



УДК: 69.024.81

DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.11

EDN:KUZPTA

Узлы сопряжения железобетонных колонн с фундаментами

Илшат.Т. Мирсаяпов¹, Р.Г. Гайнетдинов¹, И.Р. Салимзянов¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Главной проблемой при производстве сборных железобетонных колонн является устройство опорной части, как с точки зрения упрощения изготовления, так и обеспечения требуемой несущей способности. *Цель работы* заключается в разработке узлового соединения сборной железобетонной колонны с монолитным фундаментом при помощи закладной детали. *Задачи:* рассмотрение существующих узловых соединений сборных железобетонных колонн с монолитными фундаментами и сравнение предложенного соединения с помощью закладной детали по трудоемкости изготовления и монтажа, несущей способности, расходу стали с существующими техническими решениями.

Результаты. В работе представлены результаты разработки узлового соединения сборной железобетонной колонны с монолитным фундаментом при помощи закладной детали. В результате выявлено, что узловое соединение с применением закладной детали, предложенное специалистами Казанского государственного архитектурно-строительного университета, не уступает в несущей способности существующим аналогам, при этом упрощает и снижает сроки производства колонн, увеличивает возможность вариативного изменения под различные условия эксплуатации и воспринимаемые усилия.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что за счет применения закладной детали, уменьшаются сроки и стоимость изготовления сборных железобетонных колонн, без ущерба для несущей способности и долговечности.

Ключевые слова: сборная колонна, закладная деталь, монтаж колонн, узел сопряжения

Для цитирования: Мирсаяпов Илшат.Т., Гайнетдинов Р.Г., Салимзянов И.Р. Узлы сопряжения железобетонных колонн с фундаментами // Известия КГАСУ, 2024, № 2(68), с. 124-135, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.11, EDN: KUZPTA

Connections of reinforced concrete columns with foundations

Ishat.T. Mirsayapov¹, R.G. Gainetdinov¹, I.R. Salimzyanov¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* The main problem in the production of precast reinforced concrete columns is the design of the supporting part, both from the point of view of simplifying manufacturing and ensuring the required bearing capacity. The purpose of the work is to develop a nodal connection of a precast reinforced concrete column with a monolithic foundation using an embedded part. The main tasks are consideration of existing nodal connections of precast reinforced concrete columns with monolithic foundations and comparison of the proposed connection using embedded parts in terms of the complexity of manufacturing and installation, bearing capacity, consumption of steel with existing technical solutions.

Results. The paper presents the results of the development of a nodal connection of a precast reinforced concrete column with a monolithic foundation using an embedded part. As a result, it

was revealed that the nodal connection with the use of embedded parts, proposed by specialists of Kazan State University of Architecture and Engineering, is not inferior in bearing capacity to existing analogues, while simplifying and reducing the production time of columns, increasing the possibility of variable change under different operating conditions and perceived efforts.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that due to the use of embedded parts, the time and cost of manufacturing precast reinforced concrete columns are reduced without compromising bearing capacity and durability.

Keywords: prefabricated column, embedded part, installation of columns, connection

For citation: Mirsayapov Ilshat T., Gainetdinov R.G., Salimzyanov I.R., Connections of Reinforced Concrete Columns with Foundations // News KSUAE, 2024, № 2(68), p. 124-135, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.11, EDN: KUZPTA

1. Введение

В настоящее время одной из приоритетных задач России является сокращение сроков строительства промышленных и гражданских объектов, развитие и повышение эффективности народного хозяйства. Данный процесс возможен при применении быстровозводимых зданий различного назначения – склады, ангары и т.п. Большой популярностью пользуются промышленные здания, вертикальные несущие элементы которого выполняются из железобетона.

Как показывает практика строительства, применение сборных железобетонных колонн совместно с монолитными фундаментами уменьшает сроки строительства, а также упрощает строительно-монтажные работы [1]. Сборные железобетонные колонны, размеры которых определяются расчетом, заранее изготавливаются и поступают на строительную площадку к моменту завершения работ по устройству фундаментов [2]. Центральным вопросом в таких решениях является конструирование узла сопряжения колонны с фундаментом. Такой узел должен соответствовать следующим критериям: быстрота монтажа, снижение расхода стали, снижение трудоемкости при изготовлении колонн, обеспечение достаточной несущей способности [3].

Наиболее распространенными являются узлы сопряжения сборной железобетонной колонны с монолитными фундаментами при помощи анкерной группы [4], которая, как правило, состоит из анкерных болтов, устанавливаемых на этапе устройства фундамента [5-7]. При помощи данных анкерных болтов и закладной детали, установленной в тело колонны, с заранее выполненными отверстиями, происходит монтаж, выверка и надежное закрепление колонны. Таким примером является соединение с использованием системы РЕС (соединение колонн с фундаментами при помощи закладных башмаков) компании Reikko на рис.1 [8-9]. Данное соединение обладает такими преимуществами, как быстрота монтажа колонн, высокая несущая способность, а также унифицированность элементов. Однако недостатком данной системы является усложнение технических процессов на стадии производства сборной железобетонной колонн, и трудоемкость монтажа колонны.

Узловое соединение сборной железобетонной колонны с монолитным фундаментом с использованием системы РЕС состоит из следующих основных конструктивных элементов. Анкерная группа, нижние гайки, закладные башмаки с арматурой, верхние гайки, безусадочный раствор для заполнения пустоты между колонной и фундаментом.

