

Фролов К.А.,
*магистрант кафедры строительного производства Липецкий
государственный технический университет Липецк, Россия*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ КОЛОНН С ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ ЗДАНИЯ

***Аннотация:** За последнее десятилетие системы кровельных покрытий приобрели все большую и большую популярность, став одним из лучших решений, предпочитаемых инженерами-строителями, не только для расширения существующей жилой площади нынешнего строительного фонда, но и для его реконструкции за счет уменьшения количества материалов. Кроме того, решения, требующие интенсивного использования стали, являются идеальными системами для перекрытия этих существующих больших зданий из сборного железобетона из-за их легкости. Кроме того, они могут адаптироваться к существующим структурным системам, и можно подумать о нескольких структурных типологиях. Таким образом, целью данной статьи является представление трех типов конструктивных решений для кровли, основанных на интенсивном использовании стальных элементов: а) горячекатаная сталь; б) прямоугольные полые секции; в) холоднокатаные стальные профили. Кроме того, анализ численного моделирования был рассмотрен для всех трех типов надстроечных соединений колонн с железобетонным покрытием, как жестких, так и полужестких, чтобы определить оптимальное решение.*

***Ключевые слова:** существующие жилые здания, большие сборные железобетонные панели, легкая стальная конструкция, жесткие или полужесткие соединения, численное моделирование.*

***Abstract:** Over-roofing systems have achieved larger and larger popularity in the last decade, becoming one of the top solutions preferred by construction engineers,*

not only for enlarging the existing living space of the present building stock, but also for its refurbishment by reducing the amount of materials and work on site. Furthermore, steel-intensive solutions are the ideal systems for over-roofing these existing large precast concrete panel buildings due to their lightness, reversibility and clean sites. Also, they can adapt to existing structural systems and several structural typologies can be thought. Thus, the scope of this paper is to present three types of over-roofing structural solutions based on intensive use of steel elements: a) hot rolled steel; b) rectangular hollow sections; c) cold-formed steel sections. Moreover, a numerical modelling analysis was considered for all three types of over-roofing column-base connections, both as rigid or semi-rigid connection, in order to determine the optimum solution.

Keywords: *existing residential buildings, large precast reinforced concrete panels, light steel structure, rigid or semi-rigid connections, numerical modelling.*

1. Введение

Структурная реконструкция существующих зданий принимает различные формы: адаптация внутреннего пространства, создание дополнительных этажей; и реконструкция фасадов и крыши. Ремонт включает в себя улучшение герметичности и теплоизоляции. Методы, известные как «облицовка» и «кровля», создают новую оболочку здания и значительно улучшают качество здания. Стальная конструкция часто является единственным решением сложных проблем реконструкции, поскольку она сочетает в себе преимущества легких компонентов, гибкости в планировании, возможностей с большим пролетом, надежности и долговечности, с экономичностью и скоростью строительства на месте¹. Учитывая эту ситуацию, реконструкция зданий путем добавления уровня полезной жилой площади стала обычным методом увеличения существующего пространства во всем мире (см. Рисунок 1).

¹ Р.М. Лоусон, Р. Педрески, И. Фалькенфлети, С. Попо-Ола (1998). Облицовка существующих зданий с использованием легкой стали; Чрезмерная кровля существующих зданий с использованием легкой стали, Институт стального строительства.



Рисунок 1. Реконструкция кровли и облицовки

Что касается городского планирования и внешней эстетики новых этажей, то при их применении в реальности они игнорировались. Следовательно, в настоящем контексте существует большое разнообразие геометрий, объемов и эстетики для крыш и наружных облицовок даже в границах одного и того же района, что ухудшает общую визуальную картину.

2. Стальные решения для кровли

Предлагаемое решение для кровли было рассмотрено для здания, построенного в период 1962-1975 гг., здание было проверено в соответствии с существующими стандартами, оно оказалось устойчивым ко всем условиям нагрузки, и в более ранних статьях были рассмотрены различные стратегии реконструкции для увеличения внутреннего жилого пространства. Эти исследования показали, что, удалив верхние теплоизоляционные слои с террасы, добавление дополнительного пола под кровлей не повлияет на сопротивление или устойчивость бетонной конструкции. Таким образом, сталь была материалом, выбранным для этого исследования кровли, из-за его легкости.

Система кровли была проанализирована с использованием программы конечных элементов ETABS 9.7. Была рассмотрена следующая геометрия: высота 3 м, пролет 9,6 м и 7 продольных рам различной длины от 4,2 до 3,3 м. Чтобы иметь однородный вид, были сохранены пролеты и внутреннее помещение здания (см. Рисунок 2).

