

УДК 691.328.1

## УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ СИСТЕМА ПОПЕРЕЧНОГО АРМИРОВАНИЯ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ

**С. Н. Леонович, И. И. Передков**

*Белорусский национальный технический университет (г. Минск)*

*Аннотация.* В статье предложена усовершенствованная система поперечного армирования монолитных конструкций. Применяемые сегодня изделия поперечного армирования обладают рядом недостатков, связанных с часто встречающимися дефектами сварных соединений, высокой материалоемкостью изделий, трудоемкостью и низкой точностью монтажа; при этом наилучшие по совокупности показателей изделия имеют высокую стоимость, для их изготовления требуется дорогостоящее специальное оборудование. Предлагаемая усовершенствованная система поперечного армирования отличается отсутствием сварных соединений, низкой металлоемкостью и стоимостью изделий, высокими темпами монтажа поперечной арматуры.

Ввиду особой опасности разрушения конструкции вследствие местного среза с возможным дальнейшим прогрессирующим обрушением важной задачей становится разработка усовершенствованной системы поперечного армирования, обладающей высокой надежностью и лишенной обозначенных недостатков. Авторами проанализированы существующие конструктивные решения, определены их достоинства и недостатки. Разработанная система предполагает применение пространственных каркасов, располагаемых на нижней сетке плиты независимо от верхнего продольного армирования, что позволяет сократить трудозатраты и добиться более точного позиционирования изделий в сравнении с традиционно применяемыми плоскими каркасами, устанавливаемыми вертикально. Пространственный каркас получают объединением отдельных гнутых пространственных деталей в объемное изделие при помощи подвязываемых прямых стержней. Форма каждой отдельной детали позволяет обеспечить прочность и устойчивость каркаса в целом, достаточную для его транспортировки, подачи к месту монтажа и установки в проектное положение без повреждений. Отсутствие сварных соединений значительно сокращает трудоемкость производства и энергетические затраты. Гнутую пространственную деталь, входящую в состав объемного каркаса, получают путем изгиба арматурного стержня в двух плоскостях. Стержневая арматура – широко распространенный материал с относительно невысокой стоимостью. Для производства поперечного армирования можно использовать обрезки мерной арматуры достаточной длины.

Сравнительный расчет и конструирование плиты перекрытия типового этажа многоквартирного жилого дома показали, что использование гнутых изделий позволяет сократить расход металла на поперечное армирование до 18 %. Изготовление образцов деталей показало, что изгиб стержня может выполняться на широко применяемом оборудовании разной степени автоматизации и при должной отладке производственного процесса не вызывает затруднений. Целью дальнейших исследований является подготовка усовершенствованной системы поперечного армирования к широкому ее применению путем оптимизации процесса производства деталей, поиска и устранения невыявленных недостатков, разработки вспомогательной документации для проектирования конструкций и производства работ.

*Ключевые слова:* автоматизация; арматура стержневая; армирование монолитных плит; гибочный станок; изготовление арматуры; продавливание; монолитный каркас; обработка металла давлением; поперечная арматура; плита перекрытия монолитная.

**Введение.** Строительство зданий с монолитным каркасом – одно из наиболее востребованных направлений деятельности строительной отрасли, так как данная технология

позволяет получить продукцию высокого качества при наличии современных средств проектирования и производства работ. Совершенствование технологии строительства

таких зданий – важнейшая научно-техническая задача.

Узел сопряжения монолитного перекрытия с колонной (торцом или углом диафрагмы жесткости) требует особого внимания при расчете и конструировании. Если не обеспечить его прочности, происходит хрупкое разрушение бетона с высокой вероятностью дальнейшего прогрессирующего обрушения. Повреждение участка перекрытия над опорой в результате местного среза (продавливания) не сопровождается постепенным образованием трещин с ростом ширины их раскрытия и нарастанием прогиба плиты, а происходит в достаточно коротком промежутке времени. При этом вследствие перераспределения увеличиваются срезающие усилия на соседних опорах. Таким образом, необеспечение прочности при продавливании на единственной опоре способно повлечь за собой обрушение всего диска перекрытия. Примером может служить обрушение конструкций чаши плавательного бассейна в г. Краснодаре 31 июля 2013 года, где при проведении гидравлических испытаний продавилось, а затем обрушилось днище чаши бассейна и произошел розлив воды. Кроме того, была частично разрушена одна из стен здания. В итоге бассейн пришел в негодность, а здание спортивного комплекса было повреждено, что не позволило сдать объект к установленному сроку.

**Целью исследования** является поиск конструктивного решения поперечного армирования, обладающего следующими свойствами: высокая надежность узла, соответствие его конструктивного решения действующим ТНПА; минимально возможный расход металла; минимальные трудозатраты на изготовление деталей; минимальное время монтажа готового изделия; отказ от выполнения сварных соединений, дефекты которых оказывают негативное влияние на работу элемента армирования; снижение количества сварных соединений, выполняемых с целью формирования пространственного каркаса, качество которых не влияет на прочность конструкции; снижение энергетических затрат за счет отказа от выполнения сварных соедине-

ний или уменьшения их количества; использование местных производственных мощностей, возможность производства изделий в условиях завода и арматурного цеха непосредственно на строительной площадке.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- проанализировать существующие конструктивные решения, выявить их достоинства и недостатки и определить степень соответствия перечисленным выше свойствам;
- разработать изделия поперечного армирования из широко применяемых материалов с минимальной стоимостью, определить оптимальную форму изделия, позволяющую наиболее эффективно использовать прочностные свойства материала при минимальном его количестве;
- выполнить поиск конструктивного решения, позволяющего осуществить изготовление деталей разными способами, с использованием различных видов оборудования как из отгружаемого заводом-изготовителем материала, так и из отходов (обрезков), получаемых на строительной площадке;
- рассмотреть возможность армирования узла укрупненными элементами (пространственными каркасами) с целью сокращения времени монтажа;
- найти конструктивное решение детали, обеспечивающее ее работу согласно требованиям ТНПА РБ при отсутствии сварных соединений, дефекты которых способны снизить прочность детали;
- определить наиболее эффективный способ производства изделий, размер готового изделия и заготовки с учетом удобства выполнения технологических операций по его изготовлению как в построечных условиях, так и в условиях заводского цеха.

#### **Применяемые конструктивные решения узла сопряжения монолитной плиты перекрытия с колонной (торцом или углом диафрагмы жесткости)**

Устройство капителей и подколонников, позволяющее в ряде случаев отказаться от

установки поперечного армирования, а также переход к балочной конструктивной схеме плиты перекрытия увеличивает общую толщину конструкции, что зачастую нежелательно с точки зрения эффективности использования внутреннего объема здания, размещения инженерных коммуникаций и стоимости. Увеличение поперечного сечения колонн и утолщение плит повышает стоимость и увеличивает сроки строительства не только за счет большего расхода бетона, но также из-за более высокого собственного веса каркаса и возрастающих при этом нагрузок на конструкции фундамента. Зависимости рекомендуемых размеров сечений элементов монолитного каркаса от величины пролета и действующей нагрузки приведены в ряде литературных источников [1] и могут быть использованы для сравнения различных вариантов конструктивного решения каркаса на начальном этапе проектирования.

