# Применение облегченных железобетонных плит с использованием пустотообразователей в условиях сейсмической активности территории строительства

**Ефименко Екатерина Андреевна**
кандидат технических наук, доцент кафедры «Железобетонные м каменные конструкции», Донской государственный технический университет, ovekaterina90@yandex.ru

В условиях современного строительства особую актуальность приобретает повышение экономической эффективности возведения зданий в сложных инженерно-геологических и природно-климатических условиях. Одним из таких факторов является сейсмическая активность территории, которая существенно влияет на выбор конструктивных решений, технологий строительства и, как следствие, на стоимость объектов капитального строительства. В данной работе рассматриваются вопросы повышения экономической эффективности строительства железобетонного каркасного здания в городе Анапа, расположенном в зоне потенциального сейсмического воздействия.
**Ключевые слова:** железобетон, железобетонные конструкции, оптимизация зданий, оптимальное проектирование, пустотообразователи, облегченные плитные конструкции.

Город Анапа характеризуется специфическими природными условиями, включая близость к тектонически активным зонам Черноморского региона, что требует обязательного учета сейсмических нагрузок при проектировании зданий и сооружений. Это приводит к увеличению материалоемкости конструкций, усложнению расчетных схем и применению дополнительных мероприятий по обеспечению надежности и безопасности зданий.

В то же время, повышение требований к сейсмостойкости не должно приводить к необоснованному росту стоимости строительства. В связи с этим возникает необходимость поиска оптимальных проектных и технологических решений, позволяющих обеспечить требуемый уровень надежности при минимизации затрат. Особую роль здесь играют рациональный выбор конструктивной схемы железобетонного каркаса, применение современных материалов, оптимизация процессов строительства и внедрение эффективных методов организации работ.

Сейсмическая активность представляет собой серьезную угрозу для жизни и имущества людей, особенно в регионах с высоким уровнем сейсмической опасности. С увеличением населения и застройки в таких районах вопросы сейсмической безопасности становятся все более актуальными. Проектирование и строительство зданий в этих условиях требует не только высокого уровня технической компетентности, но и учета экономических факторов.

Исследуемый объект, представляет собой 7-этажную гостиницу с зоной магазина, вестибюля гостиницы и ресторана на первом этаже; 2-6 этаж; на 7 этаже открытый бассейн на кровле и СПА-зона; подвал с насосной, 2 венткамерами и электрощитовая. Гостиница в плане имеет прямоугольную форму с размерами в осях «А-Ж» 17,4м, «1-15» 28,7м. Высота подвала – 3,8м, 1-го этажа – 4,8м, 2-6 этаж – 3,0м, 7 этаж 3,0м.

Для вертикального сообщения в здании предусмотрены:

- одна лестничная клетка типа Л1;
- одна лестничная клетка 3-ого типа;
-лифт грузоподъемностью 1000 кг с габаритами кабины 1100х2100мм, (имеет функцию перевозки пожарных подразделений и возможность размещения в нём человека на санитарных носилках)
-лифт грузоподъёмностью 630 кг с габаритами кабины 1100х1400мм.

На каждом этаже запроектирован лифтовый холл – зона безопасности МГН.

Кровля здания плоская часть эксплуатируемая и часть неэксплуатируемая. Водосток с эксплуатируемой кровлю внутренний, организованный. С неэксплуатируемой – наружный.

По периметру не эксплуатируемой кровли предусмотрено ограждение (парапет) высотой не менее 0,6м.

Выход на кровлю обеспечен из лестничной клетки через противопожарные двери EIS-60. На неэксплуатируемую кровлю выход организован по приставной лестнице – стремянке.

Одной из важнейших задач современного строительства является снижение массы строительных конструкций при сохранении их прочности, жесткости и надежности. Облегчение железобетонных плит позволяет уменьшить нагрузку на несущие элементы здания и фундамент, сократить расход строительных материалов, снизить стоимость строительства и повысить технологичность монтажа. В связи с этим в строительной практике широко применяются различные способы облегчения железобетонных плит перекрытия.

