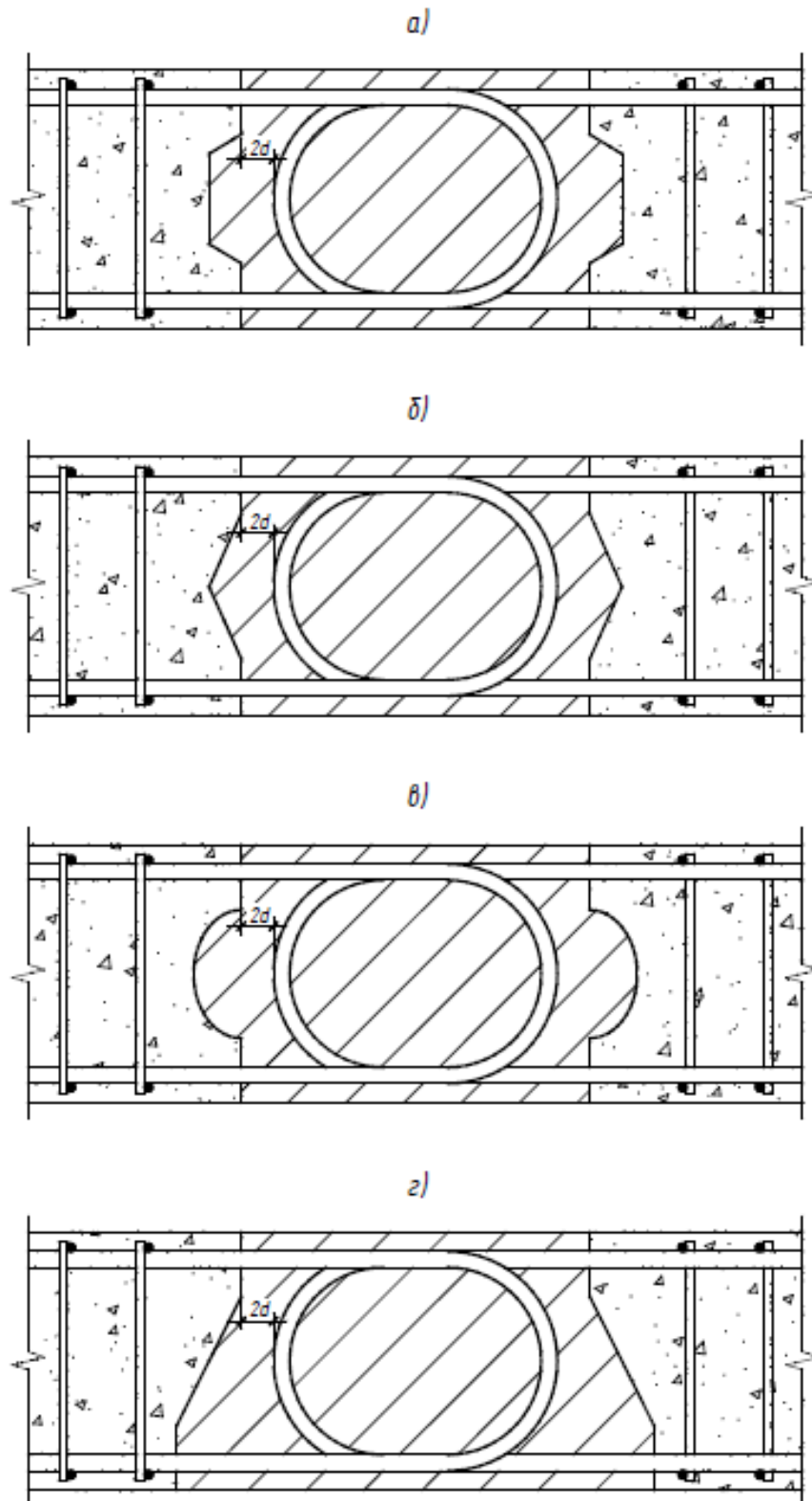
