

EDN: ZPPPTW

УДК 624.012.45:725.3

Е. А. ДМИТРЕНКО, А. С. ВОЛКОВ, В. Д. ШВЕЦОВ, Д. Ю. СЛЫКОВ, А. В. ХАРА

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация

ИННОВАЦИОННОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ МАЛОЙ ЭТАЖНОСТИ ИЗ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА

Аннотация. В данной статье выполнен анализ существующих конструктивных решений для панельных зданий, приведены физико-механические характеристики легкого высококачественного бетона, используемого в данном исследовании. Разработаны конструктивные решения для быстровозводимого здания с применением сборных железобетонных элементов, при относительно невысокой стоимости для возведения малоэтажных зданий с применением сборных многослойных железобетонных стеновых панелей и плит перекрытия (покрытия) из легкого высококачественного модифицированного бетона, предлагаемых к дальнейшему внедрению при восстановлении жилого фонда нашего региона. Выполнен анализ методики расчета стыков элементов для крупнопанельного здания, а так же напряженно-деформированного состояния (НДС) основных конструктивных элементов быстровозводимого здания по результатам вариантного статического расчета здания с учетом применения современных высококачественных бетонов нового поколения на основе сырьевой базы Донбасса.

Ключевые слова: строительные конструкции, сборный железобетон, крупнопанельные конструкции, высококачественный легкий бетон.

ВВЕДЕНИЕ

Компоненты панельного дома, представляющие собой крупные железобетонные элементы, изготавливают на домостроительных комбинатах. По качеству любые изделия, изготовленные в заводских условиях с должным техническим контролем, всегда будут отличаться в положительную сторону от изделий, произведенных прямо на стройплощадке, особенно в условиях разрушенной инфраструктуры Донбасса. При строительстве жилых домов во многих случаях используются именно заранее изготовленные на заводах блоки или панели. Такие здания (малоэтажные и здания средней этажности) быстрее строятся с возможностью быстрой привязки готовых типовых проектов и решений практически в любых условиях строительной площадки [9, 10, 11]. По своим потребительским характеристикам, технико-экономическим показателям и скорости монтажа крупнопанельные здания являются наиболее эффективными, что и стало определяющим фактором при выборе типа возводимых зданий в г. Мариуполь малой и средней этажности новой жилой застройки.

АКТУАЛЬНОСТЬ

В последние десятилетия все более широкое применение получают современные высококачественные материалы и бетоны с повышенными значениями физико-механических характеристик [1, 2, 3, 4, 8], которые необходимо более широко использовать в современном строительстве.

Целью исследования является повышение надежности при строительстве крупнопанельных зданий, что требует применение более качественных современных материалов, совершенствования и развития методики и подхода при расчете таких зданий, а так же разработки новых конструктивных решений при их проектировании и строительстве.



ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

К достоинствам легких высокопрочных бетонов можно отнести [1, 2, 3, 4, 8]:

- более низкая материалоемкость в сравнении с обычным тяжелым бетоном (снижение расхода бетона и арматуры, снижение массы готовых конструкций);
- уменьшение поперечного сечения, или увеличение длины пролетов для изгибаемых конструкций (при постоянной несущей способности);
- повышенная коррозионная и износостойкость, в том числе в агрессивных средах;
- более высокая водо- и газонепроницаемость за счет низкого содержания капиллярных пор.

Повышение прочности при сжатии в легких бетонах определенной средней плотности базируется на повышении прочности, плотности и жесткости матрицы строительного раствора [5]. Пористые заполнители вследствие своей способности к влагообмену с цементным тестом в большей мере, чем плотные заполнители, влияют на процессы структурообразования. Это находит отражение в том, что более низкий модуль упругости пористого заполнителя и улучшенная контактная зона вокруг зерен вследствие их пористой поверхности способствует снижению концентрации напряжений между цементным камнем и заполнителем, что впоследствии уменьшает количество трещин в раннем возрасте бетона [6].

Используемые в работе характеристики легкого высококачественного бетона класса по прочности на сжатие В60 были приняты на основании результатов исследований д. т. н., проф. Н. М. Зайченко и к. т. н., доц. С. В. Лахтарыны (ФГБОУ ВО «ДОННАСА») [1, 2, 4, 8] со следующими характеристиками: прочность бетона при сжатии $R_b = 59,4$ МПа, начальный модуль упругости $E = 36,8 \cdot 10^3$ МПа, предельная сжимаемость при кратковременных испытаниях $\varepsilon_b = 188 \cdot 10^{-5}$ МПа, деформации усадки $\varepsilon_{\text{сд}} = 22,8 \cdot 10^{-5}$ м, коэффициент поперечных деформаций $\mu = 0,22$.

