

УДК 539.3

Каюмов Р.А. – доктор физико-математических наук, профессор

E-mail: kayumov@rambler.ru

Мухамедова И.З. – кандидат физико-математических наук, доцент

E-mail: muhamedova-inzilija@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Красильников В.О. – инженер-проектировщик

E-mail: vespeer@mail.ru

ООО «Эстель»

Адрес организации: 420101, г. Казань, ул. Хусаина Мавлютова, д. 44

Тазюков Б.Ф. – кандидат физико-математических наук, доцент

E-mail: bulat.tazioukov@kpfu.ru

Казанский федеральный университет

Адрес организации: 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

Разработка методики расчета элементов конструкции многоэтажного жилого здания на долговечность*

Аннотация

Постановка задачи. Разработка численной методики расчета многоэтажной железобетонной конструкции на долговечность.

Результаты. Разработана методика определения ресурса многоэтажного железобетонного жилого здания при воздействии статических и динамических нагрузок, определены сроки службы конструкции. Построена конечно-элементная модель многоэтажного жилого здания с учетом изменения класса бетона и варьирования ветровой пульсационной нагрузки. Проведены численные эксперименты на длительную прочность.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что долговечность многоэтажного железобетонного жилого здания возрастает при увеличении класса бетона. Также долговечность растет при уменьшении количества этажей многоэтажного железобетонного жилого здания. При увеличении пульсаций ветровой нагрузки долговечность здания падает.

Ключевые слова: методика, модель, долговечность, железобетонное здание, длительная прочность, численный эксперимент.

Введение

В настоящее время для расчета остаточного ресурса конструкций и прогноза времени их безаварийной эксплуатации применяются преимущественно методы, основанные на экспертных оценках, которые направлены на оценку вероятности возникновения аварийной ситуации и возможных ее последствий. Эти методы, как правило, носят качественный характер. Их применение дает неопределенную гарантию достоверности. Они позволяют определить только один показатель: либо вероятность отказа, либо прогнозируемое время дальнейшей эксплуатации.

Известны также количественные методы оценки ресурса строительных объектов, в основу которых положено применение вероятностных моделей и методов теории надежности. Методы расчета конструкций на надежность основаны на вероятностно-статистическом подходе. Основные аспекты и проблемы анализа надежности подробно рассмотрены в работах Майера М., Стрелецкого Н.С., Половко А.М., Болотина В.В., Острейковского В.А., Райзера В.Д., Ржаницына А.Р. Стрелецкий Н.С. первый провел анализ влияния срока службы на коэффициент запаса несущей способности эксплуатируемых конструкций. Ржаницын А.Р. разработал инженерный метод расчета строительных конструкций с применением теории надежности. Количественные методы являются достаточно сложными для инженерных приложений.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-08-06018).

Анализ обзора исследований показал, что задача оценки остаточного ресурса зданий и сооружений в настоящее время недостаточно разработана. Однако, в связи с массовой выработкой нормативного срока службы промышленных предприятий чрезвычайно актуальной является разработка инженерных методов оценки остаточного ресурса, позволяющие получить на основе имеющейся небольшой статистической информации объективную оценку времени возможной дальнейшей эксплуатации конструкций с заданным уровнем надежности (риска).

В данной работе разработана численная методика по определению закона изменения остаточного ресурса и методика по прогнозированию срока службы конструкций железобетонного здания. Предложен метод вычисления долговечности железобетонной конструкции по расчетным значениям, приведенным в СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Расчет проводился с применением программного комплекса «ЛИРА САПР 2014».

Расчетная модель

Построим каркас многоэтажного железобетонного жилого здания. Зададим жесткость материалов элементов конструкции (колонны и плиты перекрытия) согласно СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Для численных экспериментов рассмотрим самый нагруженный элемент в конструкции. Зададим статические и циклические нагрузки, согласно СП 20.13330.2011. В свою очередь, чтобы узнать нагрузки на элементы, используем таблицу РСУ (расчетные сочетания усилий) и получим исходные данные при сочетании нагрузок, которые воздействуют на элементы здания. Нами рассмотрены различные сочетания нагрузок: статическая ($P^{стат}$) статическая и ветровая ($P^{стат+ветр}$), ветровая и пульсационная ($P^{ветр+пульс}$), суммарная статическая, ветровая и пульсационная ($P^{общ}$).

Определим напряжения от статической нагрузки ($\sigma^{стат}$), от статической и ветровой нагрузки ($\sigma^{стат+ветр}$), от ветровой и пульсационной ($\sigma^{ветр+пульс}$), и от общей ($\sigma^{общ}$). Построим зависимость напряжений от количества циклов воздействия нагрузок n , как показано на рис. 1.