В зарубежных странах такие технологии, как Airdeck, Bubble Deck, Cobiax, Монофант, широко используются при возведении современных зданий.

***Технология Airdeck*** - облегченная плита производится на заводах с использованием полипропиленовых коробок (шаг 300 мм). Сечение заглубленных вкладышей составляет 200 х 200 мм, высота варьируется от 120 до 350 мм.

***Технология Bubble Deck*** - пластиковые шарики в форме сферы или эллипса расположены между нижней и верхней армирующей сеткой. Размеры шариков выбираются в соответствии с размерами ячеек продольного и поперечного арматурных стержней с учетом толщины плиты таким образом, чтобы шарики жестко фиксировались с помощью армирующих сеток и в то же время обеспечивали нормальные защитные слои бетона.

***Технология Cobiax*** - включаются в процессе возведения зданий на строительной площадке. Однако они также могут изготавливаться промышленным способом как полностью сборные элементы или в комбинации со сборными элементами. Для плиты толщиной 200-350 мм применяются вкладыши в виде эллипса, а для плит 300-600 мм - в виде сферы.

***Технология «Монофант»*** - в настоящее время применяют пенополистирольные блоки в виде вкладыша. Бетонная смесь наносится методом торкретирования, что позволяет ускорить процесс строительства. Особенностью предлагаемой системы является использование произвольной (нерегулярной) сетки колонн, различных легких материалов для вставок с целью значительного снижения собственного веса конструкции, а также сложность конфигурации в плане.

Все перечисленные способы устройства облегченных железобетонных монолитных плит значительно уменьшают расход материалов без потери прочностных характеристик конструкции. Благодаря таким способам в монолитных плитах можно сэкономить до 40% материалов, что заметно уменьшает себестоимость монолитных плит перекрытия в целом. Нынешнее строительство направлено на повышение эффективности строительного производства, экономное использование материальных ресурсов, применение новых перспективных материалов, в том числе изготовленных с использованием нанотехнологий.

Пустотообразователи используются для создания внутренних полостей в железобетонных плитах, что снижает вес конструкции путем удаления из неё бетона (на 20-40 %), который не принимает участие в роботе, не ухудшив при этом прочностные характеристики предопределяет соответствующий экономический эффект. Кроме того, эффективность такого подхода усиливается за счет уменьшения уровня нагружения опорных элементов сооружения. Основные формы пустот:

1. Цилиндрические пустоты: наиболее распространены в многопустотных плитах, обеспечивая оптимальное соотношение прочности и массы.

2. Сферические пустоты: применяются в технологии «Bubble Deck», где сферические вкладыши располагаются в местах наименьших напряжений, что приводит к существенному снижению собственного веса конструкции. Схема такой конструкции приведена на рис.1.

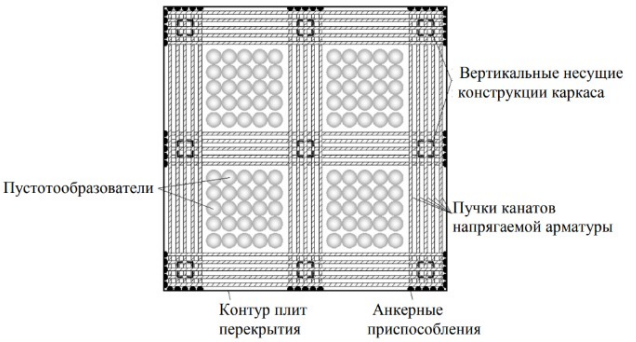



Рисунок 1. - Схема облегченного постнапряженного перекрытия.

3. Прямоугольные и овальные пустоты: используются реже, но могут быть эффективны в специфических конструктивных решениях.

Примение пустотообразователей прямоугольной или квадратной формы с заменой нижней полки плиты на негорючие панели сохраняет огнестойкость конструкции и являться несъёмной опалубкой, а также обеспечивает ровную поверхность потолка. Для повышения тепло- и звукоизоляции в пустотообразователи укладывается утеплитель - рис. 2.