Для осуществления статического расчета физической модели бескаркасного здания необходима идеализация ее до расчетной схемы. В работе принята пространственная расчетная схема с представлением панелей в виде системы пластинок, как наиболее точно описывающая работу и взаимодействие конструкций здания, реализованная с применением метода конечных элементов (МКЭ), реализованного в программном комплексе (ПК) «Лири-САПР».

Для моделирования платформенного стыка в ПК (рис. 1) стеновые панели и перекрытие представляют в виде конечных оболочечных элементов с их геометрическими размерами и жесткостными характеристиками. Для моделирования растворных швов и связей по закладным деталям использован конечный элемент КЭ-55. Расчетная схема платформенного стыка в ПК «Лири-САПР» представлена на рис. 2.

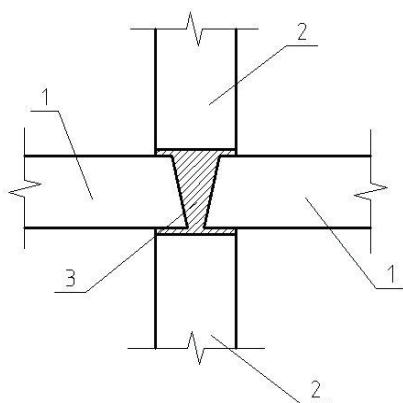


Рисунок 1 – Платформенный стык панельного здания:
1 – перекрытие; 2 – стеновая панель; 3 – растворный шов.

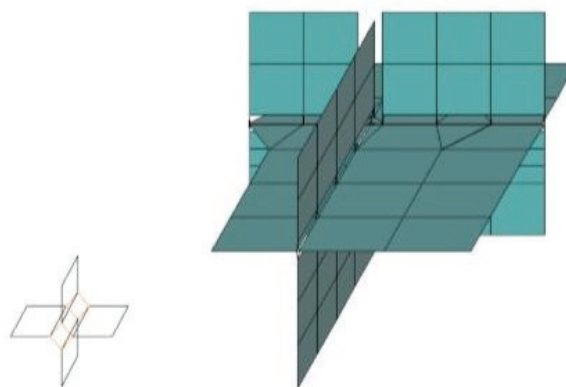


Рисунок 2 – Модель платформенного стыка с использованием КЭ-55.

Предварительный расчет жесткостных характеристик, моделирующих стыки панелей, на примере платформенного стыка выполнен по следующей методике.

Коэффициент податливости стыка находим по формуле:

$$\lambda = \left(\lambda'_r + \lambda''_r + \frac{h_p}{E_p} \right) \cdot \frac{A_{cm}}{A_f}, \left[\frac{\text{ММ}^3}{\text{Н}} \right], \quad (1)$$

где A_{cm} – площадь платформенного стыка;
 h_p – толщина плиты перекрытия;
 E_p – начальный модуль упругости бетона;
 A_f – площадь участков стыка в пределах плит перекрытия, через которые передается сжимающее усилие;
 λ'_r, λ''_r – коэффициенты податливости при сжатии верхнего и нижнего растворяющих швов.

При среднем значении сжимающих напряжений в растворяющем шве $\sigma_r < 1,15R^{2/3}$

$$1,5 \cdot 10^3 R^{2/3} \cdot h; \text{ при } 1,15R^{2/3} < \sigma_r < 2R^{2/3} \quad \lambda = 5 \cdot 10^3 R^{2/3} h_p,$$

где R_r – кубиковая прочность раствора (МПа);
 h_r – толщина растворяющего шва (мм).

Коэффициент податливости каждой i -той связи определяется по формуле:

$$\lambda_i = \lambda_r + h_p / (2E_p). \quad (2)$$

Жесткость Z в вертикальном направлении может быть найдена по формуле (3) или (4):

$$z_i = A_{pl} \cdot (h_r + 0,5H_p) / \lambda_i, \quad (3)$$

$$z_i = A_{pl} \cdot (h'_r + h''_r + h_p) / (\lambda_i \cdot n), \quad (4)$$

где h_r – толщина верхнего или нижнего растворяющего шва;
 h'_r, h''_r – толщина верхнего и нижнего растворяющего шва соответственно;
 A_{pl} – площадь соответствующего опорного участка плиты перекрытия;
 n – количество связей;
 h_p – толщина плит перекрытия.