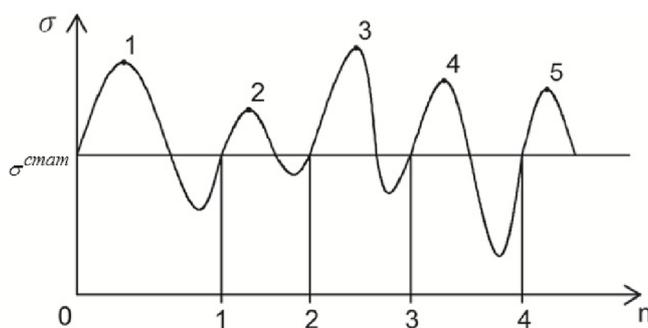


Рис. 1. Зависимость напряжений от количества циклов нагружения

Определив напряжения, можем найти сумму изменяемой части напряжений по формуле:

$$\sigma^{ветр+пульс} = \sigma^{общ} - \sigma^{стат}. \quad (1)$$

Далее, расчет проводим с учетом изменения пульсации ветровой нагрузки. Для этого введен некоторый коэффициент k , с помощью которого можно записать следующее выражение для напряжений:

$$\sigma^{общ} = \sigma^{стат} + \sigma^{ветр+пульс}/k. \quad (2)$$

Кривую Велера аппроксимируем по следующей формуле:

$$\sigma_{проч} = \sigma_0 / e^{\rho_m \beta \cdot (n-1)}, \quad (3)$$

где σ_0 – предел прочности бетона, β – механическая характеристика материала, ρ_m – коэффициент, который определяется по соотношению:

$$r_m = S_m^{общ} / S_m^{стат}. \quad (4)$$

Далее в численных расчетах было принято, что $\beta = 10^{-6}$. Кривая Велера, соответствующая выражению (3), изображена на рис. 2. Используя максимальное

напряжение ($\sigma^{общ}$), можно определить количество циклов (n_m^*), которое выдержит интересующий нас элемент.

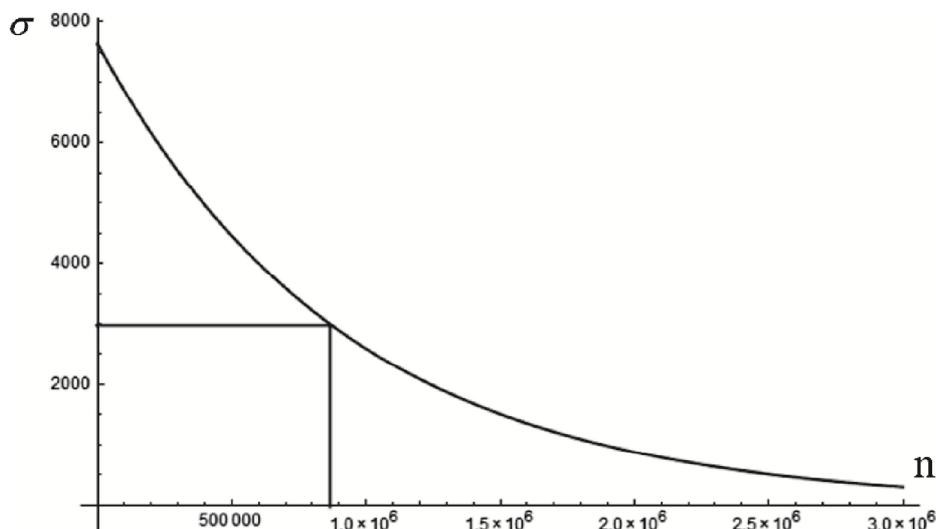


Рис. 2. Кривая Вёлера

Определив количество циклов n_m^* , рассмотрим задачу оценки долговечности здания. Найдем потерю ресурса за 1 год. Доля потери ресурса можно определить по следующему выражению:

$$\omega_m = N_m / n_m^* \quad (5)$$

где N_m – количество циклов нагружения в год.

Далее определяем общую долю потери ресурса здания:

$$w^{общ} = \sum_{i=1}^n w_m^i \quad (6)$$

Долговечность конструкции (t^*) можно теперь вычислить по следующей формуле:

$$t^* = 1 / w^{общ} \quad (7)$$

Представленная методика определения долговечности здания предназначена для инженерных исследований и не требует применения обширной статистической информации.

По данной методике были проведены численные эксперименты для 6, 12 и 15 этажных зданий с применением классов бетона В40, В50, В60, В70.

