

УДК 624.012.35

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРУБОБЕТОНА В СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТАХ КАРКАСА НАДСТРОЙКИ ЭТАЖЕЙ МАЛОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,
САВИЦКИЙ Н. В.², д. т. н., проф.,
НИКИФОРОВА Т. Д.³, д. т. н., доц.,
РАЗУМОВА О. В.⁴, к. т. н., проф.
ГРОСМАН С. А.^{5*}, аспир.,
КОТОВ Н. А.⁶, к. т. н.

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 470866, e-mail: postmaster@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

² Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

³ Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: manchich@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

⁴ Кафедра архитектуры, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (097) 8691544, e-mail: o.v.razumova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8342-2636

^{5*} Секция "Вычислительная строительная механика", Кафедра гражданского строительства и охраны окружающей среды, Империял Колледж Лондон, Лондон SW7 2AZ, Великобритания, тел. +38 (067) 3967302, e-mail: s.grosman15@ic.ac.uk, ORCID ID: 0000-0003-4474-7838

⁶ Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: kotokoto@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

Аннотация. Представлены результаты оценки вариантов конструктивного решения каркаса надстройки этажей малоэтажного жилого здания. **Цель работы.** Оценка эффективности применения труботетона для увеличения этажности малоэтажных жилых зданий на основе анализа ресурсоёмкости вариантов конструктивных решений каркаса надстройки этажей. **Методика.** Предложен метод надстройки каркаса дополнительных этажей реконструируемого малоэтажного жилого здания без отселения жильцов. Суть метода заключается в устройстве вдоль стен существующего здания на самостоятельных фундаментах металлических порталных рам каркаса, на которые опираются фермы, ригели, связи и другие конструкции, воспринимающие нагрузки от возводимой надстройки. **Результаты.** Разработано конструктивное решение каркаса надстройки этажей малоэтажного жилого здания. Рассмотрены варианты каркаса с применением монолитного железобетона, металлического каркаса и каркаса из труботетонных элементов. На основе анализа напряженно-деформированного состояния элементов конструкций каркаса выполнен подбор сечений и сравнительный анализ расхода материалов на его возведение. **Научная новизна.** На основе выполненных исследований установлено, что труботетонные конструкции отвечают требованиям рациональной совместной работы стали и бетона. **Практическая значимость.** Возможность увеличения этажности малоэтажных жилых зданий при их реконструкции без отселения жильцов.

Ключевые слова: труботетон; надстройка этажей; реконструкция; сжатые элементы; жилые здания; каркас

ВИКОРИСТАННЯ ТРУБОБЕТОНУ В СТИСНЕНИХ ЕЛЕМЕНТАХ КАРКАСА НАДБУДОВИ ПОВЕРХІВ МАЛОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,
САВИЦКИЙ М. В.², д. т. н., проф.,
НИКИФОРОВА Т. Д.³, д. т. н., доц.,
РАЗУМОВА О. В.⁴, к. т. н., проф.
ГРОСМАН С. О.^{5*}, аспир.,
КОТОВ М. О.⁶, к. т. н.

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад „Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, вул. Чернишевського 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38(0562) 470866, e-mail: postmaster@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

² Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 470298, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

³ Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: manchich@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

⁴ Кафедра архітектури, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (097) 8691544, e-mail: o.v.razumova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8342-2636

^{5*} Секція "Обчислювальна будівельна механіка", Кафедра цивільного будівництва та охорони навколишнього середовища, Імперіал Коледж Лондон, Лондон SW7 2AZ, Великобританія, тел. +38 (067) 3967302, e-mail: s.grosman15@ic.ac.uk, ORCID ID: 0000-0003-4474-7838

⁶ Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: kotokoto@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

Анотація. Наведено результати оцінювання варіантів конструктивного рішення каркаса надбудови поверхів малоповерхового житлового будинку. **Мета роботи.** Оцінювання ефективності застосування трубобетону для збільшення поверховості малоповерхових житлових будинків на основі аналізу ресурсоемності варіантів конструктивних рішень каркаса надбудови поверхів. **Методика.** Запропоновано метод надбудови каркаса додаткових поверхів малоповерхового житлового будинку, що реконструюється без відселення мешканців. Суть методу полягає в улаштуванні уздовж стін існуючої будівлі на самостійних фундаментах металевих порталних рам каркаса, на які спираються ферми, ригелі, в'язі та інші конструкції, що приймають навантаження від конструкції надбудови. **Результати.** Розроблено конструктивне рішення каркаса надбудови поверхів малоповерхового житлового будинку. Розглянуто варіанти каркаса із застосуванням монолітного залізобетону, металевого каркаса і каркаса з трубобетонних елементів. На основі аналізу напружено-деформованого стану елементів конструкцій каркаса виконано підбір перерізів і порівняльний аналіз витрат матеріалів на його зведення. **Наукова новизна.** На основі виконаних досліджень встановлено, що трубобетонні конструкції відповідають вимогам раціональної спільної роботи сталі і бетону. **Практична значимість.** Можливість збільшення поверховості малоповерхових житлових будинків у разі їх реконструкції без відселення мешканців.

