

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

### Проблемы учета сейсмических воздействий при проектировании зданий

УДК 624.04

**Кравченко Галина Михайловна**

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Техническая механика» ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: galina.907@mail.ru

**Труфанова Елена Васильевна**

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Техническая механика» ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: el.trufanova@mail.ru

**Дзари-Ипа Инал Астамурович**

Студент-магистр ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: inal2077@gmail.com

**Эшба Эраст Автандилович**

Студент-магистр ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: eshba77@mail.ru

Статья получена: 12.10.2018. Рассмотрена: 21.10.2018. Одобрена: 23.10.2018. Опубликована онлайн: 26.12.2018. ©РИОР

**Аннотация.** Исследование посвящено актуальной проблеме для Республики Абхазия — учет сейсмических воздействий при расчете несущих конструкций зданий. В качестве объекта исследования выбрано здание морского вокзала в г. Сухум. Пространственная плитно-стержневая модель каркаса здания разработана методом конечных элементов в программном комплексе «ЛИРА-САПР». Выполнен динамический расчет для определения собственных форм и частот колебаний. По результатам динамического расчета выбраны модели учета сейсмических воздействий на каркас здания.

**Ключевые слова:** сейсмическое воздействие, динамический расчет, формы собственных колебаний, метод конечных элементов, конечно-элементная модель, параметры собственных колебаний.

Территория Республики Абхазия располагается в зоне повышенной сейсмической активности, большинство строительных объектов находится на открытых территориях морского побережья с постоянной ветровой нагрузкой. Отсутствие мероприятий, обеспечивающих сейсмостойкость жилых зданий и сооружений,

**PROBLEMS OF ACCOUNTING FOR SEISMIC EFFECTS IN THE DESIGN OF BUILDINGS**

**Galina Kravchenko**

Candidate of Engineering, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: galina.907@mail.ru

**Elena Trufanova**

Candidate of Engineering, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: el.trufanova@mail.ru

**Inal Zari-Ipa**

Master's Degree Student, Don State Technical University, Rostov-on-Don University; e-mail: inal2077@gmail.com

**Erast Ashba**

Master's Degree Student, Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: eshba77@mail.ru

**Manuscript received:** 12.10.2018. **Revised:** 21.10.2018. **Accepted:** 23.10.2018. **Published online:** 26.12.2018. ©RIOR

**Abstract.** The actual problem for the Republic of Abkhazia — the account of seismic influences at calculation of bearing designs of buildings is investigated. The object of research is the building of the sea station in Sukhum. The spatial plate-rod model of the building frame is made by the finite element method in the software complex “LIRA — SAPR”. Based on the results of dynamic calculation the selected method for determining the seismic influences on the building frame.

**Keywords:** seismic influences, dynamic calculation, forms of natural oscillations, finite-element method, finite and element model, parameters of natural oscillations.

является одним из основных факторов, приводящих к гибели людей и причинению огромного культурного и экономического ущерба. В связи с дефицитом нормативно-технической документации на проектирование и строительство в Республике Абхазия расчеты строительных конструкций выполняют по строительным нормам и правилам Российской Федерации.

Цель исследования: моделирование работы конструкций монолитного железобетонного каркаса здания при сейсмическом воздействии, анализ кинематических параметров (перемещений, ускорений и скоростей) конструктивных элементов каркаса здания, оценка динамических реакций.

Объект исследования — здание морского вокзала в г. Сухум (рис. 1). Общественное здание, состоящее из портовой и торгово-развлекательной частей с предусмотренной парковочной зоной.



Рис. 1. Морской вокзал г. Сухум

Конструктивная схема здания — монолитный железобетонный каркас. Пространственная жесткость и устойчивость зданий обеспечивается совместной работой колонн, стен, монолитных дисков перекрытия и покрытия. Деформационные швы разделяют здание на 3 блока.

В качестве фундамента применяют железобетонную монолитную плиту толщиной 1500 мм. Армирование фундаментной плиты выполняют отдельными стержнями арматурой класса А400 в продольном и поперечном направлении. Бетон для фундаментной плиты принят класса В30. Искусственное основание — буровые железобетонные сваи диаметром 2 м, шагом 9 × 5,5 м.

Перекрытия монолитные толщиной 350 мм. Шахта лифта из кирпича керамического, лестничный узел из монолитного железобетона. Наружные стены кирпичные. Между поверхностями стен и колонн каркаса предусмотрен зазор не менее 20 мм, кладка имеет гибкие связи с каркасом, не препятствующие горизонтальным смещениям каркаса вдоль стен.