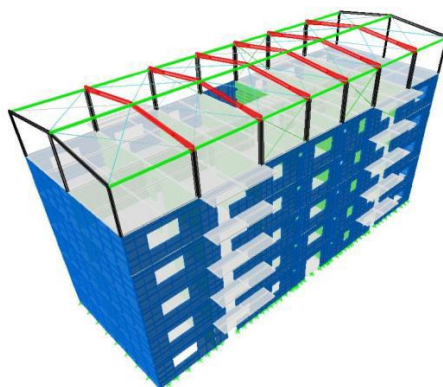


Рисунок 2. Кровля (3D вид)

Были выбраны три типа решений для кровли, основанные на интенсивном использовании стали: (а) Решение для кровли, основанное на использовании горячекатаных профилей (балки и колонны); (б) решение для кровли, основанное на использовании прямоугольных полых секций; Решение для кровли, основанное на использовании холодногнутых профилей.

Что касается базового соединения, закрепленные / полужесткие и жесткие решения были приняты во внимание во всех трех случаях. В первом случае (а) колонна соединена с бетонной плитой через 2 прямоугольные стальные пластины, меньшую с размерами, подобными профилю, приваренные к большему в основании. Первая плита соединена с фундаментной плитой двумя рядами болтов, расположенных вдоль стенки профиля, в то время как вторая плита прикрепляет колонну к бетонной плите последнего этажа с помощью 4 болтов, размещенных в ее углах, как показано на рисунке 3а.

В третьем случае (см. Рисунок 3б) колонны также соединены с базовой бетонной плитой через прямоугольную стальную плиту, но в этом случае для обеспечения надлежащей устойчивости требовалось боковое соединение. Таким образом, U-профиль был помещен между двумя холодногнутыми С-профилями. Соединение осуществляется с помощью болтов, как сбоку, так и у основания. Облицовка стен размещается на чердаке и поддерживается каркасом из холоднокатаного профиля С-профиля.

Во всех трех случаях соединение колонны с основанием усиливается угловым профилем, размещенным под последней плитой пола и соединенным со

стальными плитами выше с помощью ряда из двух болтов, и соответственно с последней пластиной также двумя болтами (см. Рисунок 3).

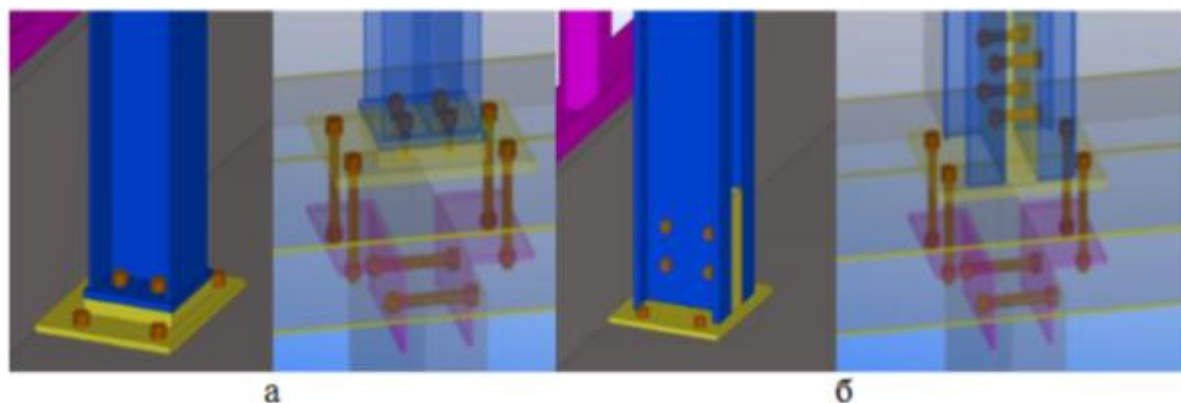


Рисунок 3. Соединение между колоннами и основанием, случай 1 и случай 3

3. Численный анализ

Чтобы доказать эффективность базовых соединений, выбранных для исследования, было выполнено численное моделирование с использованием программного обеспечения FE ABAQUS 6.7². Было рассмотрено три случая в полужестком и жестком решении, как показано на рисунке 4.

Элемент SHELL типа S4R, с 4 узлами, пониженная интеграция, 6 степеней свободы на узел использовался только для моделирования холодногнутых сечений в третьем случае, тогда как для остальных разделов во всех случаях используется только элемент BRICK типа C3D8R, с 8 узлами, уменьшенная интеграция, 6 степеней свободы на узел.

Общий контакт между элементами был выбран как жесткое соединение в нормальном направлении и без трения в поперечном направлении. Были также наложены некоторые ограничения для моделирования сварочного контакта между пластинами.

Максимальная поперечная нагрузка смещения 200 мм была наложена на колонну для получения максимальных напряжений соединений и кривых силы-смещения.

² ABAQUS / Стандартная версия 6.7-1. Провиденс, RI: Dassault Systemes, <http://www.simulia.com/>, 2007.