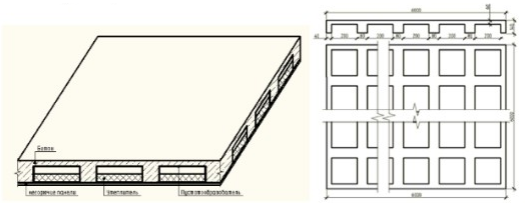


Рисунок 2. - Неизвлекаемые вкладыши-пустотообразователи прямоугольной формы

Выбор формы пустот зависит от проектных требований, нагрузок и технологических возможностей.

Развитие аддитивных технологий в строительстве, в частности строительной 3D-печати, открывает новые возможности для ускорения выполнения строительно-монтажных работ, снижения себестоимости и материалоёмкости строительства, а также сокращения потребности в трудовых ресурсах за счёт высокой степени автоматизации бетонных работ [2]. Появление пилотных объектов капитального строительства, возведённых с применением данной технологии, было зафиксировано в различных странах, включая Россию, уже в период 2014–2016 годов. На сегодняшний день число подобных объектов по всему миру исчисляется сотнями.

Первый опыт внедрения строительной 3D-печати продемонстрировал её потенциал в качестве инструмента ускорения реализации инфраструктурных проектов, повышения производительности труда и сокращения инвестиционно-строительных циклов. Вместе с тем, на практике данный технологический подход не всегда обеспечивает гарантированный экономический эффект, поскольку на эффективность его применения влияет целый ряд факторов: назначение объекта, особенности архитектурно-конструктивных решений, климатические условия региона строительства и другие параметры.

3D-печать железобетонных плит позволяет создавать сложные геометрические формы с внутренними пустотами, оптимизируя расход материалов и снижая массу конструкций. Аддитивные технологии также сокращают сроки строительства и уменьшают отходы производства.

Технология Simkar использует специальные пустотообразователи для монолитных перекрытий, что снижает расход бетона и арматуры, ускоряет процесс строительства и уменьшает углеродный след.

Технология основана на применении пустотообразователей из вторично переработанных полимеров, которые заменяют массивный бетон в зоне нулевых усилий железобетонного перекрытия.

Так как основную нагрузку в плитах перекрытий воспринимает рабочая арматура, снижая их собственный вес при помощи технологии Simkar, появляется возможность уменьшить ее количество, что ощутимо влияет на общую экономию средств при строительстве.

Инновация данного подхода состоит в том, что полые полимерные пустотообразователи располагаются особым способом в плите между нижней и верхней рабочими арматурными сетками.

Технология проста в применении. На этапе стандартных процедур проектирования с помощью программных средств в конструкцию плиты интегрируются пустотообразователи и рассчитывается ее уменьшенный собственный вес. Далее он используется для подбора армирования, окончательного определения величины прогибов, пролетов, расчета фундаментов и т.д.



Рисунок 3. - Вид изделия

Конструктивная и конечно-элементная модель здания, создана в программном комплексе ПК ЛИРА-САПР [3].

Геометрия расчетной схемы здания создана в соответствии с конструктивными решениями.

Схема здания рассматривается как пятый признак схемы (шесть степеней свободы в узле X,Y,Z,Ux,Uy,Uz).

Все физико-механические характеристики заданы в соответствии с конструктивными решениями. Нагрузки на квадратный метр плиты перекрытия типового этажа приведены в таблице 1.