Применяемые в настоящее время конструктивные решения предполагают использование в качестве поперечной арматуры плит различных сварных каркасов и изделий, изготовление и монтаж которых достаточно трудоемки. Поперечное армирование плит предполагает наличие рабочих стержней, располагаемых наклонно или вертикально в приопорных зонах, и устройств, служащих для их анкеровки. К таким устройствам могут относиться как сформированные непосредственно на подвергнутом нагреву стержне утолщения, так и привариваемые к поперечным стержням элементы в виде пластин, полос либо стержней. В первом случае для формирования высаженной головки на конце стержня необходимо специальное оборудование, которое отличается высокой стоимостью при узкой специализации и доступно лишь крупным предприятиям отрасли. Установка такого оборудования на строительной площадке не всегда возможна и целесообразна. Например, система поперечного армирования Peikko PSB Reinforcement System. С учетом того что удельный вес поперечного армирования в общем объеме арматуры на плиту относительно невелик (до 15-17 %), целесообраз-

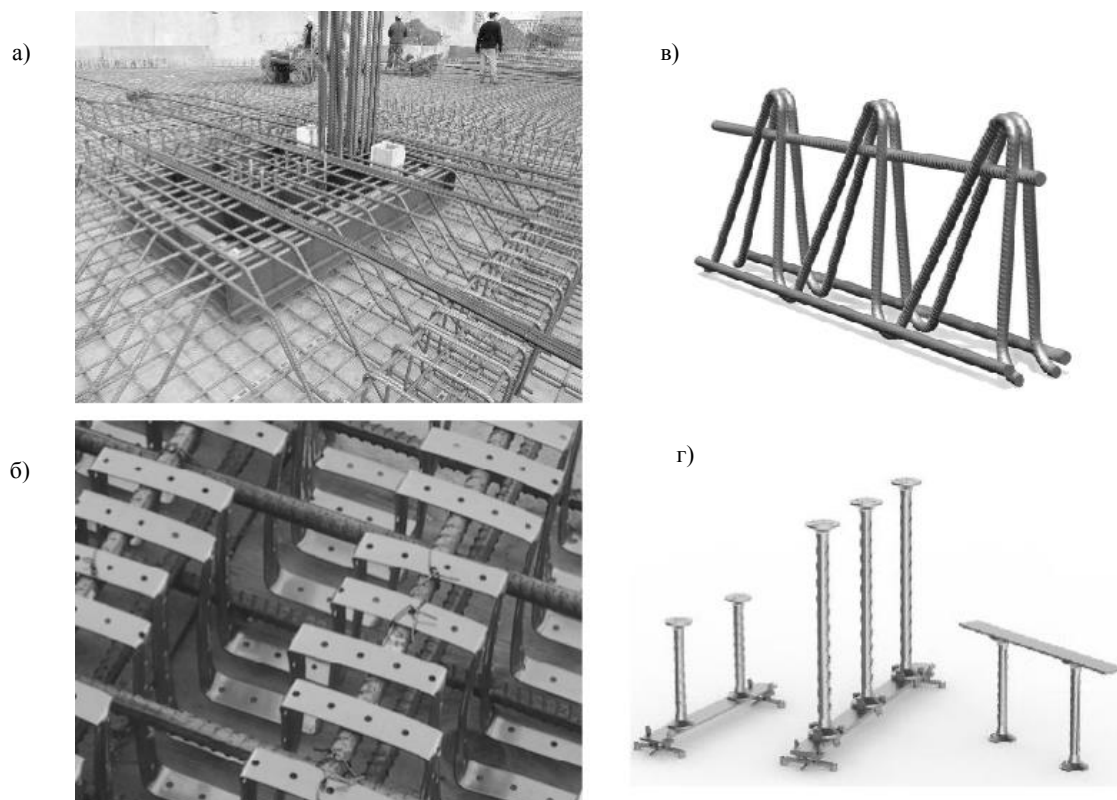
ность покупки узкоспециализированного дорогостоящего станка выглядит сомнительной.

Также известны конструктивные решения, предполагающие использование в качестве поперечной арматуры стальной полосы. Примером такого решения могут служить и изделия Lenton Steel Fortress Punching Shear Reinforcement System. Недостаток такого решения – применение в качестве исходного материала полосы с перфорациями, являющимися концентраторами напряжений в растянутом элементе в случае некачественной обработки кромок отверстия. Кроме того, стоимость такого изделия повышается по сравнению с аналогичным, изготовленным из арматуры периодического профиля. Еще один минус подобной системы – затрудненный монтаж при большом количестве стержней продольной арматуры в растянутой зоне плиты над опорой.

Готовые изделия (рис. 1) также имеют высокую стоимость, поэтому проектировщики и производители работ применяют аналог в виде стержней с приваренными на концах квадратными пластинами либо полосами. Приварка стержня поперечной арматуры для обеспечения высокой прочности стыка должна выполняться в раззенкованные отверстия полос и пластин, но зачастую такая схема крепления упрощается до приварки встык, что негативно сказывается на фактической прочности изделия.

Применяют также плоские арматурные каркасы, в которых для анкеровки используют поперечно приваренный стержень большего диаметра. Данные решения достаточно экономичны и просты в изготовлении в сравнении с изделиями типа Peikko, Lenton или Halfen, однако фактическое качество сварных соединений зачастую можно охарактеризовать как крайне низкое, оно не позволяет говорить о работе стержня поперечного армирования с его расчетным сопротивлением.

Сотрудниками кафедры «Железобетонные конструкции» БНТУ выполняются исследования эффективных способов армирования монолитных железобетонных дисков перекрытий в зоне опирания на колонны, что отмечено рядом публикаций [2-4].



**Рис. 1. Поперечное армирование, готовые изделия заводского изготовления:**

- а) Peikko CUBO column cap (вверху слева) – сварное изделие из пластин и швеллеров;  
 б) Lenton Steel Fortress (внизу слева) – гнутые пластины с перфорациями;  
 в) Halfen Filigran FDB II (вверху справа) – пространственный каркас на основе гнутых стержней;  
 г) Peikko PSB (внизу справа) – изделия с высаженными головками

Разработана классификация систем поперечного армирования по следующим признакам [4]:

- согласно применяемым материалам – с применением жесткой арматуры и без нее;
- согласно схеме армирования – направленные и ненаправленные;
- по схеме расположения дополнительной поперечной арматуры – с дополнительным поперечным армированием в радиальном направлении и дополнительным балочным армированием.

Выделены следующие основные виды систем:

- элементы с жесткой арматурой в виде прокатных профилей;
- единичные или сгруппированные вертикальные стержни;
- хомуты;
- плоские каркасы;
- пространственные каркасы.