Первая числовая модель (см. Рис. 4а) представляет собой полужесткое соединение с двумя опорными пластинами, соединенными двумя группами болтов, то есть М16 и М20. Колонна представляет собой горячекатаный профиль №18. Первая пластина приварена к контуру к соединению базовой плиты, а болты, которые соединяют колонну, - это болты с уплотненной головкой.



а) полужесткий горячекатаный профиль б) полужесткая прямоугольная труба



в) полужесткий холоднодеформированный г) Жесткий горячекатаный профиль



д) Жесткая прямоугольная полая труба е) Жесткая холодногнутая секция

Рисунок 4. Полужесткие и жесткие базовые соединения

Все соединения связано с существующим зданием через плиту основания длиной 390 мм и толщиной 25 мм и через угловые профили. Для жесткого соединения (см. Рисунок 4б), деталь упрощена за счет исключения промежуточных опорных плит и болтов с потайной головкой, только исключены сварные пластины и болты с уплотнительной головкой и добавлены дополнительные ребра жесткости высотой 150 мм и толщиной 10 мм.

Вторая численная модель (см. Рис. 4б и 4е) также анализировала, как полужесткое и жесткое соединение, но только с одной базовой пластиной. Колонна представляет собой прямоугольную полу секцию 220x220x8 мм. Размеры базовой пластины 460x420x25 мм. Болты и угловые профили имеют те же размеры, что и в предыдущем случае; только расстояние болтов адаптируется к новым условиям. Жесткое соединение следует той же схеме, что и в предыдущем случае.

Третья численная модель (см. Рис. 4в и 4е) также анализируется в обоих случаях как полужесткое и жесткое соединение с одной нижней пластиной. Колонна представляет собой холодногнутую секцию из двух С-образных профилей, высотой 300 мм и толщиной 2 мм. Два ряда болтов М16 были использованы вдоль полотна. Геометрические характеристики опорной плиты и профили угловых такие же, как в предыдущем случае. Кроме того, металлическая секция коробки толщиной 6 мм и высотой 150 мм была помещена между двумя секциями колонны, чтобы улучшить пропускную способность соединения. Для жесткого соединения были добавлены дополнительные ребра жесткости и дополнительные болты для соединения фланцев профилей.

Предполагалось, что стальной материал, используемый в соединении, является упругим и пластичным.

Кроме того, бетон был введен в упругие пластичные элементы, как видно на рисунке 5³.

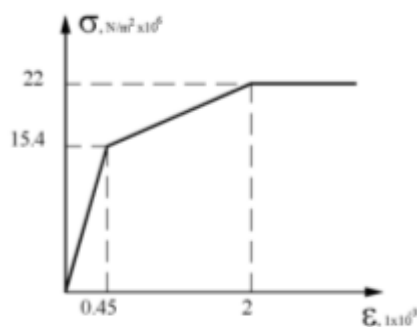


Рисунок 5. Упругопластический график модели бетона

Были получены следующие результаты: (1) первые три соединения были смоделированы как полужесткие, но в основном имеют закрепленное поведение; (2) производительность трех случаев была получена при боковой нагрузке; (3) после численного анализа был определен механизм передачи нагрузки; (4) были указаны слабые компоненты, которые, как предполагается, дают в первую очередь; (5) были получены пластические усилия и деформации; (6) максимальные напряжения для полужесткого горячекатаного соединения были зафиксированы в уплотненных болтах; (7) сварная пластина полужесткого горячекатаного профиля представляет собой небольшую пластическую деформацию (см. рисунок 6а); (8) максимальные напряжения соединения прямоугольной полый секции были замечены в болтах и в соответствующих отверстиях (см. Рисунок 6 б); (9) максимальные напряжения для холоднодеформированного соединения были указаны в верхнем фланце секции по направлению нагрузки, а также в отверстиях полотна (см. Рисунок 6 в); (10) для третьего случая (жесткое решение) пластические напряжения достигают максимума в высоте полотна; кроме того, явление повреждения происходит в верхнем фланце (см. рисунок 6е).

³ В. Коротков, Д. Попрыгин, К. Ильин, С. Рыжов (2004). Определение динамической реакции в бетонных полах гражданских сооружений атомной электростанции при случайных падениях тяжелых предметов. ABAQUS User's Conference, 2004.

