

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ / ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND STRUCTURES. CREATIVE CONCEPTS OF ARCHITECTURAL ACTIVITY

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2022.25.1>

К ВОПРОСУ О РАБОТЕ СТАЛЬНЫХ КАРКАСОВ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ В СЕЙСМООПАСНЫХ УСЛОВИЯХ

Научная статья

Абдурахманов А.З. *

Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

* Корреспондирующий автор (aa63108[at]yandex.ru)

Аннотация

В работе описана актуальность расчета зданий на сейсмические воздействия для территории России. Указано на преимущества использования стальных конструкций в каркасах офисных многоэтажных зданий, и приведены факторы, которые влияют на металлоемкость. Отмечено, что в России успешно развиваются исследования по оптимизации металлических конструкций, но их практическое внедрение в проектную практику сдерживает высокая трудоемкость и специализированность задач. Оптимальное конструктивное решение каркаса многоэтажного здания следует искать с учетом многих факторов и ограничений, что затрудняет расчеты. Цель моделирования достигается путем разработки автоматизированной компьютерной системы оптимизации на основе объединения в единый комплекс существующих пригодных компьютерных программ. Основой построения комплекса является логикографический программный процессор Grasshopper 3D, который позволяет создать каркас здания с последующим варьированием геометрических и других параметров каркаса. В комплексе также использован ряд соединенных между собой существующих программ: Rhino 3D; SAP2000; Excel и др. Разработана модель общественного здания с металлическим каркасом в программном комплексе SCAD. Выполнен расчет на статические нагрузки и сейсмические интенсивностью в 5, 6 и 7 баллов. Проверено целесообразность увеличения сечения на 20% при проектировании сейсмостойких здания. Выполнено усиление каркаса здания установкой дополнительных конструктивных элементов. На основе полученных данных проведен анализ и даны рекомендации для проектирования.

Ключевые слова: расчетная модель, перемещение, напряжение, сейсмические напряжения, метод конечных элементов (МКЭ), жесткость, демпфирование, сейсмичность.

ON THE ISSUE OF THE OPERATION OF STEEL FRAMES OF MULTI-STOREY BUILDINGS IN EARTHQUAKE-PRONE CONDITIONS

Research article

Abdurakhmanov A.Z. *

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

* Corresponding author (aa63108[at]yandex.ru)

Abstract

The paper describes the relevance of calculating buildings for seismic impacts on the territory of Russia. The authors indicate the advantages of using steel structures in the frames of office multi-storey buildings as well as the factors that affect the metal intensity. It is noted that in Russia, the research on the optimization of metal structures is undergoing successful development; however, their practical implementation in design practice is hindered by the high complexity and specialization of tasks. The optimal design solution for the frame of a multi-storey building should be sought while taking into account many factors and limitations, which complicates calculations. The purpose of modeling is achieved by developing an automated computer optimization system based on combining existing suitable computer programs into a single complex. The basis for the construction of the complex is a logicographic software processor Grasshopper 3D, which allows for creating a building frame with subsequent variation of geometric and other parameters of the frame. The complex also uses a number of interconnected existing programs such as Rhino 3D; SAP2000; Excel, etc. The study also introduces a model of a public building with a metal frame in the SCAD software package. The calculation was made for static loads and seismic intensities of 5, 6 and 7 points. The study also verifies expediency of increasing the cross-section by 20% in the design of earthquake-resistant buildings. The reinforcement of the building frame was carried out by installing additional structural elements. Based on the data obtained, the authors conduct an analysis and provide design recommendations.

Keywords: calculation model, displacement, stress, seismic stresses, finite element method (FEM), stiffness, damping, seismicity.

Введение

Во всех странах с древних времен необходимость возведения многоэтажных зданий обуславливалась ростом населения городов, а в дальнейшем - дефицитом земли под застройку, а также необходимостью рационального использования ресурсов. При этом стальная каркасная система до сих пор используется при проектировании высотных зданий, на данный момент разработано много новых конструктивных схем многоэтажных каркасов, которые позволяют возводить здания практически любой высоты.