Сейсмичность площадки по карте А в соответствии с СП 14.13330.2014 «Нагрузки и воздействия» составляет 8 баллов (принято по г. Сочи, ближайшему в Российской Федерации). Снеговой район II, ветровой район IV в соответствии с СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [1].

Для решения поставленных задач выбран численный метод исследования — метод конечных элементов. Разработана конечно-элементная модель по плитно-стержневой схеме в программном комплексе «ЛИРА-САПР» (рис. 2) [2–4].

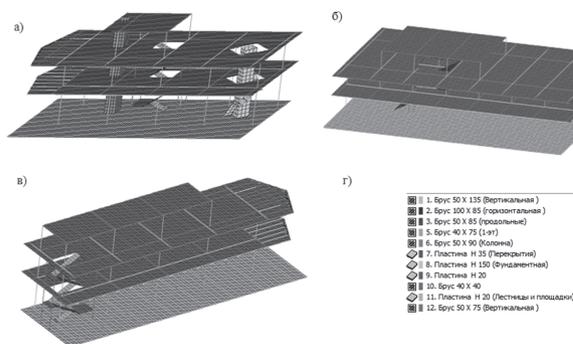


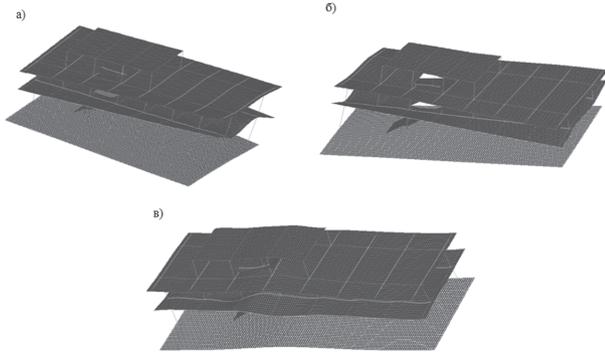
Рис. 2. Конечно-элементная модель: а) блок А; б) блок Б; в) блок В; г) таблица жесткостей

Для динамического расчета в расчетную модель здания введены следующие нагрузки и воздействия: собственный вес несущих конструкций и постоянные нагрузки; вес временных перегородок; полезные нагрузки; снеговая нагрузка.

Создана динамическая комбинация коэффициентов перевода нагрузок в массы [5–9]. В результате динамического расчета получены частоты и формы колебаний (рис. 3).

Анализ форм колебаний показал, что первая и вторая формы — крутильные, что соответствует сложным конструктивно-планировочным

решениям каркаса здания. При моделировании сейсмического воздействия для таких зданий необходимо учитывать наиболее опасные значения сейсмической реакции сооружения или его частей и направления сейсмических воздействий [7].

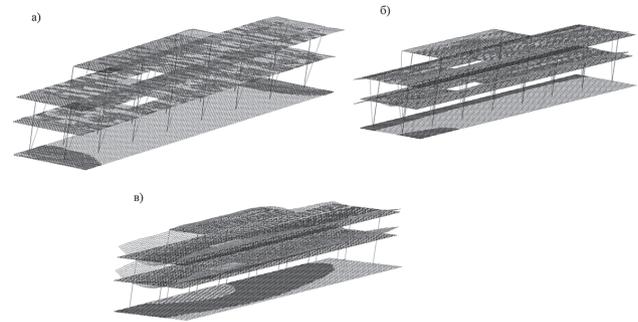


**Рис. 3.** Формы колебаний блока Б:  
а) 1-я форма; б) 2-я форма; в) 3-я форма

Для учета сейсмического воздействия выбран метод, реализующий требования СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах». Выполнено моделирование сейсмических воздействий вдоль оси X и оси Y линейно-спектральным методом, реализованным в программном комплексе «ЛИРА-САПР».

Для учета дополнительных инерционных сил, соответствующих вращательному воздействию грунта, рассмотрена расчетная модель сейсмического воздействия с учетом угловых ускорений. Направление опасного сейсмического воздействия, а также направляющие косинусы для каждой формы колебаний задают в диалоговом окне.

Выполнен общий статический расчет конструкций монолитного железобетонного каркаса здания. На рис. 4 приведены деформированные схемы каркаса блока Б.



**Рис. 4.** Деформированные схемы каркаса блока Б от сейсмических воздействий:  
а) вдоль оси X; б) вдоль оси Y; в) с учетом угловых ускорений

Анализ результатов динамического расчета показал, что учет сейсмического воздействия с учетом угловых ускорений вносит существенный вклад в напряженно-деформированное состояние каркаса здания. Выгиб консольных участков плит перекрытий требует увеличения расчетного армирования балок и плит, что снижает экономичность принятых конструктивных решений.