Авторами [4] выполнены расчет и сравнение семи вариантов поперечного армирования (рис. 2). В результате сформулированы следующие выводы:

- 1) самыми экономичными вариантами армирования оказались стержни с высаженными головками, гнутые стержни-«змейки», плоские каркасы и пространственные каркасы;
- 2) самым неэкономичным вариантом оказался вариант армирования жесткой арматурой и хомутами;
- 3) сравнивались различные варианты армирования узлов лишь по расходу поперечной арматуры, без учета продольного армирования, что в случае применения жесткой арматуры существенно увеличило бы расход металла;
- 4) в стоимость строительства входит не только стоимость металла, а также стоимость производства изделия и их монтажа. В связи с этим стержни с высаженными головками ме-

нее экономичны, а установка отдельных стержней и хомутов усложняет монтаж, что ведет к существенному удорожанию стыка;

5) самым экономичным вариантом (с учетом всех аспектов) является вариант армирования гнутыми стержнями – «змейками».

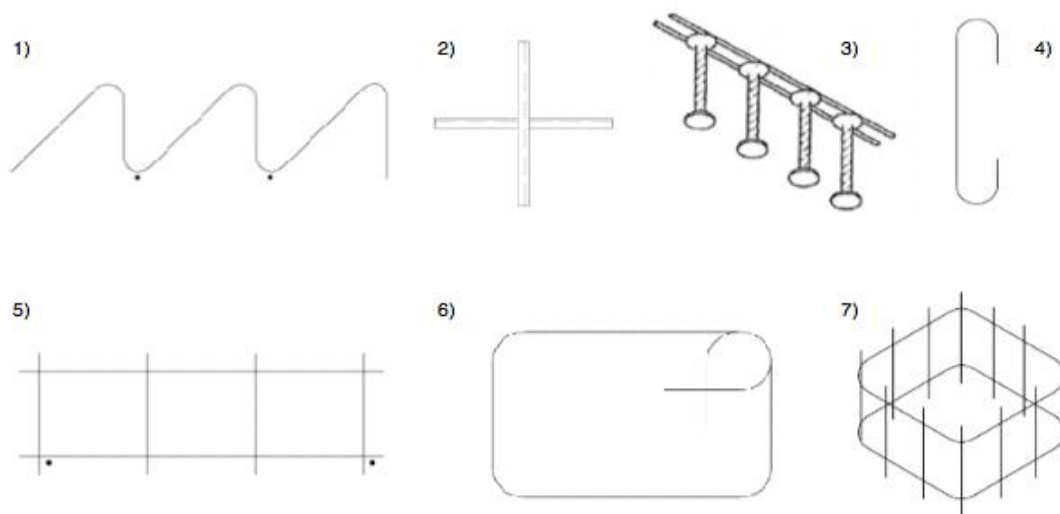


Рис. 2. Виды поперечного армирования в сравнении [4]:

- 1 – гнутые стержни-«змейки»; 2 – жесткая арматура – швеллера; 3 – стержни с высаженными головками; 4 – отдельные стержни; 5 – хомуты; 6 – плоские каркасы; 7 – пространственные каркасы

Независимо от авторов приведенных выше публикаций, аналогичные выводы сделаны авторами данной статьи в декабре 2014 года в процессе поиска более совершенного способа поперечного армирования плит перекрытия группы многоквартирных домов. Опыт авторского надзора за строительством позволил выявить высокий процент брака широко применяемых сварных изделий (каркасы и другие детали). Кроме того, распространенной проблемой оказалась сложность правильного позиционирования поперечной арматуры при густом верхнем армировании. Плоские же сварные каркасы зачастую не были установлены вертикально. Все эти недостатки были отмечены в журналах авторского надзора вместе с указаниями по их устранению. Существовавший опыт применения гнутых изделий («змеек» [4]) на ряде объектов в г. Минске показал высокую сложность вязки армирования, так как анкерка вертикальных стержней-«змеек» осуществлялась путем зацепления их за нижнее и верхнее продольное армирование. В данном случае особенно важно выполнить установку элементов армирования плиты в правильной последовательности. При ее нару-

шении монтаж поперечной арматуры значительно усложняется.

Таким образом, с учетом всех перечисленных факторов авторами данной статьи предложена усовершенствованная система поперечного армирования, описанная ниже.

#### Выбор материала и формы плоского изделия усовершенствованной системы поперечного армирования

Анализ существующих решений показал, что оптимальным материалом для поперечного армирования является стержневая арматура диаметром от 8 до 12 мм, согнутая в плоское либо пространственное изделие. Данный материал широко распространен, в качестве заготовок для гнутья могут использоваться в том числе обрезки мерной арматуры, которые образуются на строительной площадке в значительном количестве.

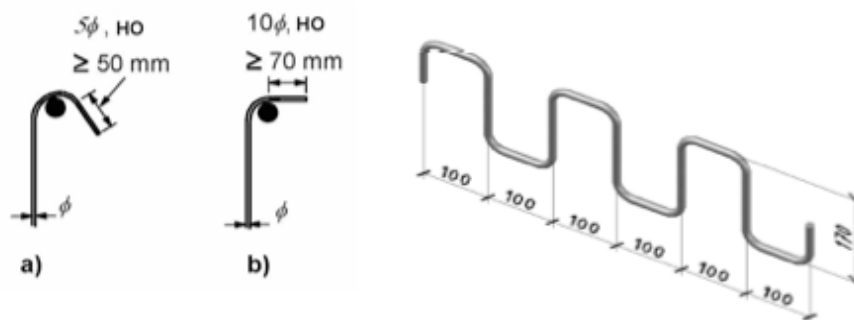
Форма сгиба должна отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать позиционирование вертикальных стержней поперечного армирования в соответствии с проектом;
- обеспечивать возможность надежной анкерки поперечного армирования;

- учитывать то, что сгиб стержней должен выполняться не под прямым углом с минимальной кривизной изгиба, а вокруг цилиндрической оправки гибочного станка;
- обеспечивать возможность изготовления деталей на различных станках (ручных типа СГА из отдельных стержней, автоматических с ЧПУ из стержней и арматуры в бухтах);
- быть оптимальной по расходу материала;
- быть универсальной и позволять изготавливать детали различных типоразмеров без коренного изменения формы деталей или заготовок;

- способствовать технологичности монтажа.

Выполнен анализ различных форм сгиба для плоского изделия, в том числе рассмотрена форма, предложенная авторами [4]. Оптимальной на данном этапе исследований оказалась форма сгиба, показанная на рисунке 3. Критериями оценки качества той или иной формы явились расход материала, технологичность процесса производства, возможность соблюдения требований ТНПА в области изготовления арматурных изделий, соответствие изложенным в ТНПА положениям по расчету и конструированию поперечного армирования.



\*п.8.5 ТКП EN 1992-1-1-2009

Рис. 3. Форма плоского гнутого изделия и некоторые требования к анкеровке

В первом приближении предполагалось выполнить анкеровку петель плоских изделий путем зацепления за дополнительные анкерующие стержни снизу и навеску на продольную верхнюю арматуру плиты. Для такого решения разработан комплект документации на поперечное армирование плиты перекрытия многоквартирного жилого дома с детальной проработкой узлов (рис. 4).