Рассмотрим, например, здание 2-ух секционное 12-этажное, из которых 12 типовых жилых этажей, и технический этаж, имеет размеры в осях 48×23 м. Имеются 2 лифта, лифтовой холл, незадымляемая лестница.

Сборный железобетонный каркас сформирован из несущей системы «УИКСС». Поперечная и продольная жесткость здания обеспечивается ядром жесткости, установкой диафрагм, а также созданием жесткого диска перекрытия.

Колонны сборные – железобетонные. Сечение колонн – 500×500 мм. Вертикальные стыки выполнены по типу штепсельного соединения арматуры в скважинах или отверстиях на полимерном растворе. Соединения сборных железобетонных плит перекрытий – надколонных, пролетных и межколонных – выполнены по типу штепсельного соединения.

Поперечные стержни ставят без расчета, но с соблюдением требований норм. Расстояние между ними (по условию обеспечения закрепления продольных стержней от бокового выпучивания при сжатии) должно быть при вязаных каркасах не более 15d и не более 500 мм. Диаметр хомутов в вязаных каркасах должен быть не менее 5 мм и не менее 0,25d, где d-наибольший диаметр продольных стержней. Толщина защитного слоя поперечных стержней должен быть не менее 15 мм.

Ветровые нагрузки воспринимаются ядром жесткости и диафрагмами жесткости, толщина которых составляет 200 мм. В качестве ограждающих конструкций

используется кладка из газобетонных блоков класса D600 толщиной 250 мм с вентилируемым фасадом.

Плиты перекрытия в системе принимаются железобетонными толщиной 160 мм. Межколонная плита выполнена с выпусками рабочей арматуры для соединения с пролетной плитой и скважинами для соединения с надколонной плитой. Плиты армируются сетками из арматуры класса А400. Пролетные моменты воспринимаются нижней рабочей арматурой, а опорные моменты – верхней рабочей арматурой. Защитный слой до рабочей арматуры принимается не менее 15 мм и не менее диаметра рабочей арматуры.

Район строительства – II, расчётное значение снеговой нагрузки (временной нагрузки на покрытие) по СП 20.13330.2011 составляет 240 кг/м². Система «каркас-фундамент-основание», состоящая из упругих элементов оболочки (плиты и диафрагмы жесткости) и стержней (колонны), с различными контурными условиями. Горизонтальные смещения фундамента приняты равными нулю. В расчетной модели отражены геометрические характеристики и материалы элементов каркаса (колонны, диафрагмы жесткости, плита перекрытия), условия сопряжения отдельных элементов друг с другом, нагрузки. Для обеспечения высокой точности расчета шаг триангуляции пластинчатых конечных элементов принят 0,4 м. Так же для формирования расчетной схемы и модели в пространстве использовался программный комплекс «САПФИР-2013».

На рис. 3 представлены графики зависимости долговечности t^* для 6, 12 и 15 этажных зданий от класса бетона В40, В50, В60, В70. В численных экспериментах рассмотрена самая нагруженная колонна с сечением 500x500мм.

В результате расчетов были построены следующие регрессионные функции:

- Для 6-ти этажного здания $t^* = -10,9x^3 + 92,42x^2 - 191,51x + 322,76$;

- Для 12-ти этажного здания $t^* = -3,7775x^2 + 52,438x + 22,778$;

- Для 15-ти этажного здания $t^* = -2,9775x^2 + 46,342x - 29,532$.