Ключові слова: трубобетон; надбудова поверхів; реконструкція; стиснуті елементи; житлові будівлі; каркас

APPLICATION OF PIPE-CONCRETE IN COMPRESSED ELEMENT OF FRAME SUPERSTRUCTURAL FLOORS OF A LOW-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS

BOL'SHAKOV V.I.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
SAVYTSKYI M.V.², *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
NIKIFOROVA T.D.³, *Dr. Sc. (Tech.)*,
RAZUMOVA O.V.⁴, *Ph. D., Prof.*,
GROSMAN S.O.^{5*}, *postgraduate student*,
KOTOV M.A.⁶, *Ph. D., assistant*

¹ Department of Materials and Materials Processing, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevskogo str., 24-a, Dnipro, 49600, Ukraine, tel.+38 (0562) 470866, e-mail: postmaster@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

² Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevskogo str., 24-a, Dnipro, 49600, Ukraine, tel.+38 (0562) 470298, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

³ Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevskogo str., 24-a, Dnipro, 49600, Ukraine, tel.+38 (0562) 470298, e-mail: manchich@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

⁴Department of Architecture, State Higher Educational Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevskogo str., 24-a, Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (097) 8691544, e-mail: o.v.razumova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8342-2636

^{5*} Research postgraduate in computational structural mechanics, Department of Civil & Environmental Engineering, Imperial College London, London SW7 2AZ, United Kingdom, tel. +38 (067) 3967302, e-mail: s.grosman15@ic.ac.uk, ORCID ID: 0000-0003-4474-7838

⁶ Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, Chernyshevskogo str., 24-a, Dnipro, 49600, Ukraine, tel.+38 (0562) 470298, e-mail: kotokoto@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

Введение

Для решения жилищного вопроса в Украине необходимо каждый год возводить около 17,5 млн м² жилья. Одним из важнейших направлений в решении жилищной проблемы, кроме нового строительства, является реконструкция и модернизация существующего жилого фонда.

На протяжении 50 лет прошедшего столетия главное внимание в стране уделялось наращиванию объемов жилищного фонда, на что затрачивалось более 85% материально-финансовых ресурсов страны.

Недостаточность финансирования сферы капитального ремонта и реконструкции привело к накоплению объема жилищного фонда со значительным физическим и моральным износом.

Типовые 4–5-этажные здания проектировались и строились с применением неэффективных теплоизоляционных материалов, поэтому на сегодняшний день теплотехнические характеристики ограждающих конструкций эксплуатируемых жилых зданий не отвечают современным требованиям. Также необходимо отметить их моральный износ: планировочные решения, внешний облик зданий, низкие эксплуатационные характеристики по тепло-, гидро- и шумоизоляции. В то же время, жилые здания первого поколения возводились как здания первой категории капитальности с продолжительностью эксплуатации 100...125 лет. Вследствие этого значительная часть существующих жилых зданий имеет существенные запасы несущей способности, что подтверждается проводимыми многочисленными обследованиями и изысканиями.

В Украине общая площадь 4–5-этажных зданий 1950–1970 гг. застройки составляет около 72 млн м², поэтому, с учётом масштабности проблемы, снос 4–5-этажного жилья не может являться альтернативой реконструкции.

По оценке специалистов, стоимость сноса здания с последующей утилизацией отходов составляет в среднем около 2 000 грн за 1 м² площади существующего здания, при этом на транспортировку, утилизацию, захоронение отходов затрачиваются средства на уровне 40...50 % строительства новых зданий той же площади. Таким образом, реализация мер по реконструкции и модернизации жилищного фонда не только позволит поддерживать его в удовлетворительном техническом состоянии, но и предполагает значительный социально-экономический эффект. При реконструкции не требуется нового отвода земли, прирост дополнительной общей площади в 1,5 раза дешевле, чем строительство на новой территории, на 25...40 % снижаются расходы материальных ресурсов и

расходы на создание инженерной инфраструктуры, на 40...50 % сокращаются расходы на отопление и горячее водоснабжение.

Как показывает мировая практика, реконструкция существующего жилого фонда является наиболее рациональным способом его использования и решения жилищной проблемы при ограниченных финансовых ресурсах государства. Реконструкция зданий позволяет улучшить потребительские качества физически и морально изношенных жилых зданий, продлить их жизненный цикл, снизить эксплуатационные затраты, увеличить жилую площадь на застроенной территории, существенно улучшить архитектурный облик и среду обитания существующей жилой застройки.