Для данного варианта также выполнено сравнение расхода металла на поперечное армирование плиты типового этажа. В качестве конкурирующего решения рассматривались сварные изделия с приваренными квадратными пластинами (так называемые «самодельные дехи»). Вариант армирования гнутыми изделиями оказался экономичнее по расходу материала на 18 %.

Опыт армирования плиты типового этажа гнутыми изделиями показал их экономич-

ность. Было предложено объединить ряд плоских изделий в пространственный каркас, перевязав их с нижними анкерующими стержнями или приварив дополнительные поперечные стержни на концах крайних крючков, если вязаный каркас не будет иметь достаточную прочность и жесткость.

Чтобы определить фактическую прочность вязаного пространственного каркаса, необходимость приварки каких-либо стержней или принятия иных мер для подачи изделия к месту монтажа в исправном состоянии, изготовлены образцы изделий.

Далее с учетом опыта изготовления образцов для облегчения монтажа скорректирована форма изделий, выявлены типичные ошибки при производстве гнутых деталей и намечены дальнейшие шаги по совершенствованию системы поперечного армирования.

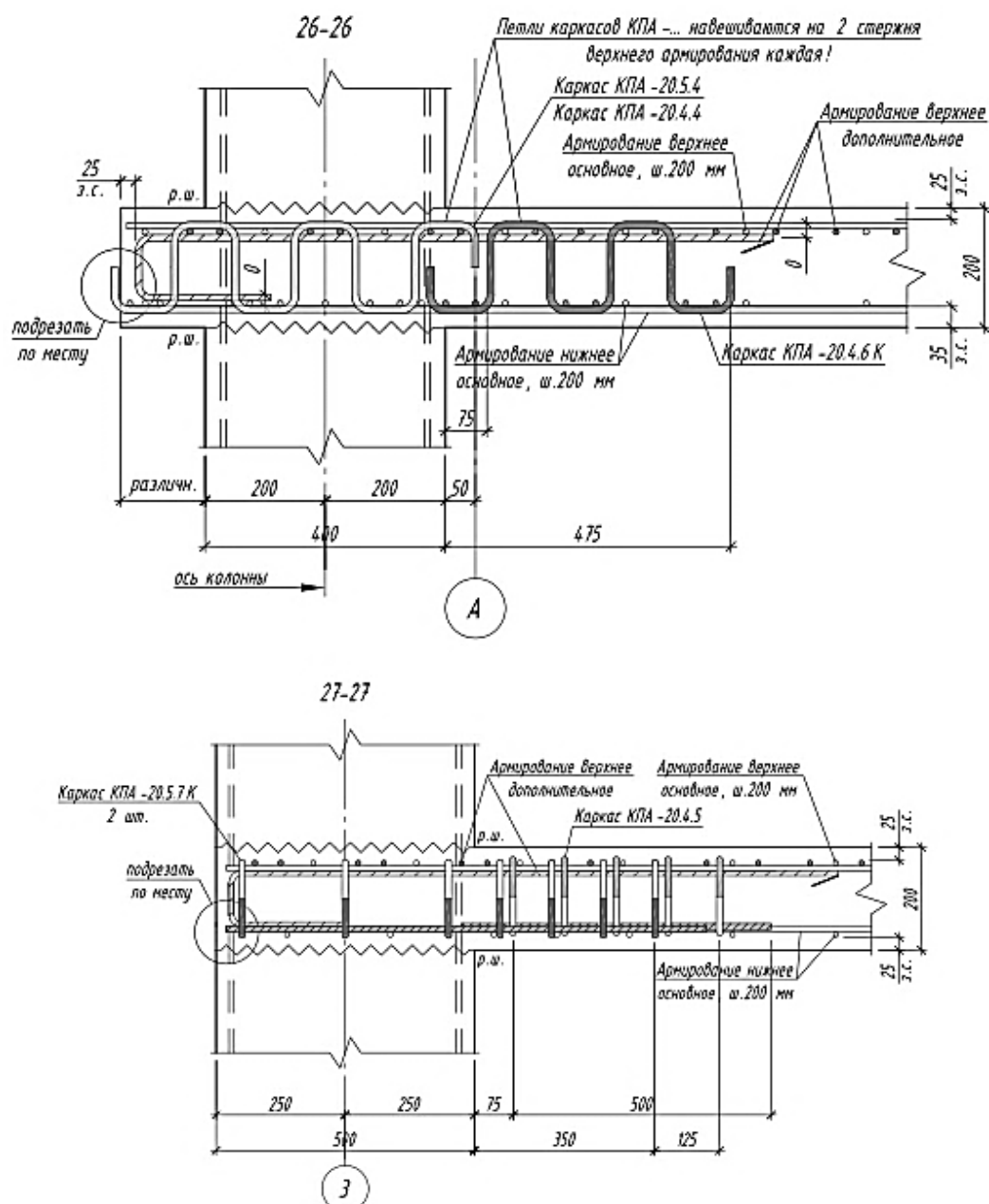


Рис. 4. Узел поперечного армирования плиты перекрытия типового этажа

### Разработка формы пространственного каркаса

Для сокращения сроков монтажа и более точного позиционирования поперечной арматуры целесообразно объединить гнутые изделия в пространственный каркас. Предполагается изготовление пространственных каркасов в заводских условиях либо в арматурном цехе строительной площадки путем вязки из отдельных деталей. Далее выполняется подача

изделий к месту монтажа. Во время всех манипуляций с пространственными каркасами должны быть обеспечены их достаточная прочность и жесткость, при этом крайне желателен отказ от сварки или максимально возможное сокращение ее количества.

На начальном этапе разработки системы предполагалось выполнить анкеровку поперечной арматуры каркаса путем установки анкерующих стержней в нижней части и навески на верхнюю продольную арматуру

(см. рис. 4). Данный способ оптимален с точки зрения расхода материала и количества конструктивно устанавливаемых стержней, однако при такой форме каркаса необходимо строго соблюдать очередность монтажа арматуры плиты.

Если все плоские изделия сориентированы в одном направлении (как показано на рис. 5), очередность монтажа будет следующей:

- 1) нижняя арматура обоих направлений;
- 2) «лягушки» и «маячные» стержни;
- 3) верхняя арматура 1-го направления основная;
- 4) пространственные каркасы поперечного армирования;
- 5) верхняя дополнительная арматура 1-го направления;
- 6) верхняя арматура 2-го направления;
- 7) прочие детали.

Если пространственные каркасы сориентированы в обоих направлениях, очередность монтажа дополнительно усложняется, возникает необходимость пропускать часть верхней арматуры внутрь петель каркаса поперечного армирования. Следует заметить, что данные операции вполне выполнимы в построечных условиях, но требуют от производителя работ точного соблюдения очередности монтажа. С высокой долей вероятности можно прогнозировать возникновение ошибок монтажа на первых плитах, которые способны сформировать ложное негативное мнение о предлагаемой системе поперечного армирования.