В связи с постоянным ростом стоимости земли под застройку в крупных городах растет также и высотность зданий, в том числе, возводимых в центральных частях городов. Кроме того, технический прогресс, то есть разработка новых материалов более высокой прочности, совершенствование конструктивных схем зданий, методов их возведения и расчета, создает новые технические возможности для возведения зданий все большей высоты. При этом экономическая необходимость возведения высотных зданий непосредственно влияет на технический прогресс, заставляя людей совершать новые разработки в строительной сфере, что в конечном итоге приводит к появлению новых высотных зданий. Высота современных зданий в сотни раз отличается от высоты первых зданий с металлическим каркасом, что, несомненно, подтверждает желание людей покорять новые высоты. Расчет конструкций и фундаментов зданий и сооружений для строительства в сейсмических районах России должен выполняться на основные и особые сочетания нагрузок с учетом сейсмических воздействий. В особое сочетание нагрузок входят постоянные, возможные долговременные и кратковременные нагрузки, сейсмические воздействия, а также действия, которые обусловлены деформациями основания при замачивании просадочных грунтов.

Цель статьи – исследование работы стальных каркасов многоэтажных зданий в сейсмоопасных условиях.

Основные результаты

Исторически сложилось, что в России дома повышенной этажности начали строить для государственных учреждений, гостиниц и т.д., а несколько позже - в качестве жилых домов. Итак, строительная отрасль имеет определенную практику и традиции проектирования и строительства зданий повышенной этажности с металлическим каркасом. Стоит отметить, что в домах с высотой около 100 м себестоимость квадратного метра площади растет по отношению к малоэтажным домам не более чем на 10-15%, но с увеличением высоты более 100 м рост себестоимости ускоряется [1]. Это связано прежде всего с необходимостью обеспечения жесткости дома пропорционально ступенчатому росту ветровых нагрузок.

Опыт развитых стран и приобретенный опыт российских строителей способствует росту в будущем объемов строительства в России офисных высотных (до 100 м) домов со стальным каркасом. Строительство коммерческой офисной недвижимости с применением стальных конструкций дает следующие основные преимущества [3]: уменьшается продолжительность строительства, вес здания, количество рабочих; увеличивается полезная площадь через компактность сечений колонн. Такие дома легче реконструировать, а интерьер имеет архитектурную выразительность и эстетику. Этим объясняется постоянно растущая доля стальных каркасов в офисном строительстве в развитых странах мира, а также и в России. Размещение колонн и балок в плане, в первую очередь, зависят от этажности, архитектурно-планировочного решения здания и нагрузок. На расходы металла существенно влияет расстояние между колоннами. При большем шаге масса колонн обычно снижается, а масса ригелей увеличивается, при меньшем - наоборот. Шаг сетки колонн зависит от многих факторов и обычно проводится на основе метода идентификации (аналогично решению в прошлых проектах), в зависимости от габаритов технологического оборудования, по традиции бывшей модульной системы или, в отдельных случаях, вариантным проектированием. В последнем случае, выбирают лучший вариант из сравниваемых, предназначенных практически (экспертным методом) вариантов по определенным технико-экономическим показателям. Правильный выбор конструктивной формы многоэтажного здания уже на предпроектной стадии позволяет сэкономить капитальные затраты на его возведение и жизненный цикл, сделать максимально эргономичным для пользователей и полезным в системе города.

В России уже в течение нескольких десятилетий успешно ведутся исследования в чрезвычайно актуальном направлении для улучшения проектирования - оптимизации металлических конструкций и конструктивных решений зданий [4]. Оптимизационные задачи, пока, в основном выполняются узко специализировано, в ручном режиме с компьютеризацией расчетов в отдельных этапах. Основным недостатком современной системы оптимизации конструктивных решений металлических конструкций является необходимость высокой квалификации исполнителей, большая трудоемкость, а соответственно ее высокая стоимость и продолжительность работ.

Логическим следующим шагом развития оптимизации стальных конструкций является создание систем одностадийного оптимального проектирования. Такие системы, изначально возникнув в авиации, где несущая конструкция, внешняя форма и функция очень тесно связаны внешними ограничениями и многими жесткими критериями, уже сейчас пришли в машиностроение и проектирование кораблей и автомобилей. Постепенно системы одностадийного оптимального проектирования внедряются и в строительство.