Наиболее эффективным решением данной проблемы является концепция увеличения этажности малоэтажных жилых зданий путем надстройки дополнительных этажей.

Цель и задачи

Оценка эффективности применения трубобетона для увеличения этажности малоэтажных жилых зданий на основе анализа ресурсоёмкости вариантов конструктивного решения каркаса надстройки этажей.

Методика

Предложен метод надстройки каркаса дополнительных этажей реконструируемого малоэтажного жилого здания без отселения жильцов. Суть метода заключается в устройстве вдоль стен существующего здания на самостоятельных фундаментах металлических порталных рам каркаса, на которые опираются фермы, ригели, связи и другие конструкции, воспринимающие нагрузки от возводимой надстройки.

Основной материал и результаты исследований

Совмещение нового жилищного строительства и реконструкции индустриального эксплуатируемого жилья может происходить несколькими путями.

Один из них – метод надстройки реконструируемого здания, включающий повышение этажности в совокупности с уширением корпуса здания с каждой стороны.

Основы этой концепции разработаны Приднепровской государственной академией строительства и архитектуры (д. т. н. В. И. Большаков) и Киевским национальным университетом строительства и архитектуры (д. т. н. М. М. Жербин) [1–4].

Суть метода состоит в том, что вдоль стен существующего здания на самостоятельные фундаменты устанавливаются порталные металлические рамы каркаса, на которые опираются фермы, ригели, связи и другие конструкции, воспринимающие нагрузки от возводимой надстройки.

Этажность реконструируемых жилых зданий определяется с учётом действующих норм плотности застройки, соблюдения требований инсоляции квартир и архитектурно-планировочной совместимости с окружающей застройкой. Первые этажи реконструируемых жилых зданий, как правило, предусматриваются для размещения объектов культурно-бытового обслуживания населения и офисов.

Внутренние инженерные сети старой части жилого здания из-за физического износа и несоответствия новым требованиям демонтируются.

Жизнеспособность концепции подтверждена научными исследованиями и разработкой проектов надстройки ряда жилых зданий высотой до 10 этажей. В концепции обосновывалось применение стального каркаса вместо традиционного железобетонного.

Однако, несмотря на все свои преимущества перед монолитным железобетонным каркасом (сокращение сроков строительства; снижение веса здания; сокращение расхода бетона и металла; снижение стоимости строительства; изготовление элементов строительного каркаса в заводских условиях; практически «всепогодность» монтажа), стальной каркас имеет некоторые недостатки: неэффективная работа на сжатие из-за потери общей и местной устойчивости, подверженность коррозии, чрезвычайно низкая огнестойкость, относительно высокая стоимость металлопроката.

В связи с этим для современного строительства характерен поиск новых сочетаний стали и бетона.

Во многих странах широкое распространение получил такой вид стале-железобетонных конструкций как трубобетон, история которого, изучение конструктивных и строительно-технологических свойств, преимуществ и недостатков, применение в самых различных областях строительства начинаются с возведением первого сооружения 1931 года [5].

Ранее рассмотрена тема актуальности использования трубобетона для колонн, сжатых элементов ферм и подкосов в каркасе надстройки [6–8].

Для обеспечения совместной работы стали бетона в трубобетонном элементе посвящено значительное количество научных исследований. Существуют различные способы и технологии предлагаемые для решения этой проблемы [9].

В полной мере требованиям рациональной совместной работы и технико-экономической эффективности отвечают трубобетонные конструкции.

Трубобетонный элемент – это, в зависимости от целевого назначения, стальная труба – круглая, квадратная или прямоугольная, наполненная бетоном. Эффективность трубобетона определяется тем, что внешняя стальная оболочка, выступая в роли продольного и поперечного армирования, одновременно воспринимает возникающие в конструкции усилия по всем направлениям и под любым углом. Кроме того, при продольном сжатии трубобетонного элемента, реактивное боковое давление, действующее со стороны оболочки на бетонное ядро, создает для него благоприятные условия работы – объемное сжатие. В результате прочность бетона при сжатии возрастает примерно в 1,5...1,8 раза, а вместо ожидаемой усадки происходит набухание бетона в трубе и его расширение, что создает благоприятные условия для его работы.

Причиной разбухания является отсутствие влагообмена между бетоном и внешней средой [10]. Сложное нагружение бетонного сердечника в трубобетоне, возможное благодаря наличию бокового давления, не только задерживает возникновение трещин отрыва, но и препятствует их развитию. Вследствие бокового давления процесс деформаций в трубобетоне без нарушения связности бетона может продолжаться продолжительное время. Этим объясняются многие свойства бетона, в том числе повышенная несущая способность и большая деформативность.