Процесс монтажа на рис.1 с использованием системы РЕС выполняется в следующей последовательности. На этапе устройства монолитного фундамента, закладываются анкерные болты, которые могут быть объединены в общую анкерную группу для сохранения точного размера между их осями на этапе бетонирования. Непосредственно перед монтажом колонны на анкерные болты накручиваются нижние гайки, которые выверяются по высоте для точной установки колонны в проектное положение. Следующим этапом является непосредственно установка колонны, финальная выверка и затяжка верхних гаек. На последнем этапе монтажа происходит заливка базы колонны безусадочным раствором. Несмотря на то, что технологический процесс монтажа колонны является типовым, могут возникать сложности на этапе

затяжки верхних гаек. Так как верхние гайки находятся в углублениях, то угол поворота каждой гайки ограничивается 90 градусами, что приводит к увеличению времени монтажа колонны.

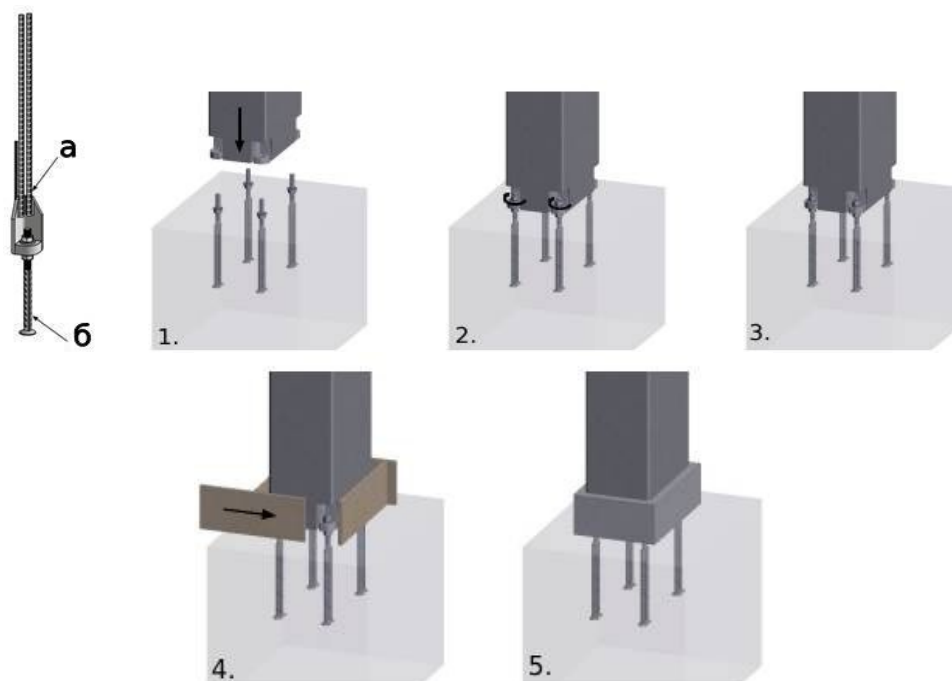


Рис. 1. Узловое соединение PEC компании Peikko и стадии монтажа колонны с применением системы PEC [8]: а – башмак колонны; б – анкерный болт; 1 – установка колонны на выверенные гайки; 2 – накручивание верхних гаек; 3 – затяжка верхних гаек; 4 – заливка базы колонны безусадочным раствором; 5 – готовое соединение (иллюстрация авторов)

Fig. 1. The Peikko PEC nodal connection and the installation stages of the column using the PEC system [8]: a – the shoe of the column; b – the anchor bolt; 1 – installing the column on the adjusted nuts; 2 – screwing on the upper nuts; 3 – tightening the upper nuts; 4 – filling the base of the column with a non-shrink mortar; 5 - finished connection (illustration by the authors)

Основные недостатки системы PEC компании Peikko, проявляются на стадии производства колонны. Последовательность установки системы PEC, которая предусмотрена производителем. Башмаки PEC помещаются в армирование колонны и крепятся через пластины основания к стенкам опалубки с помощью пустообразователей. Установочные допуски башмака в поперечном направлении колонны ± 2 мм. После бетонирования колонны коробки удаляются с башмаков, и образовавшиеся полости проверяют на отсутствие следов бетона. Пустообразователи представляют из себя крепежные элементы, применяемые для формирования карманов для анкерных болтов. Для всех типов башмаков колонн имеются отдельные шаблоны, учитывающие так же расположение башмака в сечении колонны. Пустообразователи позволяют разместить башмаки и прикрепить их к стенке опалубки. Барашковый винт M16, комплектующийся уплотнительным кольцом, совпадающим по размеру с отверстием под болт в башмаке, служит для закрепления. Уплотнительное кольцо позволяет закрепить башмак в проектом положении на стенке опалубки. Необходимо постоянно проводить защитные мероприятия (например - чистка), для увеличения срока службы. Из выше изложенного следует, что процесс установки башмаков PEC сопровождается большим количеством дополнительных работ, которые негативно сказываются на времени изготовления колонн. Так же требуются дополнительные комплектующие, такие как: пустообразователи, вкладыши, ленты на рис.2. При массовом производстве колонн данные комплектующие будут требовать частой замены, что отразится на стоимости колонн.