Важным направлением исследования является создание автоматизированной компьютерной системы одностадийного поиска оптимального, конструктивного решения стального каркаса офисного здания высотой 100 м с центральным ядром (стволом) жесткости. Критерием оптимизации на данном этапе избрана металлоемкость стального каркаса. Рабочая гипотеза исследования предполагает поиск и объединение в единый комплекс существующие пригодные компьютерные программы, позволяющие создать методику и комплекс выбора оптимального, по выбранному критерию, конструктивного решения стальной части каркаса офисного здания высотой до 100 м.

Поскольку оптимизация предполагает варьирование параметров каркаса, в первую очередь, было использовано логико-графический программный процессор Grasshopper 3D [8]. Это программа - инструмент для генеративного моделирования параметрической архитектуры в графической среде Rhino 3D [9]. Процесс моделирования в программе Grasshopper 3D - это создание алгоритма в логико-графическом («нодовом») интерфейсе. Это означает, что скрипторграммные модули не пишутся только в виде кода, а визуально представлены в рабочей оболочке среды, где пользователь задает Ноды (компоненты или «батарейки», суть блок-схемные иконы) и некоторые опции - критерии, ограничения и т.д. (см. рисунок 2). Алгоритм описывает взаимозависимости элементов здания от входных параметров, ограничений, критериев и между собой, и состоит из выходных данных или параметров (чисел, геометрии или других данных) и последовательности действий с ними. В результате на выходе алгоритма генерируются выбранные параметры - такие как геометрия, количественные показатели и смежная информация (объемы, размеры, площади и т.д.). В любой

момент выходные данные можно изменить (например, количество колонн в ряду, высоту этажа, пролет балки и т. д.) и вся модель перестроится (со скоростью введения новых исходных данных) и изменятся конечные указанные при моделировании расчётные показатели.

Отличие генеративного алгоритмического (параметрического) моделирования от традиционного заключается прежде всего в том, что создается не просто модель, а логическая система, с которой можно получить модель при произвольных других исходных данных из области допустимых значений (см. рисунки 1-3). Создав программу-скрипт один раз, ее можно многократно использовать и редактировать по-новому. Увеличение количества элементов, осложнения и умножения связей между ними, введение новых параметров и критериев и накопление информации о принятых решениях и решенных задачах предоставляют образованной программе свойства системы искусственного интеллекта. Моделирование компьютерного комплекса для поиска оптимального решения для выбранного объекта на первом этапе исследований принято от вертикальных нагрузок, а в дальнейшем есть возможность задания динамических, температурных, ветровых и других нагрузок. В качестве критерия оптимизации стального каркаса офисного здания на данном первоначальном этапе принята минимальная металлоемкость. Опираие балок на колонны и ядро жесткости принято шарнирными.