В качестве малоэтажного здания-представителя для разработки конструктивного решения надстройки каркаса дополнительных этажей принято пятиэтажное трёхсекционное жилое здание, расположенное в г. Днепр. Каркас надстройки этажей представляет собой двенадцатиэтажную этажерку, вертикальными несущими элементами которой являются двухветвевые колонны, соединенные между собой в П-образные многоярусные рамы системой трубобетонных ферм, ригелей и связей, обеспечивающих пространственную жесткость здания в поперечном направлении (рис. 1). В продольном направлении рамы связаны между собой фермами, которые одновременно служат ограждением лоджий (рис. 2). Шаг рам каркаса принят 6,3...8,4 м и увязан с расположением простенков в существующем здании.

Двухветвевые колонны приняты из круглых труб. Фермы и связи запроектированы из профильных прямоугольных и квадратных труб, заполненных бетоном. Благодаря совместной работе с бетоном трубы предохранены от потери местной устойчивости. Кроме того, заполнение бетоном элементов каркаса значительно повышает их огнестойкость, защищает внутреннюю поверхность стальной трубы от коррозии, увеличивает изгибную жесткость, устойчивость против местного продавливания и механических повреждений.

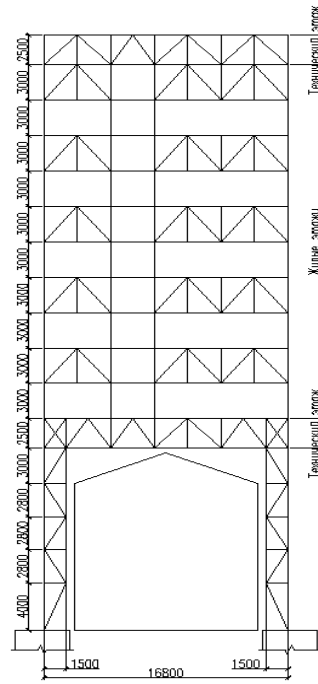


Рис. 1. Схема рам каркаса надстройки етажів /
Fig. 1. Scheme of the superstructure frame floors building

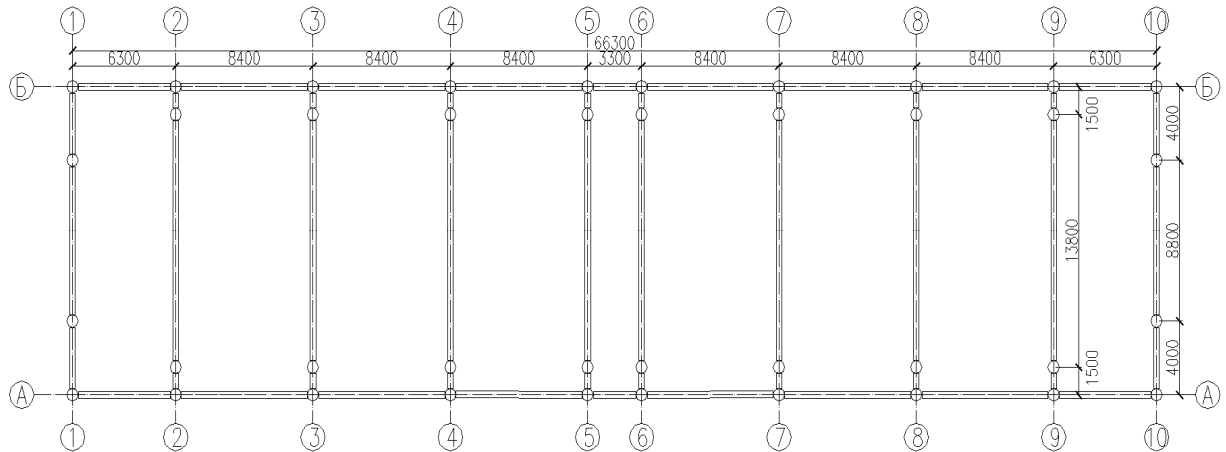


Рис.2. Схема расположения рам каркаса надстройки в плане здания / Fig. 2. Scheme the location of the superstructure frame in the plan building

Изготовление трубобетонных элементов, в том числе и заполнение стальных труб бетоном, возможно как в стационарных условиях, так и на строительной площадке. Опыт строительства зданий с элементами из трубобетона показал, что в целях сокращения транспортных расходов целесообразно вертикальные элементы, имеющие диаметр более 300 мм, бетонировать на стройплощадке. Экспериментами доказано, что при бетонировании в вертикальной трубе бетон не расслаивается [10; 11].

К существенным преимуществам трубобетонных элементов можно отнести простоту их изготовления, высокую эксплуатационную надежность и сравнительно небольшую площадь поперечного сечения.