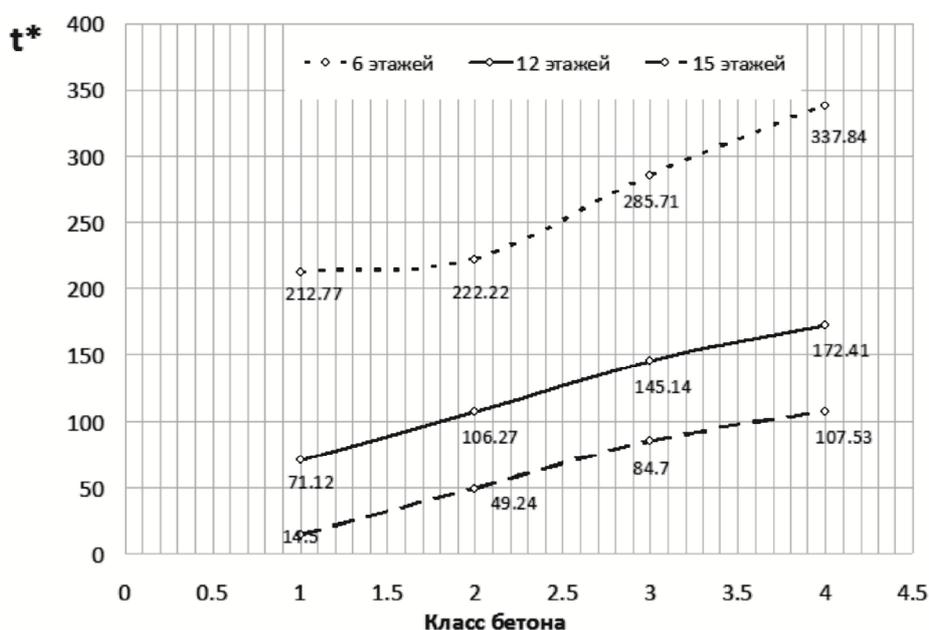


Рис. 3. Диаграмма зависимости долговечности здания от класса бетона

Построим зависимости долговечности здания от изменения ветровой пульсационной нагрузки. Для того, чтобы определить зависимость долговечности здания или элемента от изменения ветровой пульсационной нагрузки, рассмотрим жилое здания с разным количеством этажей (6, 12, 15) и будем варьировать нагрузку $\pm 30\%$. Жилое здание такое же, нагрузки те же. Рассчитываем самую нагруженную колонну с сечением 500x500 мм. Применяется класс бетона В70. результаты расчетов приведены на рис. 4.

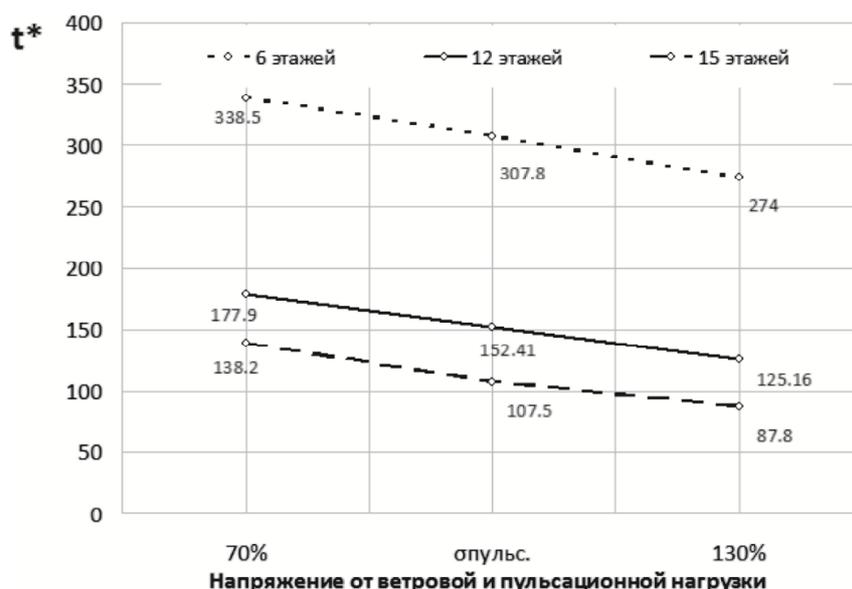


Рис. 4. Диаграмма зависимости долговечности здания от варьирования напряжения ветровой и пульсационной нагрузки

Заключение

1. Разработана методика оценки срока службы конструкции типа многоэтажного железобетонного жилого здания.
2. Построена конечно-элементная модель многоэтажного жилого здания с учетом изменения класса бетона и варьирования ветровой пульсационной нагрузки.
3. Проведены численные эксперименты на длительную прочность железобетонных зданий в зависимости от класса бетона и варьирования ветровой пульсационной нагрузки.
4. Построены регрессионные функции по определению долговечности в зависимости от класса бетона и варьирования ветровой пульсационной нагрузки.

Выводы

1. Долговечность многоэтажного железобетонного жилого здания возрастает при увеличении класса бетона.
2. Долговечность растет при уменьшении количества этажей многоэтажного железобетонного жилого здания.
3. Долговечность железобетонного здания падает при увеличении пульсаций ветровой нагрузки.