Сдвиговая жесткость по длине горизонтального стыка:

$$X_i = Y_i = G \cdot A_{pl} / n, \quad (5)$$

где G – модуль сдвига раствора, определяемый согласно СП, как для мелкозернистого бетона класса, соответствующего прочности раствора.

Жесткость стыка рассчитывается по выражению:

$$S = (h'_m + h''_m + h_{pl}) / \lambda_{c,pl}. \quad (6)$$

Применение многослойных железобетонных панелей позволяет возводить здание в кратчайшие сроки благодаря готовности монтируемых элементов и минимизации «мокрых» процессов на строительной площадке.

Разработанное здание представляет собой двухэтажный индивидуальный жилой дом (коттедж) прямоугольной формы в плане с размерами $9,2 \times 14,4$ м и высотой этажей 3 м. Архитектурно-планировочное решение представлено на рис. 3.

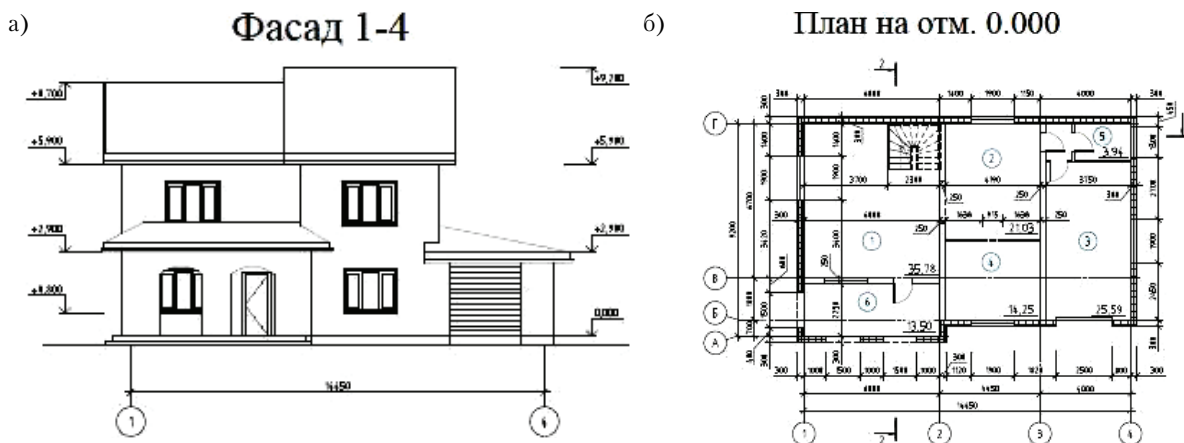


Рисунок 3 – Архитектурно-планировочное решение коттеджа (план и фасад).

Расчет здания выполнялся в программном комплексе «Лира-САПР» (рис. 4).