Для несущих трубобетонных конструкций применяются трубы из углеродистой качественной конструкционной и низколегированной сталей, удовлетворяющих требованиям соответствующих ГОСТ или технических условий.

При выборе марки стали следует учитывать, что применяемые в трубобетонных конструкциях трубы должны обладать хорошей свариваемостью. Трубы для элементов трубобетонных конструкций, воспринимающих большие усилия, следует выполнять из низколегированных сталей, обладающих повышенными механическими характеристиками.

Для снижения стоимости трубобетона рекомендуется применять трубы, изготовленные электросварным способом, которые значительно дешевле аналогичных бесшовных труб.

Все элементы трубобетонного каркаса выполняются в заводских условиях, а их монтаж на строительной площадке занимает не более 30 %, от общей трудоёмкости изготовления каркаса.

От способа приложения нагрузки зависит несущая способность и деформативность трубобетонных элементов.

Элементы, в которых нагрузка приложена на всё сечение или только на бетон, имеют почти одинаковую несущую способность, в то время как элементы, в которых нагрузка приложена только на трубу, имеют несущую способность ниже примерно на 40 %. Это свидетельствует о том, что для трубобетонных конструкций очень важно правильно передать внешнюю нагрузку на элемент.

Жесткость и неизменяемость надстройки в горизонтальной плоскости обеспечивают перекрытия, которые осуществляют передачу и распределение усилий от ветровых нагрузок на систему ферм, связей и колонн.

Применение трубобетонных конструкций при строительстве новых зданий, в пристройках и надстройках реконструируемых зданий позволяет:

– более 70 % трудоёмкости работ по устройству каркаса выполнить в стационарных условиях – «под крышей»;

– гарантировать качество изготовления и монтажа всех элементов каркаса колонн, ферм и связей на уровне машиностроительной точности;

– сделать монтаж каркаса практически независимым от погодных условий;

– при монтаже каркаса надстройки в зимних условиях избежать необходимости в электропрогреве, в изготовлении и установке закладных деталей;

– исключить так называемый человеческий фактор при производстве работ на строительной площадке по изготовлению монолитного каркаса: точность установки арматуры, выдерживание защитного слоя, обеспечение качества стыковки арматуры и т. д.;

– исключить появление трещин в конструктивах с большим объёмом бетона;

– исключить необходимость в технологических перерывах для начала возведения последующего этажа, пока конструкции нижележащего не наберут минимально необходимую прочность;

– при возведении каркаса на стройплощадке обеспечить вдвое меньшее количество профессионально подготовленных рабочих, чем при устройстве монолитного каркаса.

Оценка эффективности применения трубобетонных элементов для увеличения этажности малоэтажных жилых зданий выполнена на основе анализа ресурсоёмкости вариантов конструктивных решений каркаса надстройки этажей. Рассматривались следующие варианты конструктивного решения каркаса надстройки:

1. Возведение каркаса надстройки этажей из трубобетонных элементов

Каркас надстройки состоит из двухветвевых колонн круглого сечения, фермы и связи запроектированы, из профильных прямоугольных и квадратных труб, сталь С255. Металлические элементы каркаса заполнены бетоном класса С 20/25.

В каркасе из трубобетонных элементов для соединения колонны с ригелем и связью разработан оригинальный шарнирный узел типа «шип–паз».

«Шип» является опорным столиком колонны и представляет собой составное тавровое сечение из горизонтального листа с отверстием по диаметру трубы, который после установки в проектное положение на колонне обваривается по всему периметру соприкосновения с трубой. Затем в сквозную прорезь, выполненную в трубе, устанавливается вертикальный лист (стенка тавра) с последующей его приваркой к горизонтальному листу и колонне. В вертикальном листе, разделяющем трубу на две половины, предусмотрены отверстия, позволяющие бетону беспрепятственно заполнять весь объём трубы. Одновременно вертикальный лист опорного столика является элементом, обеспечивающим совместность работы бетонного ядра и стальной обоймы.

2. Возведение каркаса надстройки этажей из монолитного железобетона

Для элементов каркаса принят бетон класса С 20/25, класс рабочей арматуры – А 400 С, класс поперечной арматуры – А240 С.

3. *Возведение каркаса надстройки этажей из металла*

Металлический каркас состоит из элементов составного сечения, сталь С255.

Для рассмотренных вариантов в каркасе надстройки перекрытия выполняются из сборных многпустотных предварительно напряженных плит, имеющих шпонки на боковых поверхностях. Замоноличенные раствором шпонки воспринимают сдвигающие касательные усилия, возникающие между настилами при работе жесткого диска перекрытия. Обеспечение передачи усилий между элементами и перераспределение локально приложенных нагрузок на соседние плиты исключает «клавишный» эффект, присущий конструкциям перекрытий из сборных плит без шпонок на боковой поверхности.