Согласно действующей нормативной документации для зданий и сооружений с простыми конструктивными решениями допускается моделировать сейсмические воздействия, действующие горизонтально в продольном и поперечном направлениях. Анализ причин сейсмических воздействий показал, что к разрушениям приводят мощные импульсы ускорения грунта, создающие на конструкции зданий и сооружений ударные волны сдвига.

Для обеспечения надежности проектных решений рекомендуется рассчитывать все здания по интегральной модели сейсмического воздействия, которая учитывает дополнительные инерционные силы, соответствующие вращательному воздействию основания.

## Литература

1. *Panasyuk L., Kravchenko G., Trufanova E.* Researching design solutions for frames of buildings in case of increased seismic intensity in specific zones // International Science Conference SPbWOSCE-2016 "SMART City". 2017. P. 02027.
2. *Aksenov V.N., Le Quyen V., Trufanova E.V.* Evaluation of reinforced concrete cylindrical reservoirs with single-layered walls // Procedia Engineering, -2016. - T. 150. - С. 1919-1925.
3. *Mailyan D.R., Trufanova E.V.* Planning of multilayer cylindrical wall reservoirs // Procedia Engineer-ing. 2016. T. 150. P. 1926–1935.
4. *Kravchenko G., Trufanova E., Kostenko D., Tsurikov S.* Analysis of blast load on a reinforced concrete column in the time domain // International Science Conference SPbWOSCE-2016 "SMART City". 2017. P. 04019.
5. *Кравченко Г.М.* Динамический расчет объекта «Спортивно-оздоровительный комплекс» Технопарка РГСУ [Текст] / Г.М. Кравченко, Е.В. Труфанова, Е.О. Шутенко, К.Н. Хашхожев // Инженерный вестник Дона. — 2015. — № 4. — URL: [ivdon.ru/](http://ivdon.ru/)

6. *Кравченко Г.М.* Динамический расчет и анализ полусферической оболочки покрытия объекта «Зимний сад» Технопарка Ростовского государственного строительного университета (РГСУ) [Текст] / Г.М. Кравченко, Е.В. Труфанова, С.В. Борисов, С.С. Костенко // Инженерный вестник Дона. — 2016. — № 1. — URL: [ivdon.ru/](http://ivdon.ru/)
7. *Агаханов Э.К.* Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания [Текст] / Э.К. Агаханов, Г.М. Кравченко, Е.В. Труфанова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. — 2016. — № 3. — С. 8–15.

## References

1. Panasyuk L., Kravchenko G., Trufanova E. Researching design solutions for frames of buildings in case of increased seismic intensity in specific zones // International Science Conference SPbWOSCE-2016 “SMART City”. 2017. S. 02027.
2. Aksenov V.N., Le Quyen V., Trufanova E.V. Evaluation of reinforced concrete cylindrical reservoirs with single-layered walls // Procedia Engineering. 2016. T. 150. S. 1919–1925.
3. Mailyan D.R., Trufanova E.V. Planning of multilayer cylindrical wall reservoirs // Procedia Engineering. 2016. T. 150. S. 1926–1935.
4. Kravchenko G., Trufanova E., Kostenko D., Tsurikov S. Analysis of blast load on a reinforced concrete column in the time domain // International Science Conference SPbWOSCE-2016 “SMART City”. 2017. S. 04019.
5. Kravchenko G.M., Trufanova E.V., Shutenko E.O., Khashkhozhev K.N. Dinamicheskiy raschet ob’ekta «Sportivno-ozdorovitel’nyy kompleks» Tekhnoparka RGSU [Dynamic calculation of the object “Sports and fitness complex” Technopark RGSU]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Dnezh Engineering Bulletin]. 2015, I. 4. Available at: [ivdon.ru/](http://ivdon.ru/)
6. Kravchenko G.M., Trufanova E.V., Borisov S.V., Kostenko S.S. Dinamicheskiy raschet i analiz polusfericheskoy obolochki pokrytiya ob’ekta «Zimniy sad» Tekhnoparka Rostovskogo Gosudarstvennogo Stroitel’nogo Universiteta (RGSU) [Dynamic calculation and analysis of the hemispherical shell of the Winter Garden facility of the Technopark of the Rostov State Construction University (RGSU)]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Don Engineering Bulletin]. 2016, I. 1. Available at: [ivdon.ru/](http://ivdon.ru/)
7. Agakhanov E.K., Kravchenko G.M., Trufanova E.V. Regulirovanie parametrov sobstvennykh kolebaniy prostranstvennogo karkasa zdaniya [Regulation of parameters of natural oscillations of the spatial frame of the building]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskije nauki* [Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical sciences]. 2016, I. 3, pp. 8–15.