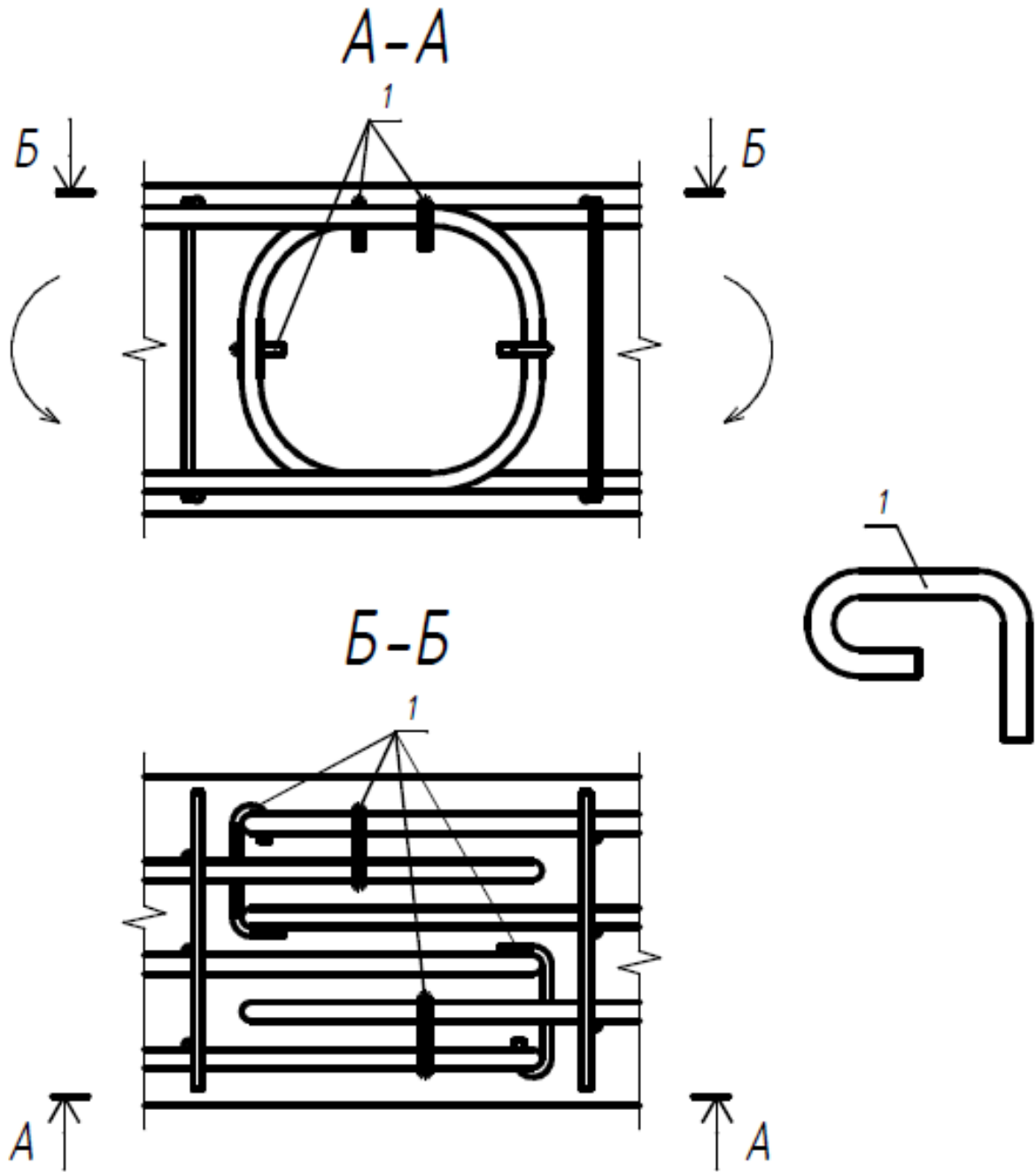