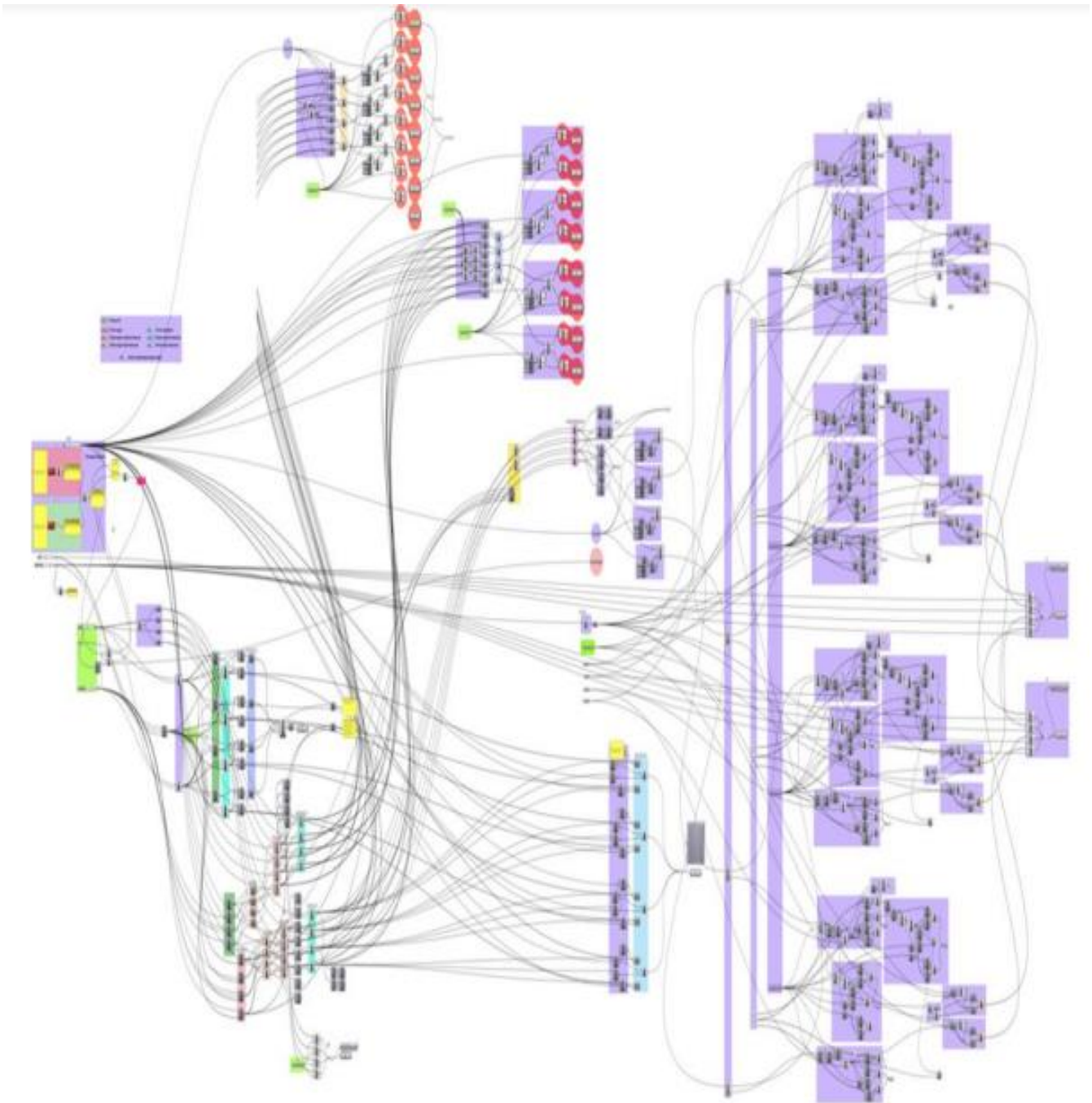


Рис. 1 – Пример фрагмента топологии «монтажной» схемы алгоритмической модели каркаса здания с демонстрацией возможности присоединения внешних выходов и входов информации