*Таблица 1*
*Нагрузка на 1 м² плиты перекрытия типового этажа*

| № п/п | Нагрузка | Нормативное значение, кН/м² | $\gamma_f$ | $\gamma_n$ | Расчетное значение, кН/м² |
|---|---|---|---|---|---|
| *Постоянные* | | | | | |
| 1 | Собственный вес ЖБ конструкций | *автоматически* | 1,1 | 1,0 | - |
| 2 | Армированная цем-песч стяжка-80мм: 1800 кг/м³ × 0,08м=144 кг/м² (1,44 кПа) | 1,44 | 1,3 | 1,0 | 1,87 |
| 3 | Керамогранит на спец-клее-20 мм: 2400 кг/м³ × 0,020м=48 кг/м² (0,48 кПа) | 0,48 | 1,2 | 1,0 | 0,576 |
| Итого: | | | | | 2,44 |
| *Временные длительные* | | | | | |
| 4 | Временные перегородки (100 кг/м²) | - | - | - | 1.76 |
| *Кратковременные* | | | | | |
| 5 | Общежитий и гостиниц (п.1 табл. 8.3 СП 20) | 1,5 | 1,3 (п. 8.2.7 СП 20) | 1,0 | 1.95 |
| 6 | Полезная на лестницах, коридорах (п.12 а табл. 8.3 СП20;) | 3,0 | 1,2 (п. 8.2.7 СП 20) | 1,0 | 3,6 |

Все загружения, кроме собственного веса, задаются с помощью функции «Задание нагрузок» и выбора элемента на который задается нагрузка. Во избежание геометрической изменяемости в плоскости XOY, на фундаментную плиту накладываем граничные условия

Для формирования динамических загружений из статических и таблицы параметров динамических воздействий требуется создать такие виды загружений как: пульсация по x, вид – мгновенное; пульсация по y, вид – мгновенное; сейсмическое, вид сейсмическое.

Вид загружений задавался в диалоговом окне «Редактор загружений» следовательно таблицу РСУ (рис. 3.) можно сформировалась с параметрами, принятыми по умолчанию для каждого загружения.

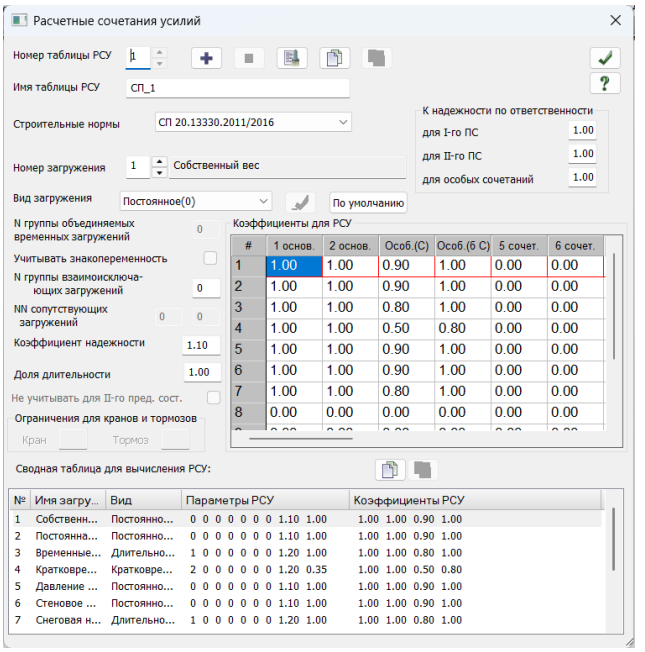



Рисунок 3.- Таблица РСУ

Система РСН – это процессор, предназначенный для вычисления перемещений в узлах и усилий (напряжений) в элементах от стандартных и произвольных линейных комбинаций загружений (рис. 4.). Под стандартными линейными комбинациями подразумеваются комбинации (сочетания), которые установлены нормативными документами.