Рисунок 8.2 – Конструкции торцевых поверхностей стыкуемых ЖБК и зазор между ними и арматурными петлями

8.6 В балочных элементах для предотвращения соскальзывания с бетонного ядра, крайние петлевые выпуски в зоне перехода прямолинейного участка растяну-

той арматуры в круговой и в вершине петли закрепляются крюками (см. рисунок 8.3). Диаметр крюков составляет не менее  $1/4$  диаметра рабочей арматуры  $d$ .



1 – крюк

Рисунок 8.3 – Анкеровка крайних петель стыка против соскальзывания с бетонного ядра

## 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 расчётных нагрузок, определенных в соответствии с СП 20.13330 из рассмотрения напряженного состояния сечений при одновременном действии  $M, N, Q$  в балочных элементах и  $M_x, M_y, M_{xy}, N_x, N_y, N_{xy}, Q_{xz}, Q_{yz}$  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 и ГОСТ 54257 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 предельных состояний, 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 поперечной арматуры в железобетонных конструкциях с петлевыми стыками на восприятие поперечных сил, а так же деформаций и прогибов проводятся как для монолитных железобетонных конструкций.

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

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

В – сдвига от кручения, вызываемого встречными петлевыми выпусками;

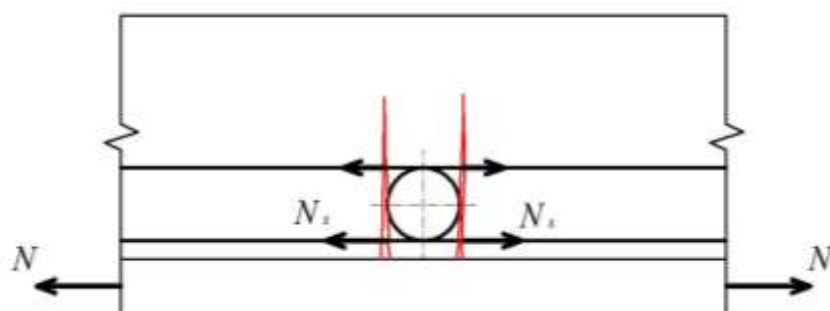
Г – образования шарнира в результате потери анкерующей способности петлевых выпусков.

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

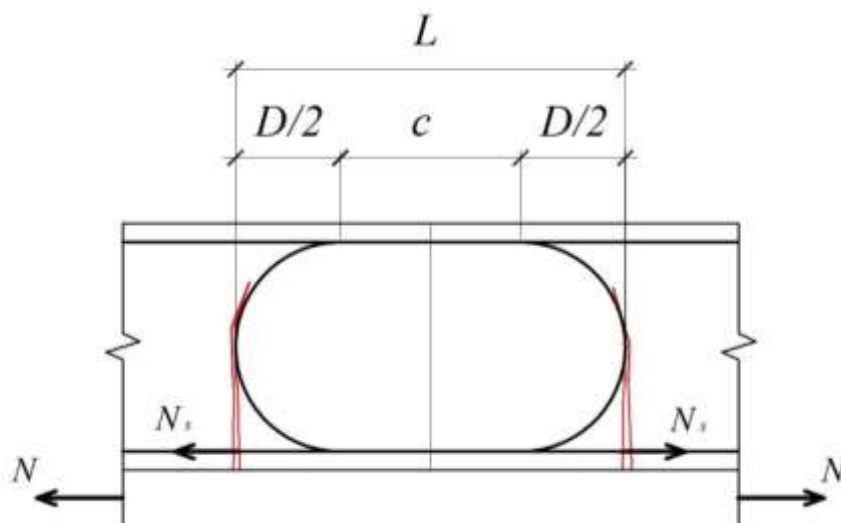
9.2.4 Направление усилий и схемы магистральных трещин в зависимости от конструкции.

9.2.5 А – линейные петлевые стыки.