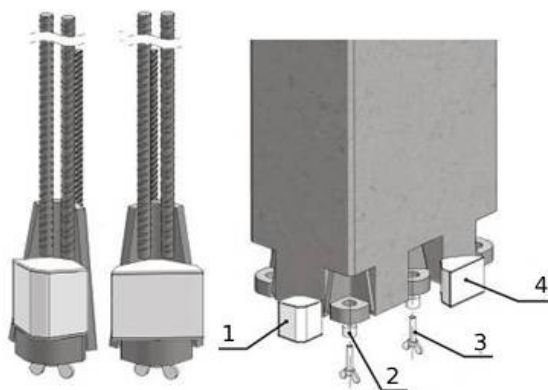


Рис. 2. Монтаж башмаков и специальной опалубки системы PEC [8]: 1 – угловой короб; 2 – вкладыш; 3 – прижимной винт; 4 – центральный короб (иллюстрация авторов)
 Fig. 2. Installation of the shoes and special formwork of the PEC system [8]: 1 – corner box; 2 – insert; 3 – clamping screw; 4 – central box (illustration by the authors)

Так же к недостаткам можно отнести то, что данная система подразумевает использование типовых башмаков, под определенные размеры колонн. Соответственно, могут возникать сложности в назначении защитных слоев для рабочей арматуры [10], при использовании колонн в агрессивной окружающей среде или при повышенных требованиях к пожаростойкости колонн.

Целью работы является создание узлового соединения сборной железобетонной колонны с монолитными фундаментами посредством использования закладной детали, а также технико-экономическое сравнение узла с традиционными конструктивными решениями.

Объектом исследования является соединение железобетонной колонны с монолитными фундаментами.

Предмет исследований – узловое соединение сборных железобетонных колонн с монолитными фундаментами при помощи закладной детали, предложенной специалистами Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Задачами исследования являются:

1. рассмотрение основных узловых соединений колонн с фундаментами, выявление преимуществ и несовершенств.
2. исследование технико-экономических показателей конструктивных решений узловых соединений на основе расчета типового каркаса.

2. Материалы и методы

Специалистами Казанского государственного архитектурно-строительного университета по запросу завода изготовителя сборных железобетонных колонн было разработано узловое соединение сборных колонн с монолитными фундаментами при помощи закладной детали, которое должно сократить сроки производства, трудозатраты и принести положительный экономический эффект, с сохранением несущей способности узла (рис. 3).

Последовательность монтажных работ по установке колонны с применением закладной детали. На стадии производства работ по возведению монолитных фундаментов закладывается анкерная группа, которая состоит из анкерных болтов и объединяющих планок. Планки могут быть выполнены из стальных пластин или из стальных уголков. Данные планки объединяют анкерные болты в одну общую группу, для удобства монтажа и исключения смещения размеров между осями болтов на стадии бетонирования фундамента. Длина, диаметр, форма анкерных болтов подбирается расчетом на стадии проектирования [11]. После того, как бетон фундамента набирает необходимую прочность [12], начинается процесс монтажа колонн с закладными деталями. Изначально устанавливаются нижние выверочные гайки, которые выдерживают проектное положение. Далее происходит установка колонны, которая опирается на выверочные гайки. Производится финальная выверка колонны с привлечением геодезиста.

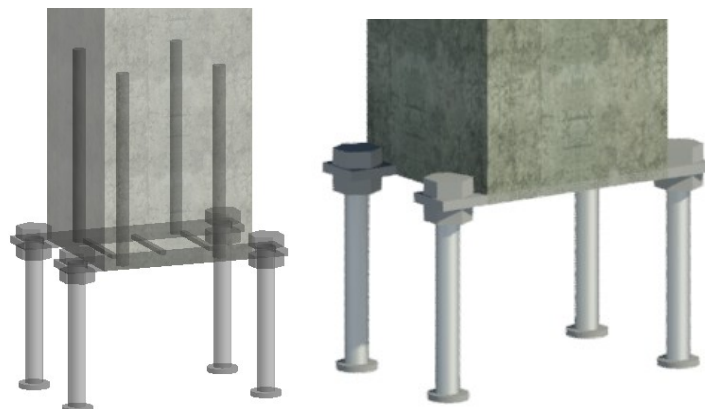


Рис. 3. Узловое соединение сборных железобетонных колонн с фундаментами с применением закладной детали (иллюстрация авторов)
 Fig. 3. Nodal connection of precast reinforced concrete columns with foundations using embedded parts (illustration by the authors)

После выверки производится установка верхних гаек, которые затягиваются на требуемую величину момента затяжки. Так же для обеспечения большей надежности болтового соединения устанавливаются еще одни контящие гайки. После производится омоноличивание базы колонны, которое выполняется безусадочным мелкофракционным бетоном. При этом есть возможность предусмотреть омоноличивание базы на большую величину по высоте, для защиты болтового соединения от агрессивных факторов окружающей среды.