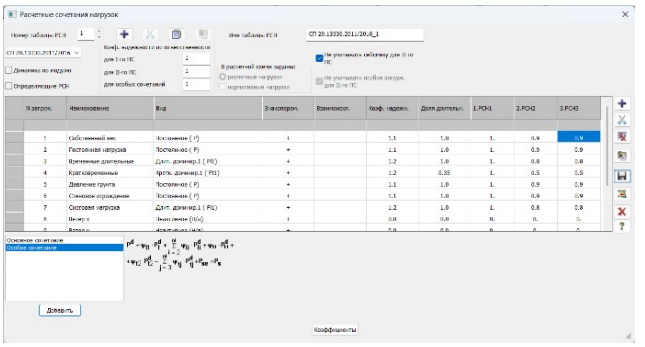



Рисунок 4.- Таблица РСН

Рассмотрим прогиб плиты перекрытия (рис 5.), максимально длинный пролет от опоры до опоры составляет 6400мм. Прогиб на данном участке составляет 15,3мм. Согласно [1], приложение Д, таблица Д.1, пункт 2 а). l=6400мм, в таблице Д.1 Вертикальный предельный прогиб зависит от длина пролета которая варьируется в l=6000мм, fu=l/200 и l=24000мм, fu =l/250; интерполируя получаю при l=6400мм предельный прогиб равен fu=32,0мм. Следует что 15,3мм<fu=32,0мм требования согласно [1] выполняется.

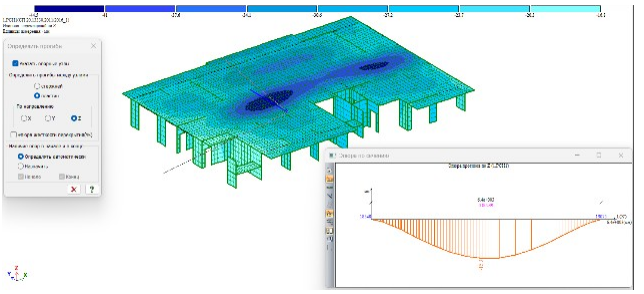
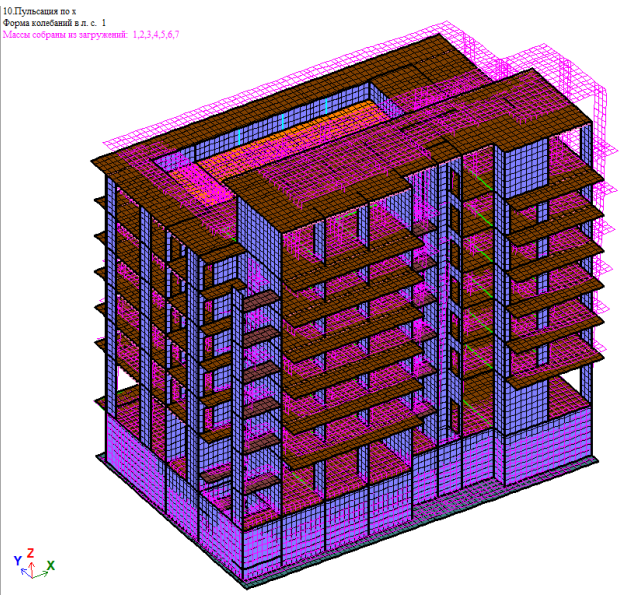


Рисунок 5. – Прогиб монолитной плиты перекрытия

Основная арматура плиты перекрытия принята в продольном и поперечном направлении в нижней зоне ⌀12 шагом 200мм. Основная арматура плиты перекрытия принята в продольном и поперечном направлении в верхней зоне ⌀12 шагом 200мм. В качестве дополнительного армирования приняты стержни ⌀25, ⌀22, ⌀20 с шагом 200мм в местах, где это необходимо по расчету.

Динамический отклик зданий и сооружений на внешние воздействия — это реакция сооружения на внешнее воздействие.

При внешних воздействиях внешние силы выводят конструкции из положения равновесия. При этом конструкции стремятся сохранить устойчивое положение равновесия и за счёт работы внутренних сил возвращаются в него. Таким образом, они совершают некоторую работу, которую называют откликом сооружений.




На рисунках 6,7,8 представлены максимальные колебания здания в первый, второй и третий период действия колебательных (сейсмических) нагрузок.