Ввиду общей высокой экономичности системы и того, что добавление нескольких анкерующих арматурных стержней лишь незначительно увеличивает расход стали, принято решение отказаться от анкеровки зацеплением за продольную арматуру. Данное изменение в конструкции каркаса позволило:

- выполнять монтаж пространственных каркасов между операциями по установке нижнего и верхнего продольного армирования, не разбивая при этом установку верхней продольной арматуры на дополнительные этапы;
- свободно раскладывать верхнее армирование без необходимости пропуска стерж-

ней в петли каркасов;

- ориентировать каркасы в одном или двух направлениях по желанию проектировщика без усложнения монтажа;
- при нечетном количестве периметров каркас симметричен, при регламентированном положении критических периметров в плане его можно перевернуть по месту для увязки с другими деталями;
- наличие верхних и нижних анкерующих стержней, подвязываемых на стадии изготовления каркаса, повышает его прочность и жесткость и обеспечивает его надежность при транспортировании;
- при изготовлении деталей рабочие арматурного цеха предложили получить исходное изделие изгибом в двух плоскостях (см. рис. 5), что привело к еще большему упрочнению и ужесточению пространственного каркаса, повышению его устойчивости в проектном положении и полному отказу от сварки при равнозначных трудозатратах на изготовление.

Таким образом, исходное изделие приобрело вид, показанный на рисунке 5. Расположение каркаса (рис. 6) относительно прочих элементов армирования – между верхней и нижней вязаными сетками (рис. 7).

Для унификации типоразмеров гнутых изделий и наиболее удобного монтажа рекомендуется принять расположение сеток плиты по рисунку 7. Такое решение позволяет также унифицировать детали обрамления и гнутые стержни (П- и Г-образные), что значительно упрощает конструирование, производство деталей и монтаж.

Как было сказано выше, при нечетном количестве периметров поперечной арматуры пространственный каркас симметричен, поэтому рекомендуется в процессе проектирования округлять количество периметров поперечного армирования в большую сторону до ближайшего нечетного. Увеличение расхода стали на поперечное армирование можно нивелировать сокращением количества верхней продольной арматуры, если она устанавливается для обеспечения прочности при местном срезе.