В статическом отношении жесткий диск перекрытия представляет собой единую систему, в которой настилы и связаны друг с другом продольными линейными шарнирами. Через эти линейные шарниры передаются только поперечные и продольные усилия. За счет применения предварительно напряженных элементов перекрытия

повышается жесткость перекрытия (уменьшаются абсолютные величины прогибов), а также снижается вероятность неравномерных деформаций и, тем самым, улучшаются условия совместной работы настилов в перекрытиях.

Способность работать на сдвиг в составе диска перекрытия элементы настила приобретают после твердения раствора во всех швах.

По сравнению с монолитным железобетонным перекрытием перекрытие из сборных многпустотных предварительно-напряженных плит позволяет более чем в два раза сократить расход бетона и стали на 1 м² общей площади здания.

Для исключения в процессе строительства динамического воздействия на реконструируемое здание, в том числе и на грунты основания, а также окружающую застройку, фундаменты надстройки приняты из сборных железобетонных свай сечением 35×35 см, погружаемых методом задавливания.

Подбор сечений рассмотренных вариантов каркаса надстройки этажей выполнен на основе анализа напряженно-деформированного состояния элементов каркаса. Расчеты выполнялись на действующие нагрузки и воздействия в соответствии с требованиями норм проектирования [12–14]. Расчетная модель каркаса надстройки этажей малоэтажного жилого здания показана на рисунке 3.

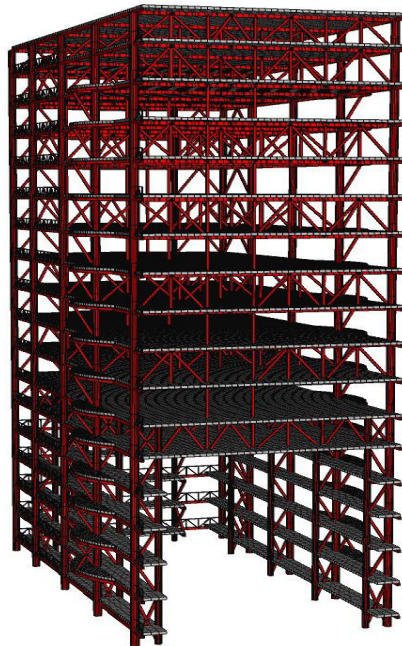


Рис. 3. 3D модель каркаса надстройки этажей /
Fig. 3. 3D model of the superstructure frame floors

Расчётная схема каркаса надстройки этажей здания представлена в виде конечноэлементной пространственной модели. Работа элементов каркаса (колонн, ригелей перекрытия и покрытия и раскосов) моделируется универсальным пространственным стержневыми конечными элементами.

В расчетной схеме для моделирования плит перекрытия используются элементы оболочки, в связи с тем, что сборные плиты перекрытия, объединённые монолитными шпонками, образуют жесткий диск перекрытия и в них возникают усилия N_x , N_y и τ_{xy} .

Для моделирования узлов сопряжения плит с ригелями использовался конечный элемент, моделирующий упругую связь между узлами. Моделирование эксцентриситета при соединении поясов ферм и колонн (на величину половины сечения колонны) выполнялось через жесткие вставки в направлении местных осей. Узлы сопряжения связей колонн и поясов ферм принимались шарнирными.

Статический расчёт элементов рам каркаса надстройки здания выполнен на основные сочетания нагрузок и воздействий с учётом соответствующих коэффициентов сочетания нагрузок.

Статический расчёт выполнялся с помощью ПК «LIRA SAPR». В результате расчёта были

получены максимальные расчётные сочетания усилий в сечениях колонн, балок и раскосов, по которым выполнены подбор сечений и проверки сечений элементов каркаса по первой и второй группам предельных состояний.

На основе анализа полученных результатов расчетов выполнен сравнительный анализ расхода материалов (металла, бетона и арматуры) на возведение каркаса надстройки этажей реконструируемого малоэтажного жилого здания для рассмотренных вариантов конструктивного решения.

Расход материалов на возведение колонн каркаса надстройки этажей приведен в таблице 1.

Таблица 1

Расход материалов на возведение колонн каркаса надстройки этажей / Consumption of materials for the construction of floors superstructure frame columns

Материал	Площадь сечения колонны, м ²	Площадь металла, м ²	Площадь бетона, м ²	Расход металла, %	Расход бетона, %
Трубобетон	0,312	0,0195	0,292	100	100
Железобетон	0,300	0,0204	0,300	105	103
Металл	0,0630	0,0630	0,000	323	0

Сравнение технико-экономических показателей металлических, железобетонных и трубобетонных колонн показывает, что экономия стали при трубобетонном исполнении колонн каркаса по сравнению с металлическими составляет до 56 %, стоимость уменьшается почти на 74 %, а приведенные затраты снижаются на 62 %. Масса трубобетонных конструкций по сравнению с железобетонными уменьшается до 83 %, что, в свою очередь, облегчает их транспортирование и монтаж.