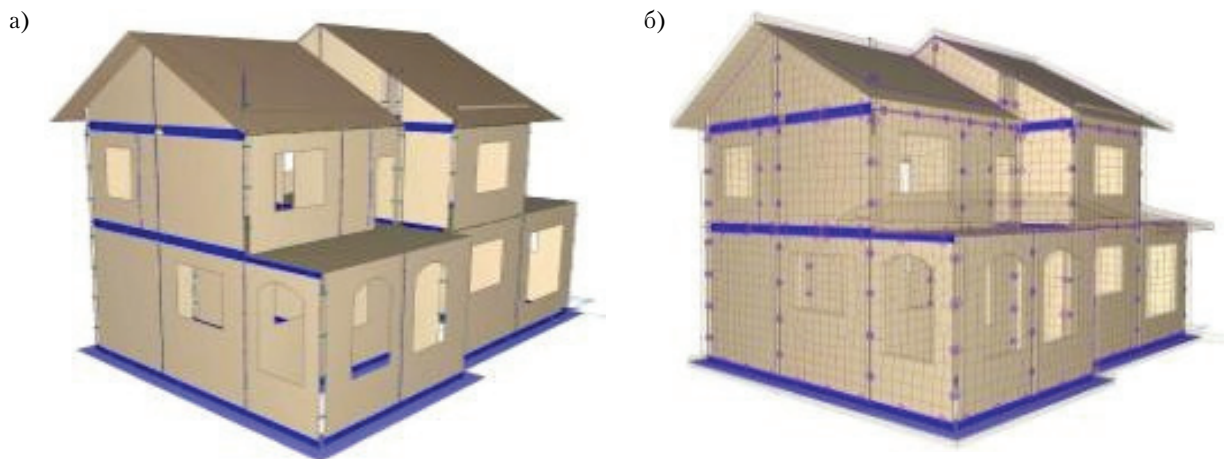


Рисунок 4 – Аналитическая модель в препроцессоре «САПФИР» (а) и конечно-элементная модель в ПК «Лира-САПР» (б).

По результатам статического расчета в ПК «Лира-САПР» получены усилия в проектируемых элементах (рис. 5).

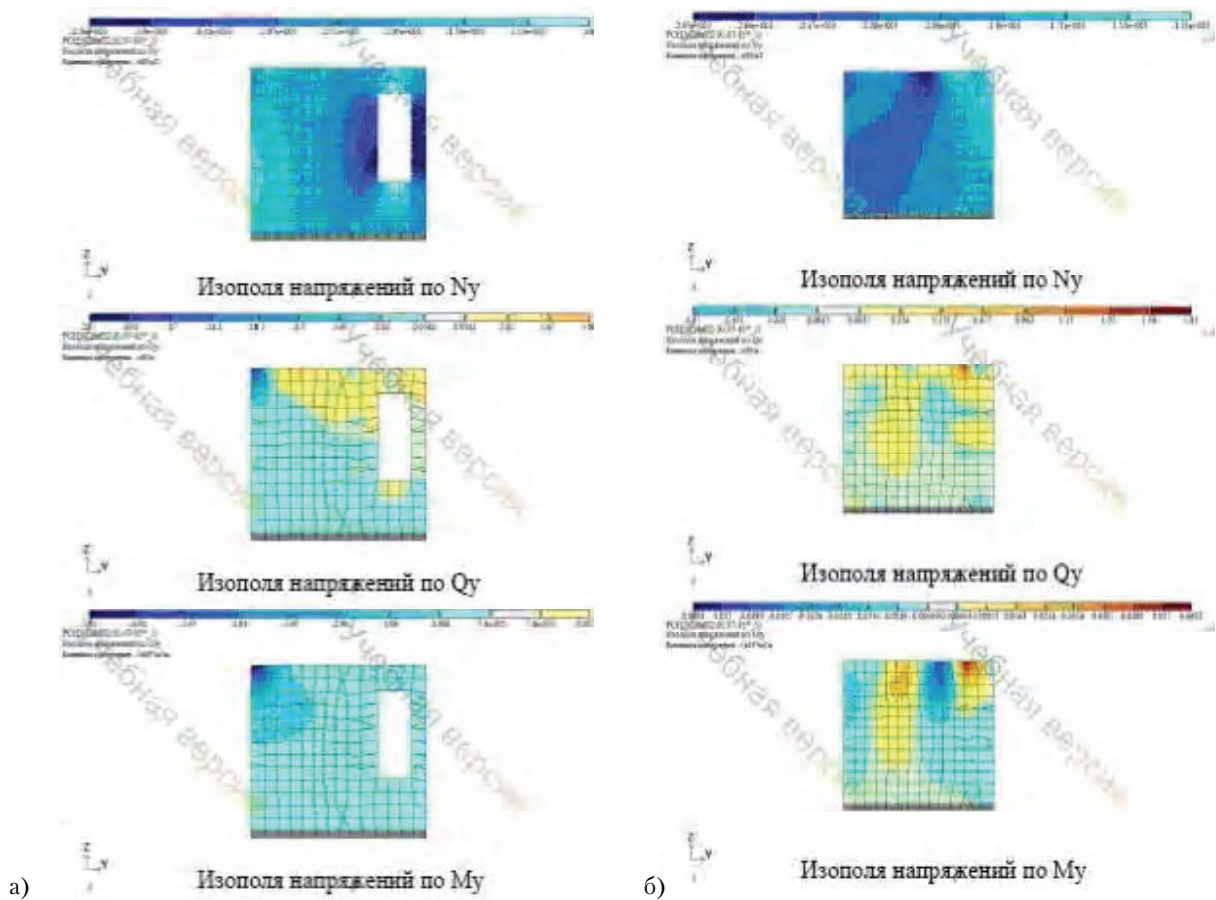


Рисунок 5 – Изополя напряжений в многослойной стеновой панели с проемом (а), изополя напряжений в сплошной многослойной стеновой панели (б).