а)



б)

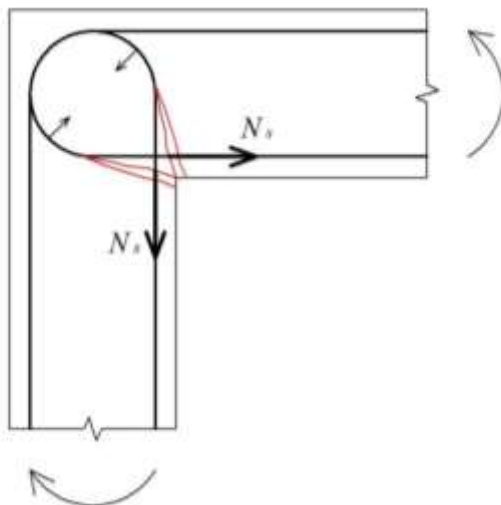


а) петлевой стык кругового очертания; б) петлевой стык овального очертания

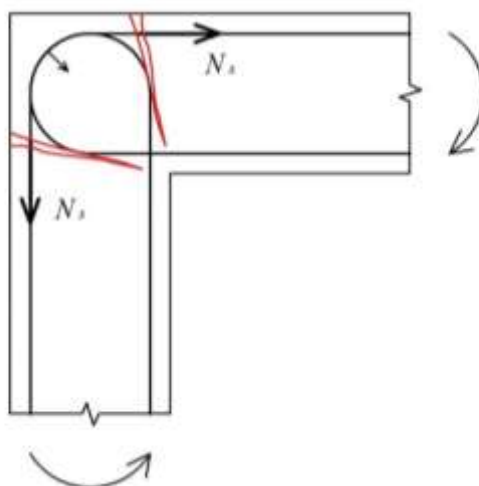
Рисунок 9.1 – Линейные петлевые стыки

## 9.2.6 Б – угловые петлевые стыки.

а)



б)



а) стык, воспринимающий положительный момент, растягивающий внутреннюю грань петлевого соединения; б) стык, воспринимающий отрицательный момент, сжимающий внутреннюю грань петлевого соединения

Рисунок 9.2 – Схемы передачи усилий на ядро в угловых петлевых стыках

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 –  $N/\pi$ .

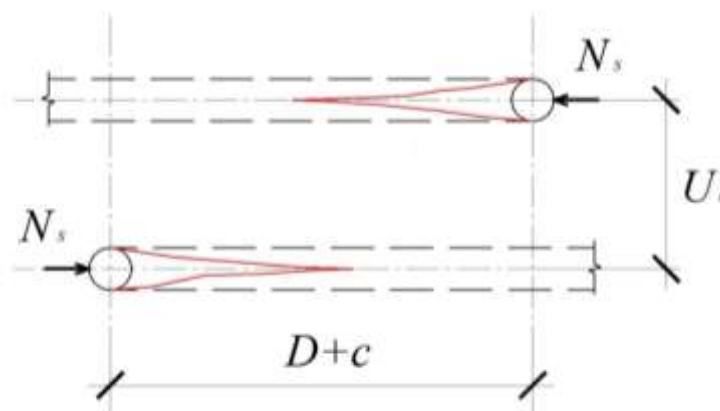


Рисунок 9.3 – Схема усилий и характер трещинообразования при раскалывании ядра петлевого стыка под петлями

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:

1) в петлевом стыке с ядром в растянутой зоне (рис 7.4б):

$$k_c = 1 + 0,125 \cdot \frac{A_c}{A_s} \leq 1,5, \quad (9.2.2),$$

где  $A_s$  – площадь сечения одного стержня рабочей арматуры;

$A_c$  – площадь сечения всех стержней, армирующих ядро.



- 2) в линейных и угловых стыках с рабочей арматурой в растянутой и сжатой зоне:

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

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

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

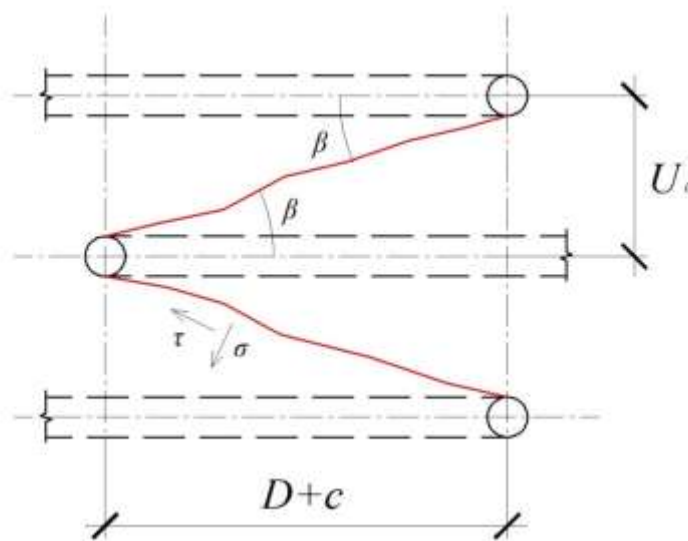


Рисунок 9.4 – Схема усилий и характер трещинообразования при срезе по наклонным сечениям

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;

При попарном соединении петель усилие разрушения  $N_{cl}$  определяется сложением полусумм усилий для крутой и пологой трещин.

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

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

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

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

9.2.9.1 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 [7] и [8].

9.2.9.2 Требуемый диаметр петлевого стыка определяется по формуле 9.2.7:

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

где  $k = 3$  – для линейного стыка;

$k = 2$  – для углового стыка.

9.2.9.3 Вычисленный требуемый диаметр петлевого стыка должен быть равным или меньшим эквивалентному диаметру, определенному по площади внешнего контура ядра, включая диаметр арматуры петлевого выпуска.

9.2.9.4 Пример расчета приведён в приложении А.

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

9.2.10.1 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 стыками по [9].

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

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  $\eta_1$  определяется по СП 63.13330 (подпункт 10.3.24).

9.2.10.2 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 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 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:

$$l_{crc} = 0,125 \cdot \frac{\sigma_{s,crc}}{R_{bt,n}} \cdot d, \quad (9.3.1)$$

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 СП 63.13330 (раздел 8.2).

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

$$a_{crc} = \frac{\pi}{\varphi} \left[ \left( 0.062 \frac{d}{R_{bt,n}} \cdot \sigma_{s,crc} + 0.5D \right) \Psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} + 0.25 \Psi'_s \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot c + 0.78 \cdot \frac{d^2}{U_0} \cdot \frac{\sigma_s}{E_{b,\tau}} \right], \quad (9.3.2)$$

где  $\Psi_s$  – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами СП 63.13330 (раздел 8.2);

$\Psi'_s$  – коэффициент полноты эпюры  $\sigma_s$  с двойным армированием в зоне расположения прямой вставки см. СП 63.13330 (раздел 8.2);

$E_{b,\tau}$  – длительный модуль упругости бетона см. СП 63.13330 (раздел 6.1);

$\varphi$  – угол между сопрягаемыми элементами, рад.

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

$$a_{crc} = \left( 0.062 \frac{d}{R_{bt,n}} \cdot \sigma_{s,crc} + 0.5 \cdot D \right) \Psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} + 0.5 \Psi'_s \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot c + 1.56 \cdot \frac{d^2}{U_0} \cdot \frac{\sigma_s}{E_{b,\tau}}, \quad (9.3.3)$$

## Приложение А

(справочное)

### Примеры расчета

А.1 Линейный стык типа 2.1.