Список библиографических ссылок

1. Болотин В. В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М. : АН СССР, 1977. С. 86–93.
2. Kayumov R. A., Tazyukov B. F., Muhamedova I. Z. Nonlinear problems of stability cylindrical panels with imperfection // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 158. P. 01025.
3. Ерышев В. А., Латышева Е. В., Малыш А. С. Определение эксплуатационных параметров качества железобетонных конструкций в составе здания без их физического разрушения путем натурных испытаний // Известия КГАСУ. 2015. № 1 (31). С. 75–79.
4. Каюмов Р. А., Мухамедова И. З., Туйсина Е. Б. Расчет балки с трещиной, находящейся под действием неравномерной циклической нагрузки // Известия вузов. Авиационная техника, КНИТУ. 2016. № 4. С. 13–19.
5. Симаков В. Д., Никитин Г. П. Компьютерное моделирование оголовка железобетонной колонны в ПК «ANSYS». Казань : КГАСУ, 2015. 27 с.

6. Martinola G., Meda A., Plizzari G. A., Rinaldi Z. Strengthening and repair of RC beams with fiber reinforced concrete // Cement and concrete composites. 2010. № 9. P. 731–739.
7. Куприянов В. Н., Альтапов С. Р. Моделирование ветровых воздействий изменением формы здания // Известия КГАСУ. 2016. № 2 (36). С. 100–104.
8. Дубинский С.И. Численное моделирование ветровых воздействий на высотные здания и комплексы. М. : МГСУ, 2010. 198 с.
9. Савицкий Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения. М. : Стройиздат, 1972. 110 с.
10. Верюжский Ю. В., Колчунов В. И. Методы механики железобетона. Курск : НАУ, 2005. 653 с.

Kayumov R.A. – doctor of physical and mathematical sciences, professor

E-mail: kayumov@rambler.ru

Muhamedova I.Z. – candidate of physical and mathematical sciences

E-mail: muhamedova-inzilija@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya, st., 1

Krasilnikov V.O. – design engineer

E-mail: vespeer@mail.ru

LTD «Estel»

The organization address: 420101, Russia, Kazan, Khusain Mavlyutov st.,44

Tazyukov B.F. – candidate of physical and mathematical sciences

E-mail: bulat.tazioukov@kpfu.ru

Kazan Federal University

The organization address: 420008, Russia, Kazan, Kremlevskaya st., 18

Development of the design procedure for structural elements of multi-storey residential building for durability

Abstract

Problem statement. Development of a numerical methodology for calculating a multi-storey reinforced concrete structure for durability.

Results. A technique for determining the resource of a multi-storey reinforced concrete residential building under the influence of static and dynamic loads has been developed, and the service life of the structure has been determined. A finite-element model of a multi-storey residential building has been constructed, taking into account changes in the class of concrete and variation of the wind pulsation load. Numerical experiments were carried out for long-term strength.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry lies in the fact that the durability of a multi-storey reinforced concrete residential building increases with increasing class of concrete. Also, longevity grows with a reduction in the number of floors of a multi-storey reinforced concrete residential building. When the ripple of the wind load increases, the durability of the building falls.

Keywords: technique, model, durability, reinforced concrete building, long-term strength, numerical experiment.

References

1. Bolotin V. V. Methods of probability theory and reliability theory in calculations of structures. M. : AN SSSR, 1977. P. 86–93.
2. Kayumov R. A., Tazyukov B. F., Muhamedova I. Z. Nonlinear problems of stability cylindrical panels with imperfection // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 158. P. 01025.
3. Erishev V. A., Latisheva E. V., Malish A. S. Determination of the operational parameters of the quality of reinforced concrete structures in the structure of the building without their physical destruction by full-scale tests // Izvestiya KGASU. 2015. № 1 (31). P. 75–79.

4. Kayumov R. A., Muhamedova I. Z., Tuisina E. B. Calculation of a beam with a crack under the influence of an uneven cyclic load // *Izvestija vusov. Aviacionnaja tehnika, KNITU*. 2016. № 4. P. 13–19.
5. Simakov V. D., Nikitin G. P. Computer modeling of the head of the reinforced concrete column in the PC «ANSYS». Kazan : KGASU, 2015. 27 p.
6. Martinola G., Meda A., Plizzari G. A., Rinaldi Z. Strengthening and repair of RC beams with fiber reinforced concrete // *Cement and concrete composites*. 2010. № 9. P. 731–739.
7. Kupryanov V. N., Altapov S. R. Modeling of wind influences by changing the shape of a building // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 2 (36). P. 100–104.
8. Dubinskiy S. I. Numerical simulation of wind effects on high-rise buildings and complexes. M. : MGSU, 2010. 198 p.
9. Savickiy G. A. Wind load on structures. M. : Stroyisdat, 1972. 110 p.
10. Veryushskiy Y. V., Kolchunov V. I. Methods of mechanics of reinforced concrete. Kursk : NAU, 2005. 653 p.