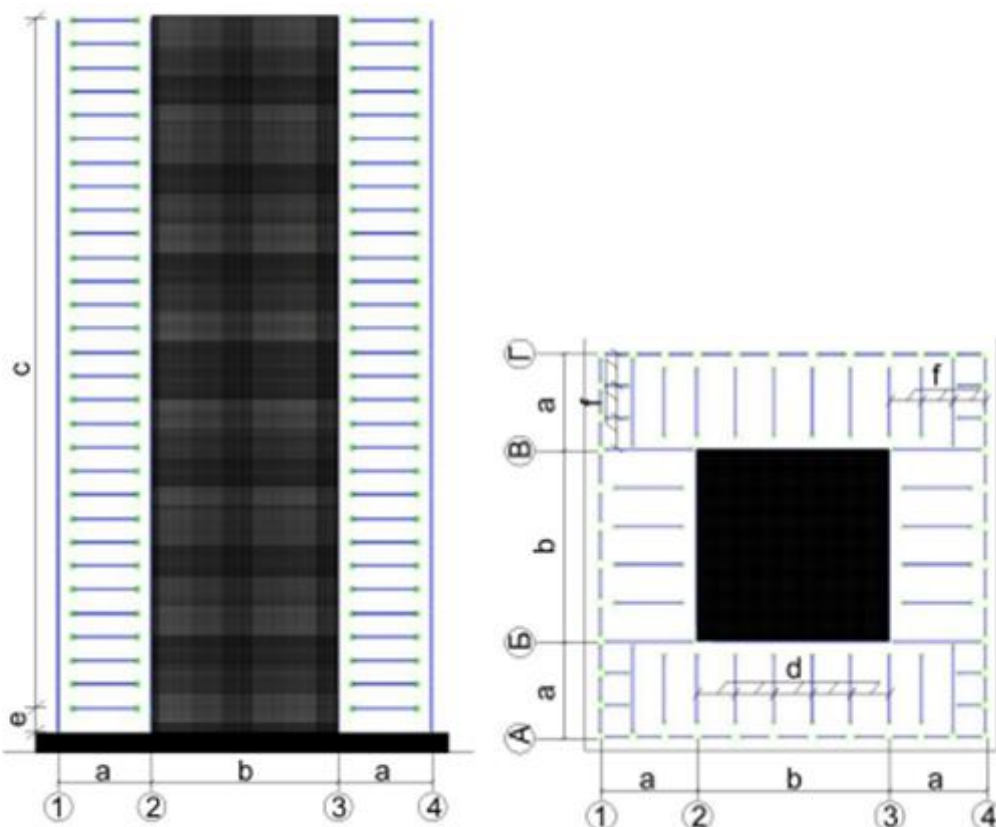


Рис. 2 – План и разрез конструктивной системы здания:

a - расстояние от крайней фасадной колонны к ядру жесткости; b - ширина и длина ядра жесткости; c - высота здания 100 м + (-) 10м; e - высота этажа от 4,2м до 4,6м; d - расстояние между колоннами и балками в пределах ядра жесткости от 1,8 до 5,2м; f - расстояние между колоннами и балками за чертой ядра жесткости от 2,0 м до 4,3 м.

Разработка выполнена на основе ряда существующих программ: Rhino 3D - Grasshopper - SAP-2000 - Excel и с возможностью импорта в такие программы как: Revit, Tekla Structure, Autocad, 3D-мак и другие (см. рисунок 3).