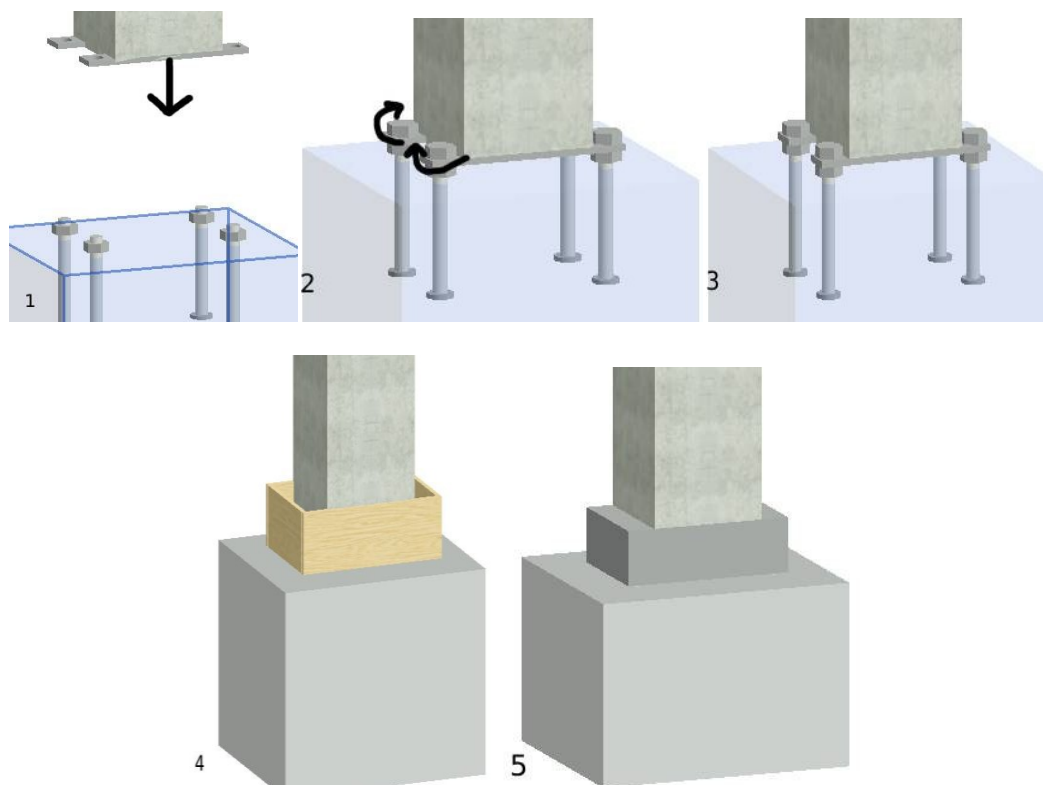


Рис. 4. Стадии монтажа колонны с применением закладной детали разработанной специалистами КГАСУ: 1 – установка колонны на выверенные гайки; 2 – накручивание верхних гаек; 3 – затяжка верхних гаек; 4 – заливка базы колонны безусадочным раствором; 5 – один из вариантов готового соединения (иллюстрация авторов)

Fig. 4. The stages of column installation using the embedded part developed by KSUAE specialists: 1 – installing the column on verified nuts; 2 – screwing on the upper nuts; 3 – tightening the upper nuts; 4 – filling the base of the column with a non-shrink mortar; 5 - one of the options for the finished connection (illustration by the authors)

Процесс производства работ на стадии изготовления колонны на заводе изготовителя. Назначаются требуемые размеры колонны по расчету и диаметр анкерных болтов. Далее производится подбор размеров и сечений закладной детали [13-14].

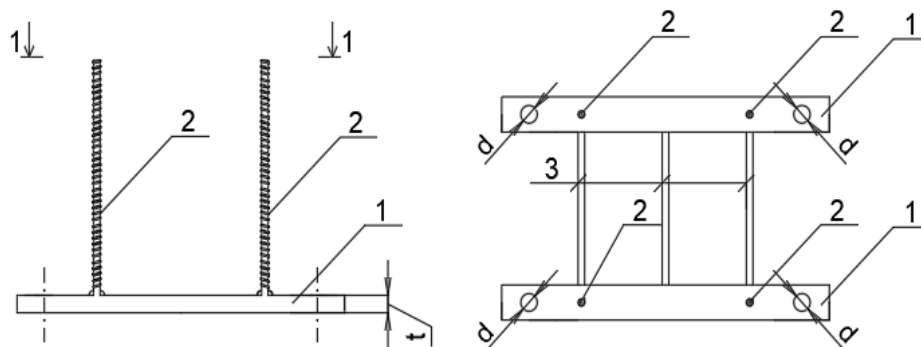


Рис. 5. Закладная деталь: 1 – стальная пластина; 2 – арматурные стержни периодического профиля; 3 – соединяющие арматурные стержни периодического профиля (иллюстрация авторов)
 Fig. 5. Embedded part: 1 – steel plate; 2 – reinforcing bars of periodic profile; 3 – connecting reinforcing bars of periodic profile (illustration by the authors)

Первоначально подбирается толщина t и размеры стальных пластин. С целью уменьшения металлоемкости закладной детали, пластина изготавливается раздельной и соединяется при помощи арматурных стрежней периодического профиля 3. В пластинах проделываются отверстия под анкерные болты. Далее производится расчет основных рабочих стержней периодического профиля, которые при помощи сварных соединений прикрепляются к пластинам [15-16]. Расчет подбирается необходимый диаметр, длина и количество рабочей арматуры [17-18]. Данная закладная деталь запроектирована таким образом, чтобы была возможность вариативного применения под различные комбинации усилий и условий работы.