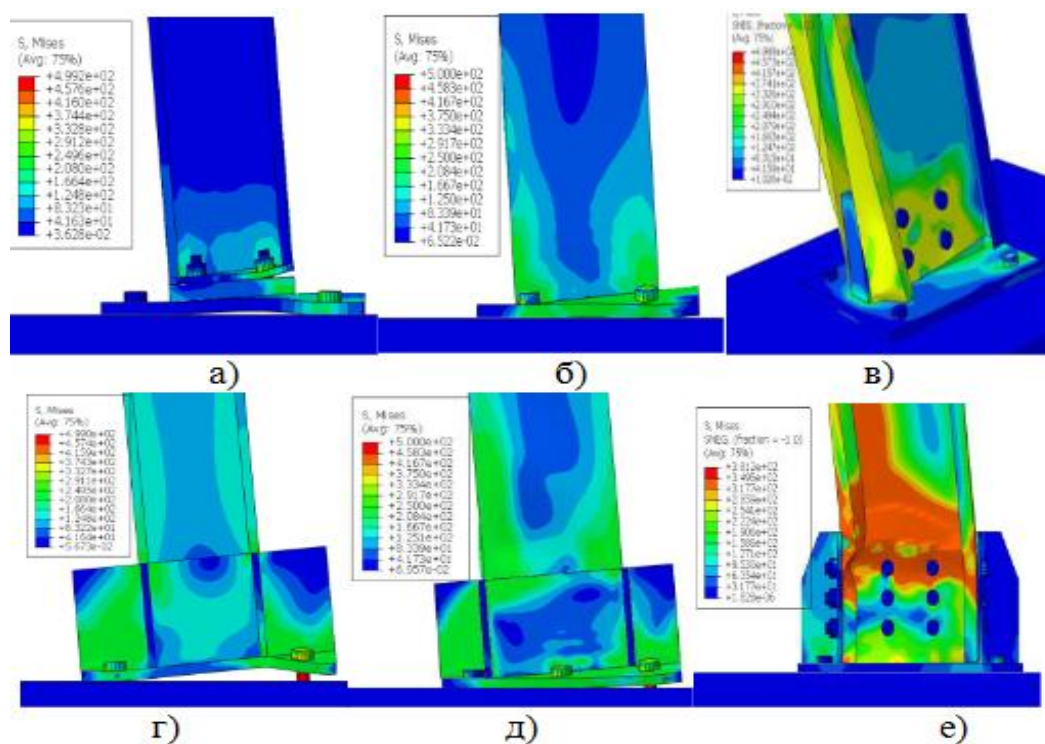


Рисунок 6. Пластические деформации в полужестких и жестких соединениях.
 а) полужесткий горячекатаный профиль; б) полужесткая прямоугольная полая секция; в) полужесткий холоднодеформированный профиль; г) Жесткий горячекатаный профиль; д) Жесткая прямоугольная полая секция; е) Жесткая холодногнутая секция.

Бетонные полы не достигли пластичности даже в условиях полной нагрузки; напряжения все еще находятся в области упругости, представляя только локальные эффекты в зоне взаимодействия болтового отверстия (см. рисунок 7).

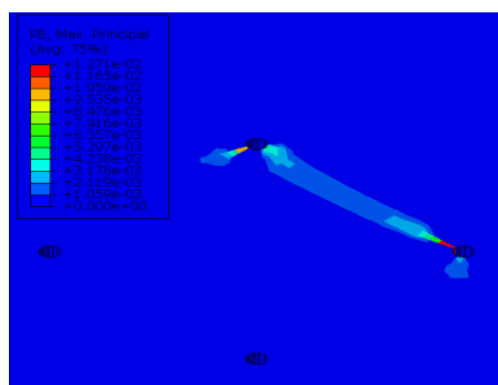


Рисунок 7. Напряжения в бетоне на болтовом отверстии

4. Выводы

Исследование, представленное в этой статье, показывает возможности пристройки кровли к существующим зданиям с использованием стали. Численный анализ показывает следующее: (1) решения для интенсивного использования стали являются идеальными системами для перекрытия существующих крупных сборных железобетонных панельных зданий из-за их легкости; кроме того, они могут адаптироваться к существующим структурным системам, и можно подумать о нескольких структурных типологиях; (2) численная программа показывает, что все типы соединений, представленные в полужестких и жестких решениях, могут выдерживать значительную нагрузку до разрушения; (3) однако главная задача остается минимизировать структурное вмешательство в существующую бетонную конструкцию. Наконец, будет проведен дополнительный численный анализ и экспериментальная работа для проверки предложенных решений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Р.М. Лоусон, Р. Педрески, И. Фалькенфлети, С. Попо-Ола (1998). Облицовка существующих зданий с использованием легкой стали; Чрезмерная кровля существующих зданий с использованием легкой стали, Институт стального строительства.
2. ABAQUS / Стандартная версия 6.7-1. Провиденс, RI: Dassault Systemes, <http://www.simulia.com/>, 2007.
3. В. Коротков, Д. Попрыгин, К. Ильин, С. Рыжов (2004). Определение динамической реакции в бетонных полах гражданских сооружений атомной электростанции при случайных падениях тяжелых предметов. ABAQUS User's Conference, 2004.