По результатам расчета, основанным на усилиях элементов, полученных из расчета в «Лири-САПР», было выполнено конструирование конструкций многослойной железобетонной стеновой панели и многослойной железобетонной плиты покрытия (рис. 6).

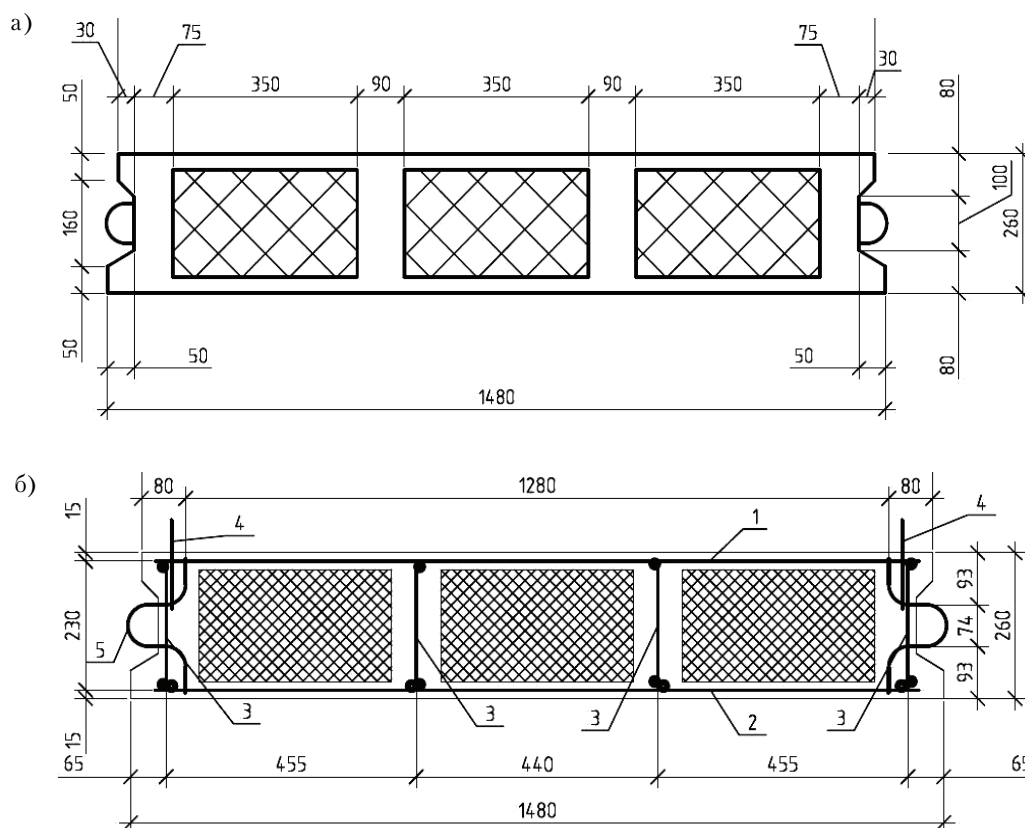


Рисунок 6 – Опалубочная схема (а) и схема армирования (б) многослойной плиты покрытия.

ВЫВОДЫ

1. Анализ существующего опыта использования панельного строительства для возведения объектов социального жилья показал, что объем панельного строительства увеличивается и является наиболее оптимальным при необходимости наращивания темпов строительства при восстановлении объектов жилого фонда и инфраструктуры Донбасса.

2. Опробирована методика численного определения жесткостных характеристик стыков сборных железобетонных конструкций, применительно к использованию в расчетных программных комплексах, основанных на методе конечных элементов.

3. На основании принятого конструктивного решения малоэтажного панельного здания сформирована расчетная схема здания с использованием ПК «Лири-САПР» с учетом особенностей моделирования стыков между сборными элементами в панельных зданиях.

4. Результаты расчетов элементов по двум группам предельных состояний послужили основанием для конструирования многослойных железобетонных конструкций из легкого высокопрочного бетона класса В60.