Для технико-экономического сравнения узлов соединения колонн с фундаментами, будут рассмотрены два варианта (табл.1):

- а) с использованием системы РЕС башмаков компании Reikko.
- б) с использованием закладной детали, предложенной специалистами КГАСУ.

Таблица 1

Узловые соединения колонн с фундаментами	
Узловые соединения колонн с фундаментами	
а) с применением системы РЕС компании Reikko	

Окончание таблицы 1



Выбор системы РЕС обуславливается тем, что данный вариант соединения колонны с фундаментами является наиболее часто применяемой в современном строительстве.

В качестве объекта исследования использован каркас магазина Леруа Мерлен в г. Ярославль. Конструктивная схема здания включает в себя: монолитные фундаменты, колонны сборные железобетонные сечением 550x550 мм [19]. Для крепления использована система РЕС, компании Reikko. Нагрузки прикладываемые на обрез фундамента: $N=169,6$ т; $M_y=8,88$ т·м; $M_z=27,38$ т·м; $Q_y=2,841$ т; $Q_z=0,94$ т. Рабочая арматура колонны $\varnothing 25$ мм А500С.

3. Результаты и обсуждения

В готовом решении несущего каркаса торгового центра были применены башмаки РЕС 36. Башмаки устанавливаются по 4 углам колонны. Масса каждого башмака составляет 30,4 кг. Так же в данном проекте предусмотрено объединение башмаков в общую группу при помощи арматуры периодического профиля $\varnothing 8$ мм, для обеспечения сохранения проектного положения на стадии производства колонны. Общая длина дополнительных арматурных стержней 1,95 м. Итого полная масса:

$$m_{pec2} = 4 \cdot m_{pec} + m_{s2} l_{s2} = 4 \cdot 30,4 + 0,395 \cdot 1,95 = 122,4 \text{ кг}, \quad (1)$$

где m_{pec} – масса одного башмака (кг);

m_{s2} – масса одного метра арматуры $\varnothing 8$ мм (кг);

l_{s2} – длина арматурных стержней $\varnothing 8$ мм (м).

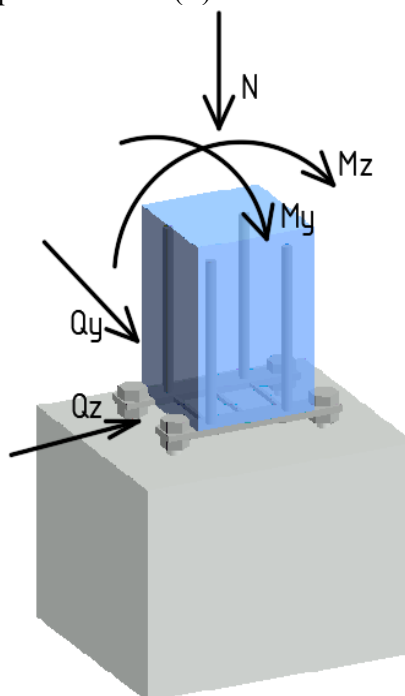


Рис. 6. Расчетная схема (иллюстрация авторов)
Fig. 6. Calculation scheme (illustration by the authors)

Расчет узла сопряжения с применением закладной детали, разработанной специалистами Казанского государственного архитектурно-строительного университета, производился путем численного моделирования соединения, а именно в программном комплексе «Ansys» [20]. В качестве исходных данных были приняты аналогичные размеры колонны, нагрузки, класс рабочей арматуры и размеры болтов анкерной группы.

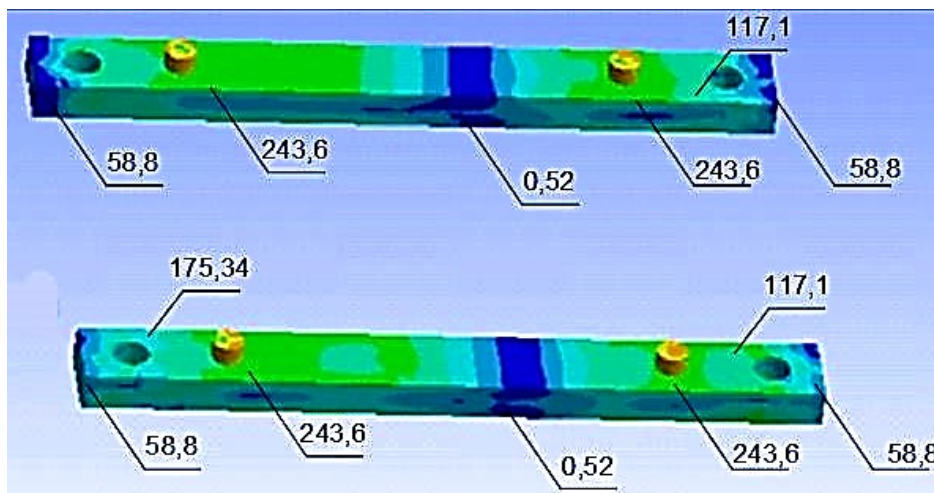


Рис. 7. Напряжения в пластинах закладной детали, МПа (иллюстрация авторов)
Fig. 7. Stresses in the plates of the embedded part, МПа (illustration by the authors)

По результатам проведенных расчетов итерационным методом, окончательно получены следующие характеристики закладной детали. Сталь пластин закладной детали С255. Размер каждой пластины 80x750x40мм. В качестве соединительной арматуры периодического профиля приняты стержни класса А500С Ø12 мм в количестве 4 шт [21]. Рабочие выпуска арматуры приняты диаметром 32 мм [22].