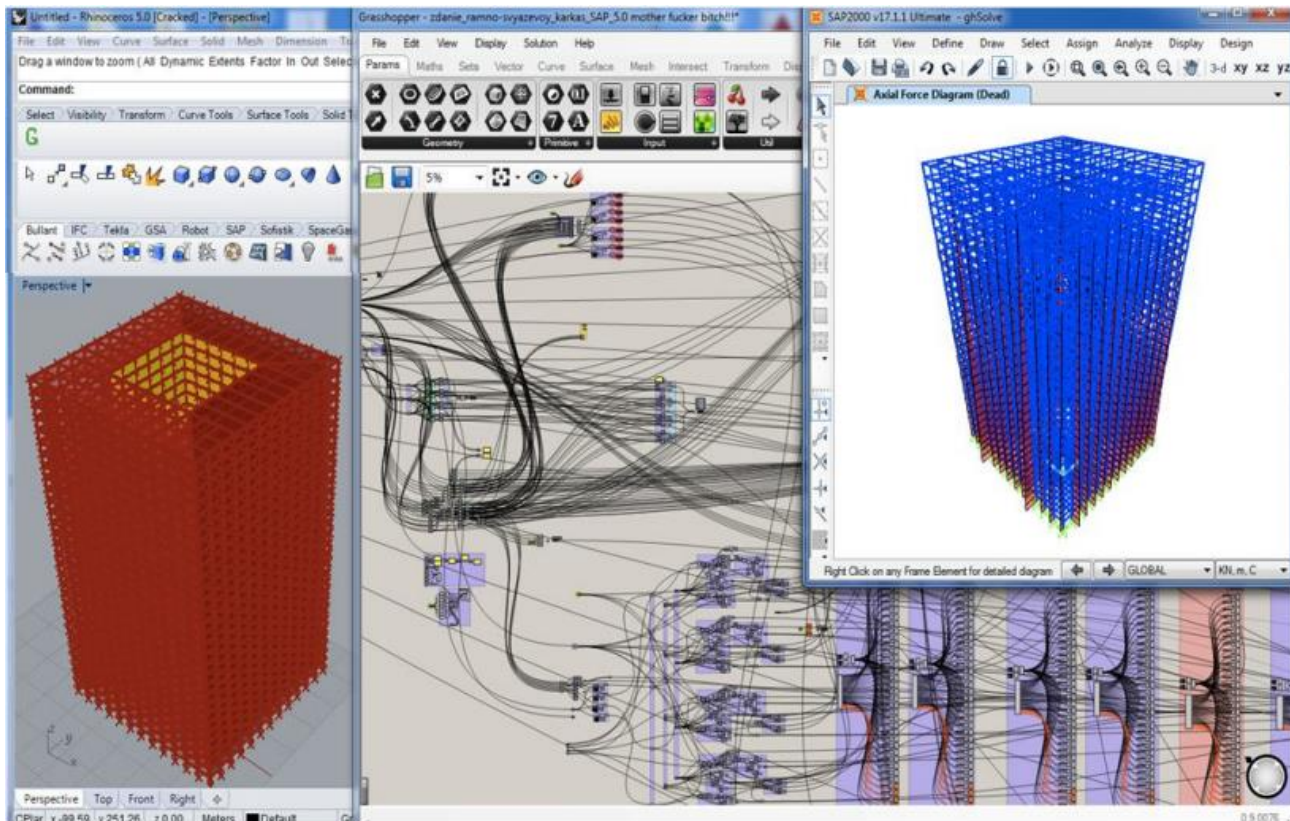


Рис. 3 – Визуальное представление здания в расчетном компьютерном комплексе

Программный комплекс в соответствии с целевой функцией способен в автоматическом режиме перебирать возможные варианты геометрии каркаса с вычислением усилий, поперечных сечений, веса конструкции и в конечном итоге выдать оптимальный (с наименьшей металлоемкостью) вариант геометрии и топологии каркаса. Алгоритмическая функция, которая рассматривается, может быть классифицирована как статическая, а не выпуклая, полимодальная, нелинейная, дискретная, разрывная, недифференцируемая и частично сепарабельная. Для алгоритмической оптимизации таких функций в качестве математического аппарата Grasshopper 3D использует на выбор два инструмента эвристического поиска: метод генетических алгоритмов [5] и контролируемого отжига [6]. Сравнение указанных методов требует отдельного рассмотрения. Отметим пока только, что последний, хотя и требует больше машинного времени на поиск, дает лучшую сходимость по достижению глобального оптимума при сильно нелинейных задачах [7].

Переменные величины в геометрии каркаса здания для поиска оптимального варианта: на первом этапе наших тестовых испытаний программного комплекса нами были заданы следующие входные данные:

- длины балок (12,5м) и высота колонн (4,2м) оставались неизменными;
- количество колонн, а соответственно и балок, принято 11 с возможностью увеличения до 21 на длине фасада в 50м.
- нагрузка на 1м² перекрытия в размере 12 кН.

Промежуточные результаты работы программного комплекса подтвердили его пригодность к решению поставленных задач и достоверность полученных результатов на тестовых примерах. В дальнейшем планируется разработать количество конструктивных схем для тестовых задач, а также увеличить количество нагрузок до реальных.

При определении расчетных значений горизонтальных сейсмических нагрузок на здания и сооружения высотой H , превышающей в два и более раз его ширину B и длину L допускается принимать расчетную схему в виде многомассового упруго-деформированного консольного стержня, жестко закрепленного на основании, несущего сосредоточенные массы весом Q_k , на уровне перекрытий, и совершающего колебательное движение по одному из направлений (x или y). При ширине здания B , в три и более раз меньше двух других его размеров (H и L), допускается принимать расчетную схему в виде многомассовой упругодеформированной перекрестной системы с сосредоточенными в узлах массами, расположенными на уровне перекрытий. Как правило, рекомендуется использовать пространственные расчетные динамические модели с сосредоточенными в узлах массами.

Для определения изменений значений напряжения и перемещения была принята заданная конструктивная схема здания в программном комплексе SCAD. Здание было принято неправильной формы, состоящее из двух блоков. Первый блок представляет собой 14-этажное здание с типичным шагом колонны 6×6 м. Размеры в плане 18×30 м. Высота этажа 3 м. Второй блок представляет собой 10-этажное здание с размерами в плане 9×9 м. Каркас металлический. Жесткость здания обеспечена системой вертикальной вязки – табл. 1–2.