Рисунок 6. - колебания при 1 периоде

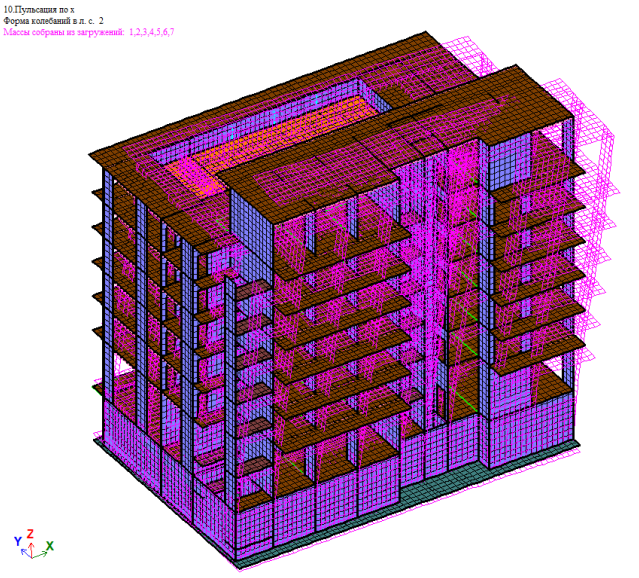



Рисунок 7. - колебания при 2 периоде

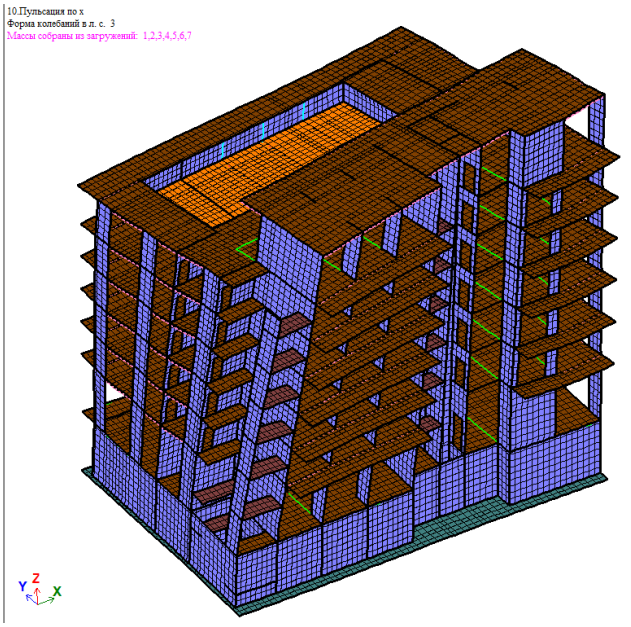



Рисунок 8. - колебания при 3 периоде

Перекрытия поворачиваются вокруг центральной оси. При компоновке несущих конструкций каркаса можно распределить диафрагму жесткости так чтобы это форма не была 1 или 2, но присутствовать она будет всегда.

К недостаткам строительных конструкций, выполняемых из железобетона, всегда относили их большой собственный вес. Одним из способов облегчения веса железобетонных конструкций, в т.ч. плит перекрытия, является устройство пустот в поперечном сечении конструкций. При этом существенно уменьшается расход материалов, прежде всего бетона. Наличие пустот приводит к повышению звукоизолирующих свойств перекрытий. При использовании пустотных плит снижается величина вертикальной нагрузки на колонны, стены и фундамент здания. Требуется провести моделирование работы плиты с учетом взаимодействия с другими конструктивными элементами. Это означает учет ситуации, когда на плиту действуют конструктивные элементы, и усилия в них зависят от величины деформации плиты под нагрузкой.

В связи с этим будет рассмотрена вторая схема с эквивалентной толщиной сплошной плиты для плит перекрытия.

Загружения применены те же что и в ранее описанном расчете, только в связи с применением пустотообразователей уменьшен собственный вес плиты перекрытия типового этажа. При этом получены весьма интересные показания расчетов.