Расчет требуемой длины анкеровки арматуры:

$$R_{bond} = \eta_2 \eta_1 R_{bt} = 2,5 \cdot 1 \cdot 1,4 = 3,5 \text{ МПа}, \quad (2)$$

где η_1 – коэффициент, учитывающий влияние вида поверхности арматуры;
 η_2 – коэффициент, учитывающий влияние размера диаметра арматуры;
 R_{bt} – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению (МПа).

Периметр сечения арматуры по номинальному диаметру:

$$u_s = \pi d_s = 3,14 \cdot 32 = 100,48 \text{ мм}, \quad (3)$$

где d_s – диаметр анкерной арматуры (мм).

Базовая (основная) длина анкеровки:

$$L_{0,an} = \frac{R_s A_s}{R_{bond} u_s} = \frac{435 \cdot 804,3}{3,5 \cdot 100,48} = 994,9 \text{ мм}, \quad (4)$$

где R_s – расчетное сопротивление арматуры класса А500С (МПа);
 A_s – площадь поперечного сечения анкеруемого стержня (мм²);
 R_{bt} – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению (МПа);
 u_s – периметр сечения арматуры по номинальному диаметру (мм).

Требуемая длина анкеровки:

$$L_{an} = \frac{\alpha L_{0,an} A_s}{A_{s,ef}} = \frac{1 \cdot 994,9 \cdot 804,3}{804,3} = 994,9 \text{ мм}, \quad (5)$$

где α – коэффициент, учитывающий влияние на длину анкеровки напряженного состояния бетона и арматуры и конструктивного решения элемента в зоне анкеровки;

$L_{0,an}$ – базовая длина анкеровки (мм);

A_s – требуемая площадь арматуры (мм²);

$A_{s,ef}$ – фактическая площадь арматуры (мм²).

Проверка конструктивных требований по величине анкеровки:

$$L_{an} = 994,9 > 15d_s = 480 \text{ мм} \text{ – условие выполняется.}$$

$$L_{an} = 994,9 > 200 \text{ мм} \text{ – условие выполняется.}$$

$$L_{an} = 994,9 > 0,3L_{0,an} = 298 \text{ мм} \text{ – условие выполняется.}$$

Конструктивные требования выполняются.

Соответственно, требуемая величина анкеровки арматуры составит: $L=995$ мм. Длину стержней округлим в большую сторону. Окончательно принимаем $L=1000$ мм.

Вычислим массу закладной детали:

$$m_{pec} = 4m_s l_s + 2m_p + 4m_{sp} l_{sp} = 4 \cdot 6,31 \cdot 1 + 2 \cdot 18,84 + 4 \cdot 0,888 \cdot 0,39 = 64,3 \text{ кг}, \quad (6)$$

где m_s – масса одного метра арматуры $\varnothing 32$ мм (кг);

l_s – длина арматуры $\varnothing 32$ мм (м);

m_p – масса одной закладной пластины (кг);

m_{sp} – масса одного метра арматуры $\varnothing 12$ мм (кг);

l_{sp} – длина арматурных стержней $\varnothing 12$ мм (м).

Определение количества операций при сборке узла на стадии монтажа готового изделия в опалубочную форму.

При использовании системы PEC: 1 – установка башмаков в проектное положение; 2 – соединение выпусков арматуры башмаков с рабочей арматурой; 3 – установка защитных коробов (пустотообразователей) на все башмаки; 4 – установка проставок на все башмаки; 5 – установка опалубки нижнего торца колонны; 6 – закручивание барашковых винтов для закрепления коробов и опалубки.

При использовании системы с закладной детали, разработанной специалистами КГАСУ: 1 – установка закладной детали в проектное положение (не требуется дополнительная выверка, так как все размеры закладной были приняты с учетом размеров колонны); 2 – соединение выпусков арматуры закладной детали с рабочей арматурой колонны; 3 – монтаж опалубки нижнего торца колонны.

Зачастую при внедрении конструкции в строительство обращают внимание не только на вес конструкции или детали, но и на технологичность, то есть трудоемкость изготовления, сборки, монтажа [23-24]. Ключевую роль играет вид соединений и количество элементов, участвующих в сборке. В табл. 2 приведены основные показатели двух различных видов соединения сборных железобетонных колонн с фундаментами.

Таблица 2
Технико-экономические показатели узлов сопряжения железобетонных колонн с фундаментами

Узел сопряжения	Вес m , кг	n , количество элементов в узле	k , количество операций при сборке	k_1 , количество операций при монтаже
Узел сопряжения с применением системы PEC компании Peikko	122,4	4	6	5
Узел сопряжения с применением закладной детали, разработанной специалистами КГАСУ	64,3	3	3	5

4. Заключение

1. Проведенный анализ конструктивных решений узловых соединений сборных железобетонных колонн показал, что на рынке строительных решений существуют часто используемые, безальтернативные, системы соединения колонн с фундаментами. Однако существуют проблемы связанные с производством колонн, в которых применяются такие системы. Эти проблемы связаны с увеличением трудоемкости производства колонн из-за большего количества операций при установке системы, так же происходит удорожание производства, вследствие применения дополнительных элементов опалубочной формы.