Научная новизна и практическое значение

Разработано конструктивное решение каркаса надстройки этажей малоэтажного жилого здания для увеличения этажности при их реконструкции без отселения жильцов.

На основе выполненных исследований установлено, что трубобетонные конструкции отвечают требованиям рациональной совместной работы стали и бетона.

Выводы

В условиях кризиса и обострения конкуренции на внешнем рынке всё более актуальным становится увеличение внутреннего потребления отечественной металлопродукции. Одним из основных

потребителей металлопродукции могут стать жилищно-гражданские объекты, реконструируемые методом надстройки этажей.

Рассмотрены варианты каркаса надстройки с применением монолитного железобетона, металлического каркаса и каркаса из трубобетонных элементов.

На основе анализа напряженно-деформированного состояния элементов конструкций каркаса выполнен подбор сечений и сравнительный анализ расхода материалов на его возведение.

Анализ сравнения материалоемкости колонн, выполненных в трубобетонном, металлическом и железобетонном вариантах, подтвердил перспективность использования трубобетонных конструкций в надстройках реконструируемых зданий.

Для снижения стоимости трубобетона рекомендуется применять трубы, изготовленные электросварным способом, которые значительно дешевле аналогичных бесшовных труб.

Все элементы трубобетонного каркаса выполняются в заводских условиях, что ведет к сокращению сроков возведения каркаса реконструируемых зданий в 1,5...2 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жербін М. М. Нова концепція реконструкції та модернізації існуючих житлових будинків / М. М. Жербін, В. І. Большаков // Будівництво України. – 1998. – № 2. – С. 27–32.
2. Основы формообразования стальных каркасов многоэтажных и высотных зданий : монография / [В. И. Большаков, М. М. Жербин, О. В. Разумова]. – Днепропетровск : ПГАСА, 2003. – 124 с.
3. Большаков В. И. Использование высокопрочных сталей бейнитного класса в строительных металлоконструкциях / В. И. Большаков // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2002. – Вып. 15. – Ч.1. – С. 27–32.
4. Большаков В. И. Анализ материалоёмкости отечественных и зарубежных жилых и гражданских зданий с различными конструктивными решениями / В. И. Большаков, М. М. Жербин, Н. А. Швеца // Будівництво України. – 1997. – № 1. – С. 21–26.
5. Разумова О. В. Трубобетонный каркас – рациональный выбор при проектировании высотных зданий / О. В. Разумова, И. Н. Могилевцева // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – № 1–3. – С. 45–53.
6. Стороженко Л. И. Трубобетонные конструкции : монография / Л. И. Стороженко. – Київ : Будівельник, 1978. – 134 с.
7. Изгибаемые трубобетонные конструкции : монография / [Л. И. Стороженко, В. И. Ефименко, П. И. Плахотный]. – Киев : Будівельник, 1994. – 156 с.
8. Сталезалобетонные конструкции : монография / [Л. И. Стороженко, А. В. Семко, В. И. Ефименко]. – Киев : Четверта Хвиля, 1997. – 245 с.
9. Большаков В. И. Инновационная технология строительства жилых и гражданских зданий с применением каркаса из трубобетонных элементов / В. И. Большаков, Н. В. Савицкий, О. В. Разумова, Л. И. Котова, Н. А. Котов, Б. А. Медгауз, С. А. Гросман // Новини науки Придніпров'я. – 2011. – № 3. – С. 131–136.
10. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном : монография / [А. И. Кикин, Р. С. Санжаровский, В. А. Труль]. – Москва : Стройиздат, 1974. – 146 с.
11. Семко О. В. Ймовірнісні аспекти розрахунку сталезалобетонних конструкцій : монографія / О. В. Семко. – Київ : Сталь, 2004. – 318 с.
12. Державні будівельні норми України ДБН В.2.6-160-2010. Конструкції будівель і споруд. Сталезалобетонні конструкції. Основні положення. – Надано чинності 2011-11-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
13. Державні будівельні норми України ДБН В.2.6-98-2009. Конструкції будівель і споруд. Бетонні та залобетонні конструкції. Основні положення. – Надано чинності 2011-06-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
14. Державні будівельні норми України ДБН В.2.6-163-2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Основні положення. – Надано чинності 2011-12-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с.