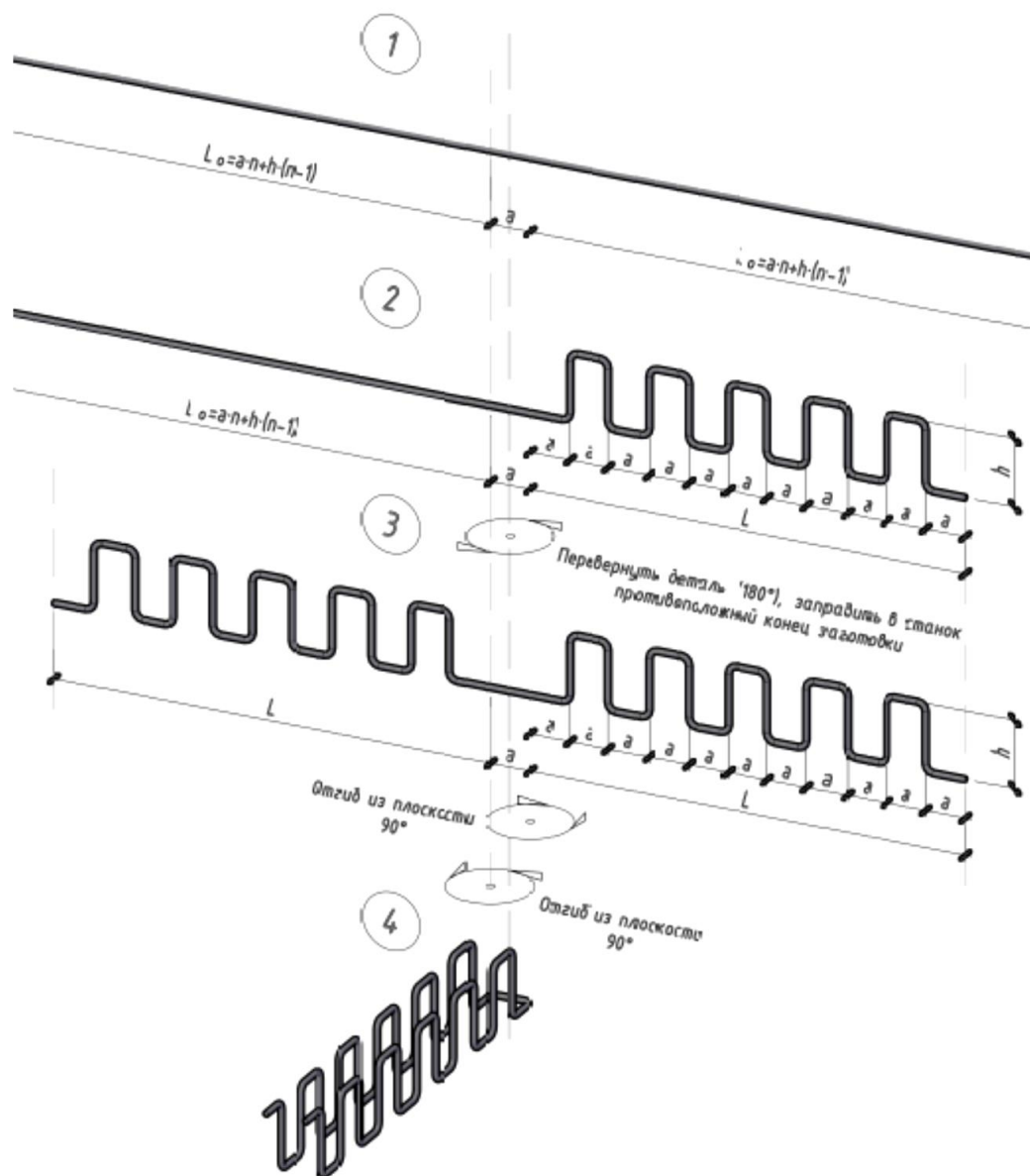


Рис. 5. Последовательность изготовления исходного гнутого изделия

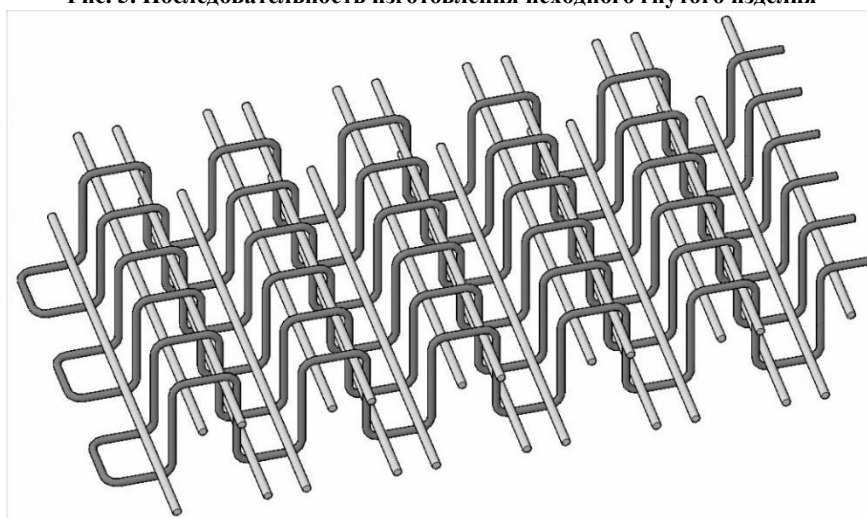


Рис. 6. Общий вид вязаного пространственного каркаса

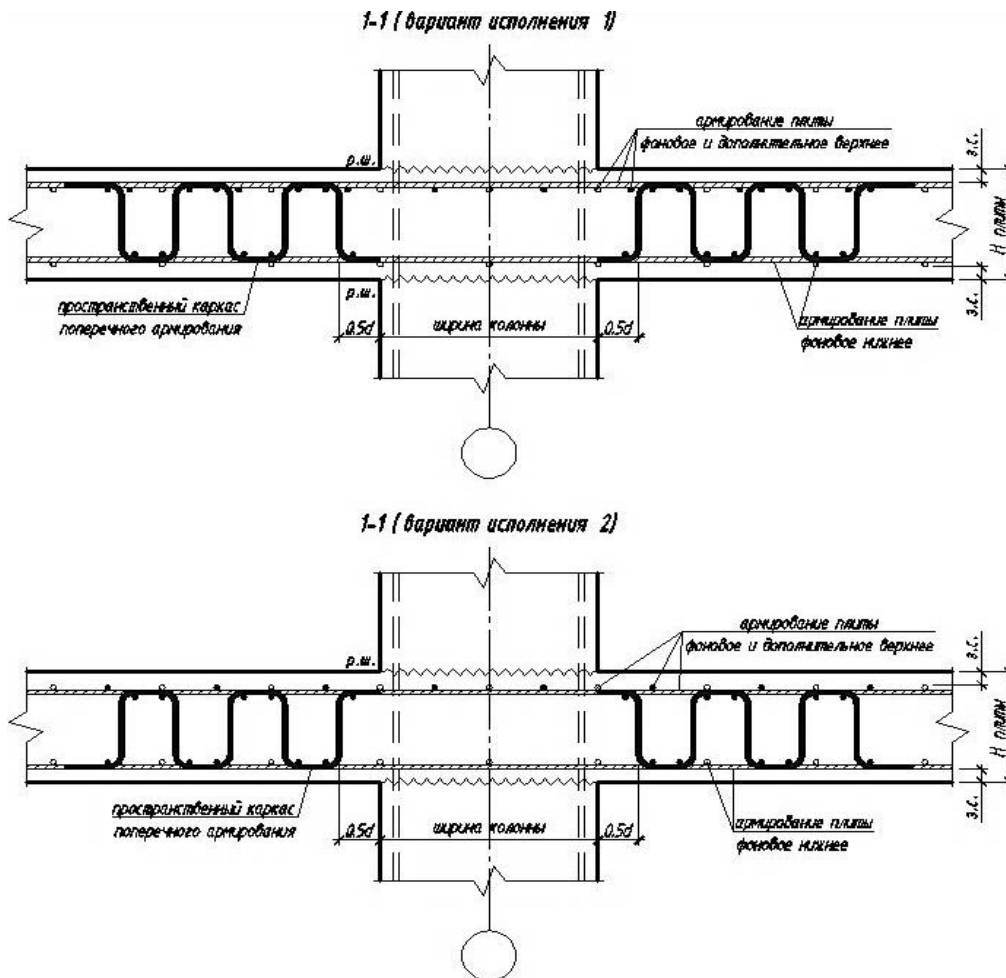


Рис. 7. Каркасы поперечного армирования в зоне сопряжения плиты и колонны

### Изготовление гнутых изделий

Для обеспечения проектной прочности поперечной арматуры необходимо соблюдать следующие требования к ее изготовлению:

- гибка арматуры должна выполняться вокруг цилиндрических оправок радиусов, указанных в проектной документации; сгиб арматуры без радиуса со смятием и охрупчением металла внутри сгиба не допускается;
- не допускается нагрев (отпуск) арматурного стержня или любое другое воздействие, изменяющие его физико-механические свойства;
- процесс производства гнутых арматурных изделий должен отвечать требованиям действующих ТНПА.

Последовательность операций по сгибу заготовки на ручном станке типа СГА показана на рисунке 5. Для точного соблюдения

геометрии целесообразно выполнить разметку на рабочей плоскости, непосредственно на стержне или изготовить специальный шаблон.

Наиболее технологичным видится производство плоских заготовок для деталей на гибочных станках с блоком ЧПУ в заводских условиях и импортом параметров заготовки из BIM-модели. Изгиб во второй плоскости выполняется на станке типа СГА. Такой способ производства деталей обладает всеми преимуществами поточного способа организации производства: имеет высокую степень автоматизации, повышаются производительность труда и качество изделий, сокращаются трудозатраты, повышаются темпы строительства. Пригодное для такого способа производства оборудование установлено на ряде предприятий модернизации заводов-изготовителей железобетонных конструкций и изделий в Беларуси.

Следует отметить, что станки типа Pedax, Stema, Schnell, Мер и другие пригодны для производства большинства гнутых арматурных изделий (П- и Г-образные стержни, шпильки, хомуты и т.д.), имеют высокую производительность и стоимость. При небольших объемах строительства данное оборудование избыточно по своим характеристикам и неоправданно дорого.

Точность геометрии гнутых изделий при производстве на станках типа СГА зависит в первую очередь от квалификации рабочего персонала. Так, при производстве образцов

деталей значительный процент изделий, изготовленных различными организациями, имел недопустимые дефекты геометрии, которые не позволили бы установить такую деталь по месту (рис. 8). В то же время уровень мастерства отдельных рабочих оказался достаточен для производства деталей куда более сложных форм (рис. 9). Даже с учетом отладки процесса, подготовки рабочими вспомогательных приспособлений типа шаблонов можно говорить о том, что лишь немногие производители способны получить изделия надлежащего качества на стандартном оборудовании.