2. В результате обзора существующих узловых соединений сборных железобетонных колонн с фундаментами, специалистами КГАСУ было предложено собственное конструктивно-технологическое решение, которое позволило решить следующие задачи: обеспечение требуемой несущей способности соединения; уменьшение количества операций при производстве колонны; вариативность узлового соединения в зависимости от нагрузок и условий эксплуатации.

3. Проведенные исследования показали, что предложенное решение позволяет уменьшить металлоемкость производства, так же уменьшить трудоемкость производства колонны вследствие уменьшения количества операций при монтаже закладной детали в опалубочную форму в 2 раза.

Список литературы/References

1. Дыховичный Ю.А., Максименко В.А. Сборный железобетонный унифицированный каркас. М. : Стройиздат, 1985. 296с. [Dykhovichny Yu.A., Maksimenko V.A. Prefabricated reinforced concrete unified frame. M. : Stroyizdat, 1985. 296 p].
2. Serbin, S. A., Dedyukhin, P. O., Fomin, N. I. The analysis of technological parameters of precast-monolithic system with permanent formwork walls. 4th International conference on safety problems of civil Engineering critical infrastructures. Safety, 2018.
3. Peng J. L., Ho C. M., Chan S. L., Chen W. F. Stability study on structural systems assembled by system scaffolds // Journal of Constructional Steel Research. 2017. Vol. 137, P. 135–151. DOI: 10.1016/J.JCSR.2017.06.004.
4. Люблинский В.А., Миронова Ю.В. Повышение сопротивляемости штепсельного стыка колонн прогрессирующему обрушению // Строительство и реконструкция. 2022. №5. С. 57-66. DOI:10.33979/2073-7416-2022-103-5-57-66 [Lyublinskiy V.A., Mironova J.V. Increasing the resistance of the plug joint of columns to progressive collapse // Construction and reconstruction. 2022. №5 P. 57–66. DOI:10.33979/2073-7416-2022-103-5-57-66].
5. Узел соединения железобетонной колонны с фундаментом: пат. 2314392 Рос. Федерация. № 2006121832/03; заявл. 19.06.06; опубл. 10.01.08, Бюл. №1. 7 с. [The connection of the reinforced concrete column with the foundation: patent 2314392 of the Rus. Federation. № 2006121832/03; decl. 19.06.06; publ. 10.01.08. Bull. in №1. 7 p].
6. Узел соединения колонны и фундамента: пат. 163699 Рос. Федерация. № 2015154576/03; заявл. 18.12.15; опубл. 10.08.16, Бюл. №22. 2 с. [The connection of the column and the foundation: patent 163699 of the Rus. Federation. № 2015154576/03; decl. 18.12.15; publ. 10.08.16. Bull. in №22. 2 p].
7. Узел стыка сборной железобетонной колонны с фундаментом: пат. 128636 Рос. Федерация. № 2013100790/03; заявл. 09.01.13; опубл. 27.05.13, Бюл. №15. 2 с. [The connection of the prefabricated reinforced concrete column with the foundation: patent 128636 of the Rus. Federation. № 2013100790/03; decl. 09.01.13; publ. 27.05.13. Bull. in №15. 2 p].
8. Башмаки колонн ПЕС // Fastcon.ru : сайт. URL: <https://fastcon.ru/products/precast-products/column-connections/t-basmaki-kolonn-pec> (дата обращения: 16.04.2024). [Column shoes ПЕС // Fastcon.ru : site. URL: <https://fastcon.ru/products/precast-products/column-connections/t-basmaki-kolonn-pec> (reference date: 16.04.2024)].
9. Башмаки колонн НПКМ // Peikko.com : сайт. URL: <https://www.peikko.com/> (дата обращения: 16.04.2024). [Column shoes НПКМ // Peikko.com : site. URL: <https://www.peikko.com/> (reference date: 16.04.2024)].
10. Choe G., Shinohara Y., Kim G., Lee S., Lee E., Nam J. Concrete corrosion cracking and transverse bar strain behavior in a reinforced concrete column under simulated marine conditions // Appl. Sci. 2020. №5(10). DOI:10.3390/app10051794.
11. Стахов, Д. О. Обзор и сравнение методов исследования характеристик сцепления арматуры с бетоном // Молодой ученый. 2021. Вып. 23(365). С. 62- 68. [Stakhov, D. O. Review and comparison of methods for studying the characteristics of adhesion of reinforcement with concrete // Young scientist. 2021. Vol. 23 (365). P. 62-68].