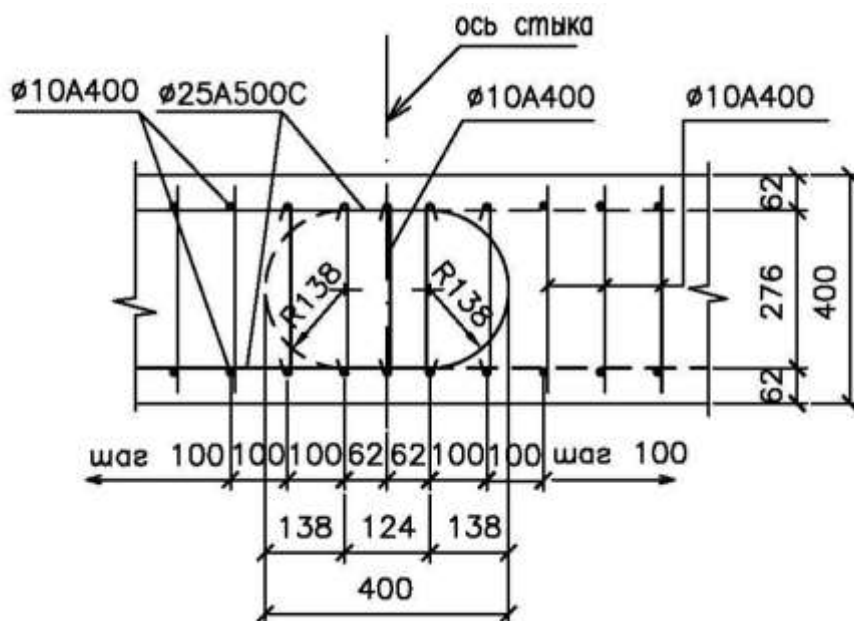
Исходные данные:

$$h = 400 \text{ мм}; \quad a = a' = 62 \text{ мм};$$

$$c = 124 \text{ мм}; \quad D = 276 \text{ мм}; \quad U_0 = 100 \text{ мм};$$

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

Арматура  $\varnothing 25\text{A}500\text{C}$ ;  $A_s = 4,91 \text{ см}^2$ ;  $R_s = 435 \text{ МПа}$ .



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

Для формы разрушения «В»:

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

$k = 3$  для линейного петлевого стыка.

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

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

где  $D_k$  – приведенный диаметр эквивалентного кругового ядра;

$A_k$  – площадь ядра стыка по внешнему контуру;

$$A_k = \frac{\pi \cdot D + d^2}{4} + c \cdot (D + d) = \frac{3,14 \cdot (276 + 25)^2}{4} + 124 \cdot (276 + 25) = 108445,8 \text{ мм}^2;$$

$$D_k = 2 \cdot \sqrt{\frac{108445,8}{3,14}} = 371 \text{ мм} < D_{req} = 379 \text{ мм}.$$

Требуется увеличение прямой вставки.

Для формы разрушения «Г»:

$$\eta_2 = 5,7 - 0,12 \cdot \frac{D}{d} = 5,7 - 0,12 \cdot \frac{276}{25} = 4,375;$$

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

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»:

$$A_k = \frac{\pi \cdot (D + d)^2}{4} + c \cdot (D + d) = \frac{3,14 \cdot (276 + 25)^2}{4} + 200 \cdot (276 + 25) = 131321,8 \text{ мм}^2;$$

$$D_k = 2 \cdot \sqrt{\frac{131321,8}{3,14}} = 409 \text{ мм} > D_{req} = 379 \text{ мм}.$$

## А.2 Линейный стык типа 2.2.3

Исходные данные:

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

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

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

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





**Библиография**

- [1] ОПБ 88/97 НП-001-97 (ПН АЭ Г- 01-011-97) Общие положения обеспечения безопасности атомных станций.
- [2] ПнН АЭ – 5.6 Нормы строительного проектирования АЭС с реакторами различного типа
- [3] НП-031-01 Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций
- [4] Федеральный закон от 27.12.2002 №184–ФЗ О техническом регулировании
- [5] Федеральный закон от 30.12.2009 №384–ФЗ Технический регламент о безопасности зданий и сооружений
- [6] Сборник «Официальные термины и определения в строительстве, архитектуре и жилищно-коммунальном хозяйстве». Минрегион России, ВНИИНТПИ, М.2009
- [7] Новые конструкции промышленных стыков в энергетическом строительстве. Обзорная информация / А.П. Кириллов, В.Б. Николаев, О.Д. Рубин, С.В. Селезнёв. Информэнерго. М. 1987
- [8] 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
- [9] Отчёт по теме: «Исследование стыков балочных элементов». ВПиНИИ «Гидропроект им. С.Я. Жука». НИС. М. 1966