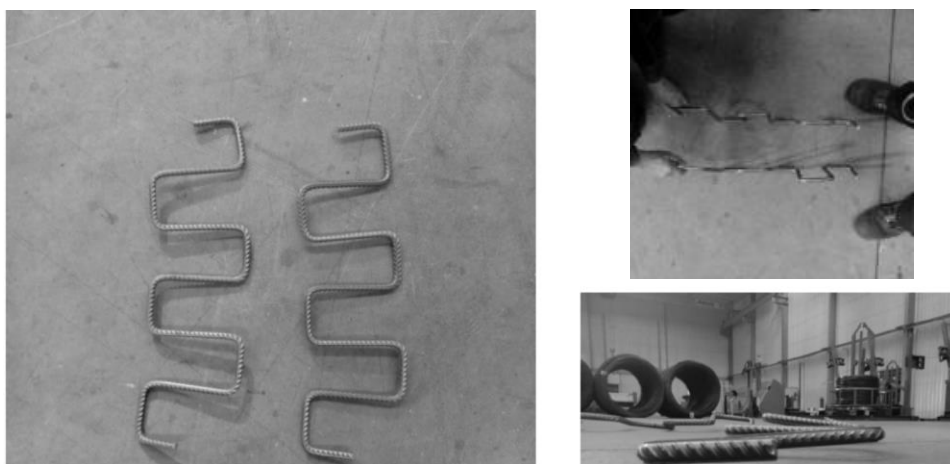


Рис. 8. Гнутые изделия с дефектами геометрии, полученные на станке типа СГА

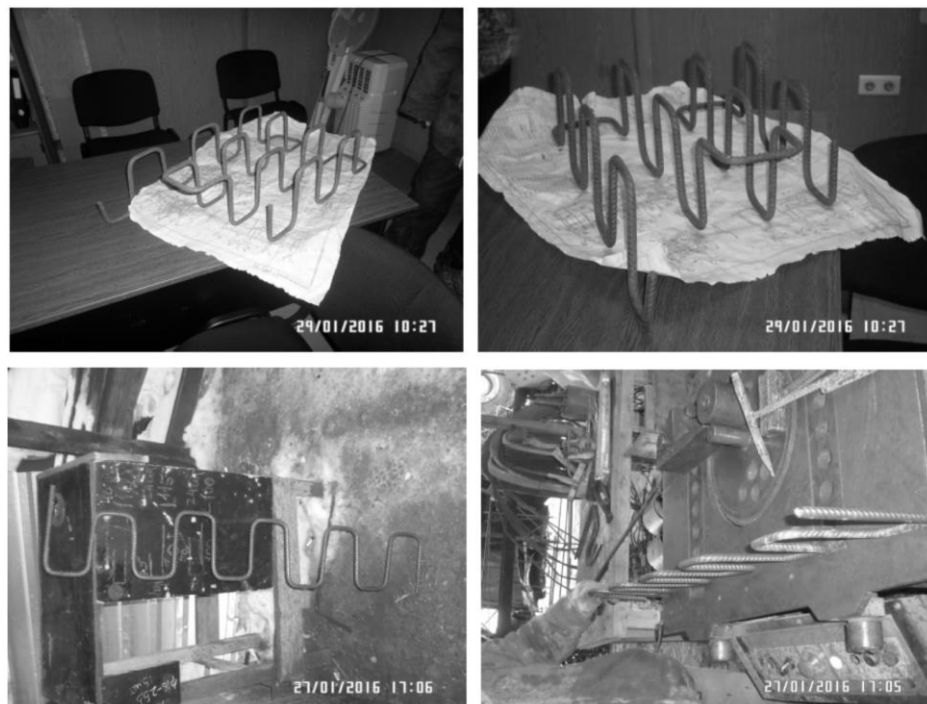
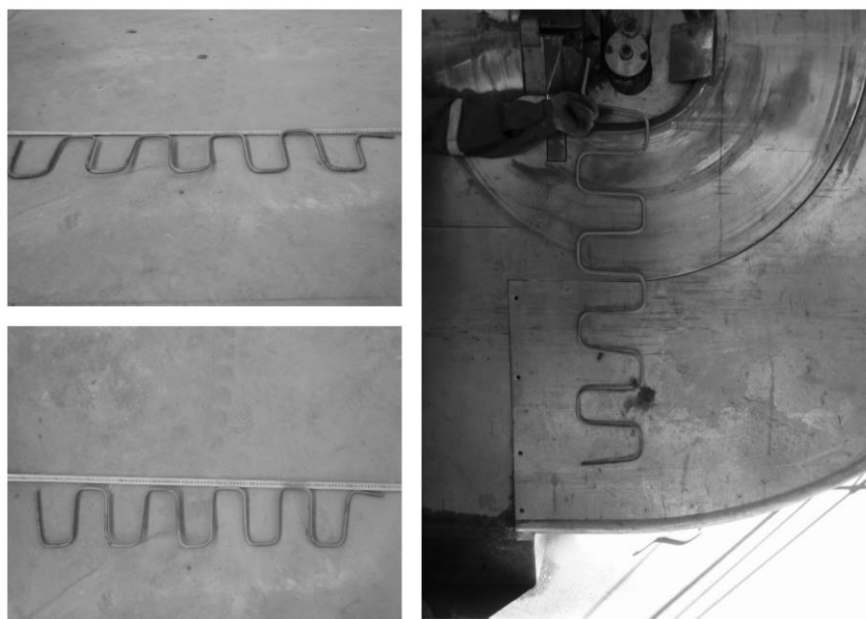


Рис. 9. Плоские и пространственные гнутые изделия с допустимыми отклонениями от геометрических размеров, полученные на станке типа СГА



**Рис. 10. Гнутые изделия с дефектами геометрии, полученные на станке Pedax Twinmaster**  
(Данные отклонения могут быть устранены путем точной настройки станка)

Изделия, полученные на станке Pedax Twinmaster (рис. 10), имели некоторые отклонения от проектных геометрических размеров. Данные дефекты обусловлены колебаниями выходящей из станка детали. Для их устранения необходимо опытным путем определить оптимальную скорость подачи стержня, выполнить отладку процесса гибки.

При всех достоинствах предложенной системы (высокая надежность, экономичность, отсутствие сварных соединений, простота монтажа) производство деталей на практике оказывается достаточно сложной задачей. Учитывая, что качество других гнутых элементов также зачастую оставляет желать лучшего, необходимо разработать комплексное решение, позволяющее как повысить качество ныне производимых деталей, так и сделать возможным производство новых изделий. Технология точной обработки арматурного стержня делает возможным производство различных закладных изделий, в т.ч. для устройства деформационных швов, узлов сопряжения в монолитных конструкциях при опережающем бетонировании и т.д.

В настоящий момент наиболее разумными решениями проблемы повышения качества гнутых арматурных изделий являются:

- централизованное производство арматурных изделий на оборудованных должным образом предприятиях;
- разработка отечественного оборудования, имеющего невысокую относительно зарубежных аналогов стоимость и производительность, оптимальную для использования его при небольших объемах строительства.

**Выводы.** Выполнена разработка усовершенствованной системы поперечного армирования, обладающей следующими свойствами: высокой надежностью узла сопряжения монолитной плиты с колонной (торцом или углом диафрагмы), что обеспечивается конструкцией деталей и отсутствием подверженных дефектам сварных соединений; уменьшенным относительно применяемых в настоящее время решений расходом стали, что было подтверждено сравнительным расчетом; снижением трудозатрат на изготовление деталей за счет отсутствия сварки и возможности применения универсального высокопроизводительного оборудования; сокращением времени монтажа деталей, что достигается применением объемных каркасов; снижением энергетических затрат за счет отказа от выполнения сварных соединений; использованием местных производственных мощностей,

возможностью производства изделий в условиях завода (наиболее целесообразно – на автоматических станках) и арматурного цеха непосредственно на строительной площадке (при высокой квалификации рабочих на станках типа СГА или на другом оборудовании).