12. Grassl, P., Lundgren, K., Gylltoft, K. Concrete in compression: a plasticity theory with a novel hardening law. *International Journal of Solids and Structures*. 2002. Vol. 39(20). P. 5205–5223. DOI:10.1016/S0020-7683(02)00408-0.
13. Квасников, А.А. Моделирование совместной работы арматуры различного периодического профиля с тяжелым бетоном: дис. канд. техн. наук : 05.23.01 / Квасников Анатолий Александрович. М., 2019. – 176с [Kvasnikov, A.A. Simulation of the joint operation of reinforcement of various periodic profiles with heavy concrete: dis. cand. tech. sciences: 05.23.01 / Kvasnikov Anatoly Aleksandrovich. M., 2019. – 176 p.].
14. Тамразян А.Г. Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2011. № 2–1. С. 21–27. [Tamrazyan A.G. Basic principles of risk assessment in the design of buildings and structures // MGSU Bulletin 2011. No 2–1. P. 21–27].
15. Мирсаяпов Ил.Т. Предел выносливости анкеровки арматуры // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. М.: 2016, №1. С. 37. [Mirsayapov Il.T. Endurance limit of reinforcement anchoring // Earthquake-resistant construction. Safety of structures. M.: 2016, №1. P.37-42].
16. Мирсаяпов Ил.Т. Напряженно-деформированное состояние в заделке арматуры при многократно повторяющихся нагрузках // Вестник МГСУ. М.: 2016, №5. С. 28-36. [Mirsayapov Il.T. Stress-strain state in the embedment of reinforcement under repeated loads // MGSU Bulletin.2016, №5. P.28-36].
17. Николоюкин А. Н., Ярцев В. П., Бондарев Б. А., Корнеева А. О. Моделирование прочности сцепления арматуры с бетоном на основе искусственной нейронной сети // Научный журнал строительства и архитектуры. 2019. № 2(54). С. 11-20. DOI: 10.25987/VSTU.2019.54.2.001. – EDN ISNDAO [Nikoliukin A. N., Yartsev V. P., Bondarev B. A., Korneeva A. O. Modeling the adhesion strength of reinforcement to concrete based on an artificial neural network // Scientific Journal of Construction and Architecture. 2019. No. 2 (54). P. 11-20. DOI: 10.25987/VSTU.2019.54.2.001. EDN ISNDAO].
18. Кашеварова, Г. Г. Расчетно-экспериментальное исследование процесса разрушения связей сцепления при вдавливании стержня жесткой арматуры в бетон // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2016. № 3. С. 62-75. DOI: 10.15593/perm.mech/2016.3.04. – EDN WRQTFF [Kashevarova, G. G. Calculation and experimental study of the process of destruction of adhesion bonds when a rigid reinforcement bar is pressed into concrete // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Mechanics. 2016. No. 3. P. 62-75. DOI: 10.15593/perm.mech/2016.3.04. –EDN WRQTFF]
19. Павлов В. В., Хорьков Е. В. Монолитный железобетонный каркас при реконструкции зданий // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 5. С. 94 – 98. DOI:10.23968/1999- 5571-2018-15-5-94-97[Pavlov V. V., Horkov E. V. // Bulletin of civil engineers. 2018. No. 5. P. 94 – 98. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-5-94-97]
20. Сулейманов А.М., Каюмов Р.А. Моделирование работы, старения и разрушения конструкционных полимерных композиционных материалов в условиях эксплуатации // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений: VIII-й международный симпозиум, Тамбов. 2023. С. 409–410 [Suleymanov A.M., Kayumov R.A. Modeling of operation, aging and destruction of structural polymer composite materials under operating conditions // Actual problems of computer modeling of structures and buildings: VIII International Symposium, Tambov. 2023. P. 409–410]
21. Wang, R.Z., Wang, C.Y., Lin, Y.L. Numerical Model of High Strength Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. 317(1). DOI:10.1088/1757- 899X/317/1/012069.
22. Антаков И. А. Особенности работы изгибаемых элементов с композитной полимерной арматурой под нагрузкой // Жилищное строительство. 2018. № 5. С. 15-18. [Antakov I. A. Features of the work of bent elements with composite polymer reinforcement under load // Housing construction. 2018. No. 5. P. 15-18].

23. Миронова Ю. В. Модернизация конструктивного решения горизонтального стыка плит перекрытия в безригельных каркасах с использованием бесшовных петлевидных закладных деталей // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 3 (80). С. 55-61 [Mironova Yu. V. Modernization of the design solution of the horizontal joint of the floor slabs in the beam-free frames using seamless loop-shaped embedded parts. Bulletin of Civil Engineers. 2020. No. 3 (80). P. 55-61].
24. Павлов В. В., Хорьков Е. В. Обеспечение прочности стыка «колонна – перекрытие» монолитных железобетонных конструкций при зимнем бетонировании // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 1. С. 83 – 88. DOI:10.23968/1999-5571-2018-15-1-83- 87 [Pavlov V. V., Horkov E. V. Ensuring the strength of the joint "column – intermediate slab" of monolithic reinforced concrete structures in winter concreting // Bulletin of civil engineers. 2018. No. 1. P. 83 – 88. DOI:10.23968/1999-5571-2018-15-1-83-87]

Информация об авторах

Мирсаяпов Илшат Талгатович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: mirsayapovit@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4902-6167

Гайнетдинов Ришат Габдулхаевич, кандидат технических наук, ассистент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: rishat.gajnetdinov@bk.ru, ORCID: 0000-0003-3068-3482

Салимзянов Искандер Радикович, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: iskander706@mail.ru

Information about the authors

Ilshat T. Mirsayapov, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: mirsayapovit@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4902-6167

Rishat G. Gainetdinov, candidate of technical sciences, assistant, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: rishat.gajnetdinov@bk.ru, ORCID: 0000-0003-3068-3482

Iskander R. Salimzyanov, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: iskander706@mail.ru