REFERENCES

1. Zherbin M.M. and Bol'shakov V.I. *Nova kontseptsiya rekonstruktsiyi ta modernizatsiyi isnuyuchykh zhytlovykh budynkiv* [The new concept of reconstruction and modernization of existing residential buildings]. *Budivnytstvo Ukrayiny* [Construction of Ukraine]. 1998, no. 2, pp. 27–32. (in Ukrainian).
2. Bol'shakov V.I., Zherbin, M.M. and Razumova O.V. *Osnovyi formoobrazovaniya stalnykh karkasov mnogoetazhnykh i vyisotnykh zdaniy* [Basics of shaping steel-framed multi-storey and high-rise buildings]. Dnepropetrovsk: PSACEA Publ., 2003, 124 p. (in Russian).
3. Bol'shakov V.I. *Ispolzovanie vyisokoprochnykh staley beynitnogo klassa v stroitelnykh metalokonstruktsiyah* [The use of high strength steels of bainite class of metal constructions]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering]. 2002, no. 15, pp. 27–32. (in Russian).
4. Bol'shakov V.I., Zherbin, M.M. and Shvets N.A. *Analiz materialoYomkosti otechestvennykh i zarubezhnykh zhilykh i grazhdanskih zdaniy s razlichnyimi konstruktivnyimi resheniyami* [Analysis of the material intensity of domestic and foreign residential and civil buildings with a variety of design solutions]. *Budivnytstvo Ukrayiny* [Construction of Ukraine]. 1997, no. 1, pp. 21–26. (in Russian).
5. Razumova O.V. and Mogilevtseva I.N. *Trubobetonnnyj karkas – racional'nyj vybor pri proektirovanii vyisotnykh zdaniy* [Pipe-concrete frame – a rational choice in the design of high-rise buildings]. *Visnik Pridniprovsk'koj derzhavnoi akademii budivnictva ta arhitekturi* [Bulletin of the Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2012, no. 1–3, pp. 45–53. (in Russian).
6. Storozhenko L.I. *Trubobetonnnye konstruksii* [Pipe-concrete constructions]. Kiev : Budivelnyk Publ., 1978, 134 p. (in Russian).
7. Storozhenko L.I., Efimenko V.I. and Plahotnyiy P.I. *Izgibaemye trubobetonnnye konstruksii* [With bendings pipe-concrete constructions]. Kiev : Budivelnyk Publ., 1994, 156 p. (in Russian).
8. Storozhenko L.I., Semko A.V. and Efimenko V.I. *Stalezhelezobetonnnye konstruksii* [Steel reinforced concrete structures]. Kiev : Chetverta Khvylya Publ., 1997, 245 p. (in Ukrainian).
9. Bol'shakov V.I., Savitskiy N.V., Razumova O.V., Kotova L.I., Kotov N.A., Medgauz B.A. and Grosman S.A. *Innovacionnaya tehnologiya stroitel'stva zhilyh i grazhdanskih zdaniy s primeneniem karkasa iz trubobetonnnykh elementov* [The innovative construction of residential and public buildings using the framework of the pipe-concrete elements]. *Novini nauki Pridniprov'ya* [Science News Dnieper]. 2011, no. 3, pp. 131–136. (in Russian).
10. Kikin A.I., Sanzharovskiy R.S. and Trul V.A. *Konstruksii iz stalnykh trub, zapolnennykh betonom* [Construction of steel pipes filled with concrete]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1974, 146 p. (in Russian).
11. Semko O.V. *Imovirnisni aspekty rozrakhunku stale zalobetonnykh konstruksiy* [Probabilistic aspects of calculating Steel-concrete structures]. Kiev : Stal' Publ., 2004, 318 p. (in Ukrainian).

12. *DBN V.2.6-160-2010. Konstruktsiyi budivel' i sporud. Stalezalizobetonni konstruktsiyi. Osnovni polozhennia.* [State Building Codes V.2.6-160-2010. Construction of buildings and built. Steel reinforced concrete structures. Fundamental regulations]. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy Publ., 2011, 55 p. (in Ukrainian).

13. *DBN V.2.6-98-2009. Konstruktsiyi budivel' i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsiyi. Osnovni polozhennia.* [State Building Codes V.2.6-98-2009. Construction of buildings and built. Concrete and reinforced construction. Fundamental regulations]. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy Publ., 2011, 71 p. (in Ukrainian).

14. *DBN V.2.6-163-2010. Konstruktsiyi budivel' i sporud. Stalevi konstruktsiyi. Osnovni polozhennia.* [State Building Codes V.2.6-163-2010. Construction of buildings and built. Steel construction. Fundamental regulations]. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy Publ., 2011, 127 p. (in Ukrainian).

Статья рекомендована к публикации д-ром техн. наук, проф. Т. С. Кравчуновской (Украина); д-ром техн. наук, проф. Н. В. Шпирько (Украина)

Поступила в редколлегию 01.09.2016

Принята к печати 03.09.2016