Прогиб плиты перекрытия (рис 9.), максимально длинный пролет от опоры до опоры составляет 6400мм. Прогиб на данном участке составляет -13,3мм. Согласно [1] приложение Д, таблица Д.1, пункт 2 а). l=6400мм, в таблице Д.1 Вертикальный предельный прогиб зависит от длина пролета которая варьируется в l=6000мм, fu=l/200 и l=24000мм, fu =l/250; интерполируя получаю при l=6400мм предельный прогиб равен fu=32,0мм. Следует что 13,3мм<fu=32,0мм требования согласно [1] выполняется. Уменьшив объем бетона, снизился прогиб плиты.

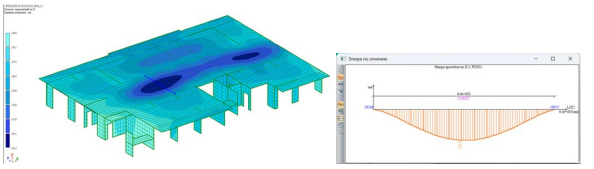


Рисунок 9. – Прогиб пустотной плиты перекрытия

**Вывод**

Пересчитав конечно-элементную модель с новой толщиной (собственным весом) плит перекрытия и плотностью бетона можно выяснить что применение пустотообразователей приводит к облегчению плит перекрытия даже в условиях их применения в сейсмически активных регионах. Можно сделать вывод что перемещения здания по оси X и Y уменьшились не более чем на 10мм, по оси Z осадка уменьшилась с 45мм на 42,8мм. Прогиб плит перекрытия, ускорения при пульсации по оси X и Y и формы колебаний от сейсмического воздействия, будут соответствовать норме (предельно допустимому значению). При использовании пустотных монолитных перекрытий (только на их возведение) снижается расход бетона на 37-42%, арматуры на 36% (стоимость пустообразователей меньше на 14% вытесняемого им бетона). При раскладке пустообразователей в плите перекрытия типового этажа, объем бетона уменьшился на 52,7%.

**Литература**

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. — Москва : Стандартинформ, 2017. — 83 с.
2. Дискаева Е. Н., Димитрюк Ю. С., Рожков П. В. Адаптивное проектирование в строительстве как основа безопасности жизнедеятельности // Инженерный вестник Дона. — 2025. — № 12. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: Инженерный вестник Дона.
3. ЛИРА-САПР. Книга I. Основы : учебное пособие / Е. Б. Стрелец-Стрелецкий, А. В. Журавлев, Р. Ю. Водопьянов [и др.]. — Москва : [б. и.], 2016. — 212 с.

**Use of Lightweight Reinforced Concrete Slabs Incorporating Void Formers in Seismic Construction Zones**

**Efimenko E.A.**
Don State Technical University

*JEL classification: L61, L74, R53*

In the context of modern construction, increasing the economic efficiency of building construction in difficult engineering-geological and natural-climatic conditions is of particular relevance. One of these factors is the seismic activity of the territory, which significantly affects the choice of design solutions, construction technologies, and, as a result, the cost of capital construction projects. This paper discusses the issues of increasing the economic efficiency of building a reinforced concrete frame building in the city of Anapa, which is located in a potential seismic zone.

Keywords: reinforced concrete, reinforced concrete structures, building optimization, optimal design, void-forming devices, lightweight slab structures.

**References**

1. SP 20.13330.2016. Loads and Actions. Updated version of SNiP 2.01.07-85* / Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation. — Moscow : Standartinform, 2017. — 83 p.
2. Diskaeva E. N., Dimitryuk Yu. S., Rozhkov P. V. Adaptive design in construction as a basis for life safety // Engineering Journal of the Don. — 2025. — No. 12. — [Electronic resource]. — Access mode: Engineering Journal of the Don.
3. LIRA-SAPR. Book I. Fundamentals : study guide / E. B. Strelets-Streletsky, A. V. Zhuravlev, R. Yu. Vodopyanov [et al.]. — Moscow : [s.n.], 2016. — 212 p.