5. Приведенные результаты исследования и предложенные конструктивные решения для малоэтажных жилых зданий могут послужить основой для внедрения разработки типовых проектов малоэтажного строительства для социального жилья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайченко, Н. М. Модифицированные цементные бетоны для устойчивого развития : [учебное пособие] / Н. М. Зайченко. – Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2018. – 474 с. – ISBN 978-5-4486-0132-3- Текст : непосредственный.

2. Лахтарина, С. В. Легкие высокопрочные бетоны с повышенным коэффициентом конструктивного качества : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лахтарина Сергей Викторович ; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 2016 – 163 с. – Текст : непосредственный
3. Pease, B. J. The role of shrinkage-reducing admixtures on shrinkage, stress development, and cracking / B. J. Pease : Thesis for the Degree of Master of Science in Civil Engineering submitted to the Faculty of Purdue University. – WestLafayette, 2005. – 236 p. – Текст : непосредственный
4. Зайченко, Н. М. Высокопрочные тонкозернистые бетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой : [монография] / Н. М. Зайченко. – Макеевка : ДонНАСА, 2009 – 207 с. – Текст : непосредственный.
5. Звездов, А. И. Высокопрочные легкие бетоны в строительстве и архитектуре / А. И. Звездов, В. Р. Фаликман. – Текст : непосредственный // Деловая слава России. – 2010. – № 4. – С. 106–109.
6. Hoff, G. C. The Use of Lightweight Fines for Internal Curing of Concrete / G. C. Hoff. – Report prepared for Northeast Solite Corporation : Mississippi, Clinton : Hoff Consulting LLC. – August 20, 2002. – 44 p. – Текст : непосредственный.
7. Yasar, E. High strength lightweight concrete made with ternary mixtures of cement-fly ash-silica fume and scoria as aggregate / E. Yasar, C. D. Atis, A. Kilic. – Текст : непосредственный // Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences. – 2004. – Volume 28. – P. 95–100.
8. Дмитренко, Е. А. Инновационные конструктивные решения быстрозводимых зданий из сборного железобетона / Е. А. Дмитренко, Т. О. Гранина. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2017. – Выпуск 2017-4(126) Научно-технические достижения студентов строительной-архитектурной отрасли. – С. 108–116. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_2017-4\(126\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_2017-4(126).pdf) (дата публикации: 17.07.2017).
9. Коростин, С. А. Особенности и тенденции развития регионального рынка малоэтажного строительства / С. А. Коростин. – Текст : электронный // Вестник ВолГУ. – 2013. – № 1(22) Серия 3. Экономика. Экология. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-i-tendentsii-razvitiya-regionalnogo-rynka-maloetazhnogo-domostroeniya> (дата обращения: 12.03.2023).
10. Николаев, С. В. Возрождение крупнопанельного домостроения в России / С. В. Николаев. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2012. – Выпуск 4. – С. 2–8.
11. Магай, А. А. Жилищное строительство в России на современном этапе / А. А. Магай. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2012. – Выпуск 4. – С. 9–12.

Получена 03.04.2023

Принята 21.04.2023

Є. А. ДМИТРЕНКО, А. С. ВОЛКОВ, В. Д. ШВЕЦОВ, Д. Ю. СЛИКОВ, А. В. ХАРА ІННОВАЦІЙНЕ КОНСТРУЮВАННЯ БУДІВЕЛЬ МАЛОЇ ПОВЕРХОВСТІ ЗІ ЗБІРНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВИСОКОЯКІСНОГО ЛЕГКОГО БЕТОНУ

ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», м. Макіївка,
ДНР, Російська Федерація

Анотація. У наданій статті виконано аналіз сприятливих конструктивних рішень для панельних будівель, приведені фізико-механічні характеристики легкого високоякісного бетону, використовуваного матеріалу. Розроблені конструктивні рішення для швидкопоруджувальних будівель із застосуванням збірних залізобетонних елементів, при відносно невисокій вартості для зведення малоповерхових будівель із застосуванням збірних багатопанельних залізобетонних стінових панелей і плит із легкого високоякісного модифікованого бетону, що пропонується для подальшого впровадження при відновленні житлового фонду нашого регіону. Виконано аналіз методики розрахунку стиків елементів для великопанельного будинку, а також напружено-деформованого стану (НДС) основних конструктивних елементів швидкопоруджувальної будівлі за результатами варіантного статичного розрахунку будівлі з урахуванням застосування сучасних високоякісних бетонів нового покоління на основі сировинної бази Донбасу.