Целью дальнейших исследований является подготовка усовершенствованной системы

поперечного армирования к широкому ее применению. Данная цель может быть достигнута путем оптимизации процесса производства деталей, поиска и устранения не выявленных на данном этапе исследований недостатков системы, разработки документации для проектирования конструкций с поперечным армированием и производства работ.

#### Список литературы

1. Economic concrete frame elements to Eurocode 2 / С. Н. Goodchild and others. MPA – The Concrete Centre, 2009. 182 p.
2. Пецольд Т. М., Козловский Е. А. Напряженно-деформированное состояние узла сопряжения монолитных дисков перекрытия с колоннами // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 12-й Международной научно-технической конференции. Т. 2. Минск: БНТУ, 2014. С. 255.
3. Рак Н. А., Тамкович С. Ю. Оценка надежности методов расчета железобетонных элементов с поперечной арматурой при продавливании // Строительная наука и техника. 2011. № 6. С. 15-20.
4. Козловский Е. А. Эффективные способы армирования монолитных железобетонных дисков перекрытий в зоне опирания на колонны // Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства: сборник Международных научно-технических статей (материалы научно-методической конференции), 27–28 мая 2014 г.: в 2 ч. Ч. 1 / ред. колл.: В. Ф. Зверев, С. М. Коледа, С. Н. Делендик. Минск: БНТУ, 2015. С. 74-79.

#### Информация об авторах

*ЛЕОНОВИЧ Сергей Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры ТСП, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь. Область научных интересов – долговечность железобетонных конструкций, механика разрушения бетона и железобетона при эксплуатации в условиях температурно-влажностных и коррозионных воздействий. E-mail: sleonovich@mail.ru

*ПЕРЕДКОВ Иван Иванович* – магистр технических наук, ассистент кафедры ТСП, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь, инженер-конструктор ООО «ПРОЕКТСТРОЙКОНСТРУКЦИЯ». Область научных интересов – предварительное напряжение монолитных железобетонных конструкций в построечных условиях, технология устройства пустотных монолитных плит перекрытия. E-mail: I.I.Peredkov@gmail.com

UDC 691.328.1

## IMPROVED SYSTEM OF TRANSVERSE REINFORCEMENT OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE SLABS

**S. N. Leonovich, I. I. Peredkov**

*Belarusian National Technical University (Minsk)*

*Abstract.* The advanced punching shear reinforcement system is provided in the article. Currently used punching shear reinforcement systems have a number of the disadvantages associated with frequent welded joints defects, high material consumption, labor-intensive and low-precision assembly; thus the best products are expensive, require less common and/or expensive special equipment for their fabrication. The advanced punching shear reinforcement system characterized by the absence of welded joints, by low metal consumption and reduced cost of the details, rapid punching shear reinforcement installation, was developed.

Because of the extra danger of the punching shear failure with possibility of the further progressive collapse, it's necessary to develop advanced punching shear reinforcement system, highly reliable and devoid of the disadvantages identified. The analysis of the existing solutions has

been performed, their advantages and disadvantages have been determined. The developed system involves the use of three-dimensional frame, which is placed on the bottom reinforcement of the plate independently of the top longitudinal reinforcement. Such design in comparison with the traditionally used planar frames reduces laboriousness and provides more accurate punching shear reinforcement positioning. Three-dimensional frame is obtained by consolidating individual 3D-curved details using straight rebars. The shape of each 3D-curved detail provides strength and stability of the whole three-dimensional frame required for the transportation, delivery to the mounting location and installation without breaking. The welded joints absence significantly reduces laboriousness and energy consumption. The 3D-curved detail as a part of 3D-frame is obtained by bending rebar in two planes. Steel rebar is a commonly used material with a relatively low cost. Steel rebar offcut can also be used for the punching shear reinforcement fabrication.

The apartment building floor slab comparative calculations and design showed that the applying of the curved rebars provides reduction of the amount of punching shear reinforcement steel up to 18 %. 3D-detail samples fabrication revealed that the rebar bending can be performed using common equipment with different level of automation and the process doesn't cause difficulties with proper debugging. The aim of further research is to prepare advanced punching shear reinforcement system for the wide use. The aim can be achieved by the manufacturing process optimization, troubleshooting and preparation of the supporting documentation for the structural design and production.

**Keywords:** automation; steel rebar; concrete slab reinforcement; bending machine; steel rebar fabrication; punching shear failure; monolithic frame; steel forming; punching shear reinforcement; concrete slab.

## REFERENCES

1. Economic concrete frame elements to Eurocode 2, C. H. Goodchild and others. – MPA – The Concrete Centre, 2009, 182 p.
2. Pecold T. M., Kozlovskij E. A. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie uzla soprjazhenija monolitnyh diskov perekrytija s kolonnami [Tensely deformed condition of the monolithic disk junction of columned slabs], *Nauka – obrazovaniju, proizvodstvu, jekonomike: materialy 12-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii* [Science for education, industry and economy: proceedings of the 12<sup>th</sup> International research and technical conference], T. 2, Minsk: BNTU, 2014, pp. 255.
3. Rak N. A., Tamkovich S. Ju. Ocenka nadezhnosti metodov rascheta zhelezobetonnyh jelementov s poperechnoj armaturoj pri prodavlivanii [Validity assessment of methods of reinforced concrete elements with transverse reinforcement exposed to pressing through], *Stroitel'naja nauka i tehnika* [Construction science and technology], 2011, No. 6, pp. 15-20.
4. Kozlovskij E. A. Jefferktivnye sposoby armirovanija monolitnyh zhelezobetonnyh diskov perekrytij v zone opiraniya na kolonny [Effective methods of reinforcement of monolithic reinforced concreteslab disks at the place of column support], *Sovremennye problemy vnedrenija evropejskih standartov v oblasti stroitelstva: sbornik Mezhdunarodnyh nauchno-tehnicheskikh statej (materialy nauchno-metodicheskoy konferencii), 27-28 maja 2014 g. v 2 ch., ch. 1* [Contemporary problems of implementing European Standards in the field of construction; collection of international research papers (materials of research and practical conference), 27-28 March, 2014, in 2 parts. Part 1], editorial board: V. F. Zverev, S. M. Koleda, S. N. Delendik, Minsk: BNTU, 2015, pp. 74-79.

## Information about the authors

*LEONOVICH Sergei Nikolaevich* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction Production Technology, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus. Scientific interests – durability of reinforced concrete constructions, mechanics of concrete destruction under temperature-humidity and corrosion impact. E-mail: sleonovich@mail.ru

*PEREDKOV Ivan Ivanovich* – Master of Technical Sciences, Assistant of Department of Construction Production Technology, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, Design Engineer of LLC “PROEKTSTROYKONSTRUKTSIYA”. Scientific interests – pretension of monolithic reinforced concrete constructions while building, composition and structure of hollow monolithic slabs. E-mail: I.I.Peredkov@gmail.com

## Библиографическая ссылка

Леонович С. Н., Передков И. И. Усовершенствованная система поперечного армирования монолитных железобетонных плит перекрытия // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2017. – № 2. – С. 73-86.