Ключові слова: будівельні конструкції, збірний залізобетон, великопанельні конструкції, високоякісний легкий бетон.

EVGENIY DMITRENKO, ANDREI VOLKOV, VLADISLAV SHVETCOV,
DMITRY SLIKOV, ALEXANDER KHARA
INNOVATIVE DESIGN OF LOW-RISE BUILDINGS MADE OF PRECAST
REINFORCED CONCRETE ELEMENTS USING HIGH-QUALITY
LIGHTWEIGHT CONCRETE

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Makeyevka,
DPR, Russian Federation

Abstract. The existing structural solutions of panel buildings are analyzed in this article. The physical and mechanical characteristics of high-quality lightweight concrete are given in this study. Design solutions for a prefabricated building made of precast reinforced concrete elements have been developed for the construction of low-rise buildings using prefabricated multi-layer reinforced concrete wall panels and floor slabs (coverings) made of light high-quality modified concrete, at a relatively low cost, are proposed for further implementation in the restoration of the housing stock of our region. The analysis of the method of calculating the joints of the elements for a large-panel building, as well as the stress-strain state (SSS) of the main structural elements of a prefabricated building, based on the results of a variant static calculation of the building, taking into account the use of modern high-quality concrete of a new generation based on the raw material base of Donbass, was analyzed.

Keywords: building structures, precast concrete, large-panel structures, high-quality lightweight concrete.

Дмитренко Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация. Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при сложных режимах силового и температурного воздействий, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Волков Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация. Научные интересы: исследование прочностных и деформативных свойств конструкций их модифицированного высокопрочного бетона, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Швецов Владислав Дмитриевич – магистрант кафедры железобетонных конструкций ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация. Научные интересы: конструирование зданий малой этажности с применением сборных железобетонных элементов из высококачественного легкого бетона.

Слыков Дмитрий Юрьевич – магистрант кафедры железобетонных конструкций ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация. Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при сложных режимах силового и температурного воздействий, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Хара Александр Викторович – магистрант железобетонных конструкций ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация. Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при сложных режимах силового и температурного воздействий, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Дмитренко Євген Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація. Наукові інтереси: розвиток методик визначення характеристик напружено-деформованого стану залізобетонних елементів при складних режимах силового і температурного впливів, оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

Волков Андрій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація. Наукові інтереси: дослідження міцнісних та деформативних властивостей конструкцій з модифікованих високоміцних бетонів, оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

Швецов Владислав Дмитрович – магистрант кафедри залізобетонних конструкцій ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація. Наукові інтереси: конструювання будівель малої поверховості із застосуванням збірних залізобетонних елементів з високоякісного легкого бетону.

Сликов Дмитро Юрійович – магістрант кафедри залізобетонних конструкцій ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація. Наукові інтереси: розвиток методик визначення характеристик напружено-деформованого стану залізобетонних елементів при складних режимах силового і температурного впливів, оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

Хаара Олександр Вікторович – магістрант кафедри залізобетонних конструкцій ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація. Наукові інтереси: розвиток методик визначення характеристик напружено-деформованого стану залізобетонних елементів при складних режимах силового і температурного впливів, оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

Dmitrenko Evgeniy – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Makeyevka, DPR, Russian Federation. Scientific interests: development of methods of estimation of characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete elements under complex modes of power and temperature influences, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.

Volkov Andrei – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Makeyevka, DPR, Russian Federation. Scientific interests: determination of strength and strain properties of modified high strength concrete structures, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.

Shvetsov Vladislav – master's student, Reinforced Concrete Constructions Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Makeyevka, DPR, Russian Federation. Scientific interests: construction of low-rise buildings using precast reinforced concrete elements made of high-quality lightweight concrete.

Slykov Dmitry – master's student, Reinforced Concrete Constructions Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Makeyevka, DPR, Russian Federation. Scientific interests: development of methods of estimation of characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete elements under complex modes of power and temperature influences, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.

Khara Alexander – master's student, Reinforced Concrete Constructions Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Makeyevka, DPR, Russian Federation. Scientific interests: development of methods of estimation of characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete elements under complex modes of power and temperature influences, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.