Таблица 1 – Значения коэффициентов комбинации для статических нагрузок

Виды нагрузок	Значение коэффициента сообщений, ψ_c
1. Постоянные нагрузки	1
2. Длительные нагрузки	0,95
3. Кратковременные нагрузки	0,9

Таблица 2 – Значения коэффициентов сочетаний для сейсмической нагрузки

Виды нагрузок	Значение коэффициента сообщений, ψ_c
1. Постоянные для железобетонных, каменных и деревянных конструкций	0,9
2. То же для металлических конструкций	0,95
3. Временные длительные	0,8
4. Кратковременные (на перекрытия и покрытия)	0,5

Для исследования изменения напряжений и перемещений в металлическом каркасе общественного здания были приложены нагрузки в 5, 6, и 7 баллов. Для избранных для анализа элементов каркаса подсчитаем напряжение и перемещение при сейсмической нагрузке и сравним со статическими. В зависимости от того во сколько раз увеличились исследуемые характеристики будут рекомендованы способы увеличения сейсмостойкости каркаса. При расчете были учтены самые невыгодные сочетания нагрузок – рисунок 4.

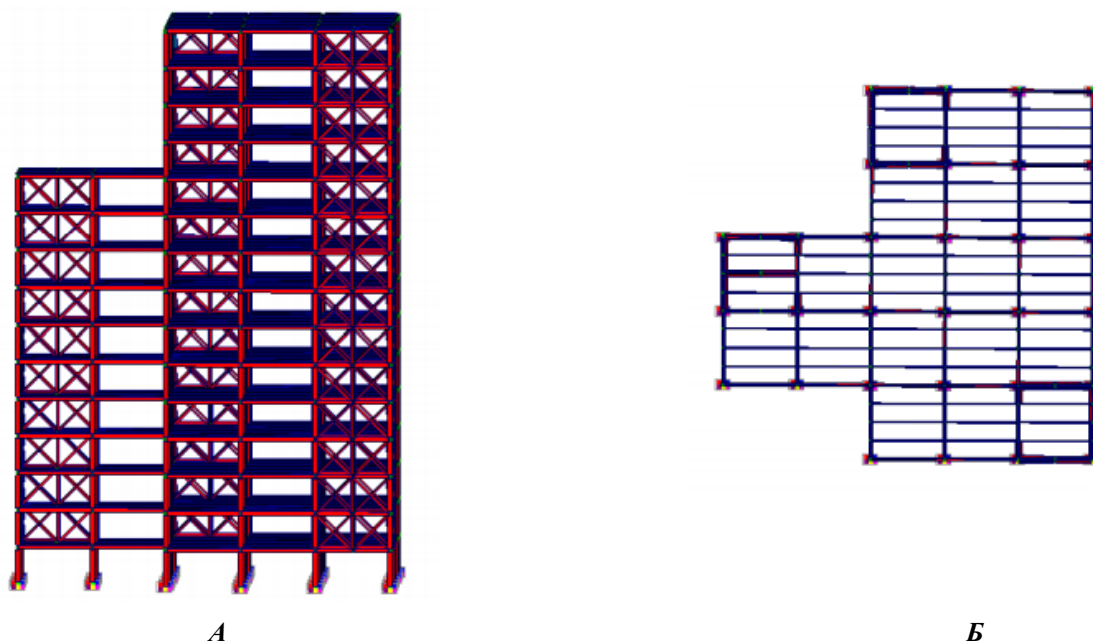


Рис. 4 – Схема статистических нагрузок:
 А - расчетная схема в разрезе; Б - расчетная схема в плане

К схеме приложены следующие нагрузки: собственный вес конструкции, ветровая и снеговая нагрузка, полезная нагрузка. Нагрузки собраны в расчетные сочетания нагрузок с соответствующими коэффициентами. После нагрузки и расчета были получены следующие результаты: Нормативные перемещения здания: $H / 500 \geq \Delta = 42000 / 500 = 84 \text{ мм} \geq 62,27 \text{ мм}$; - условие выполняется. Устойчивость здания обеспечена.

Для анализа выбраны характерные элементы, а именно колонны и главные балки на первом, пятом, десятом и четырнадцатом этажах. На рисунке 5 а, б показаны избранные колонны и балка для анализа соответственно.

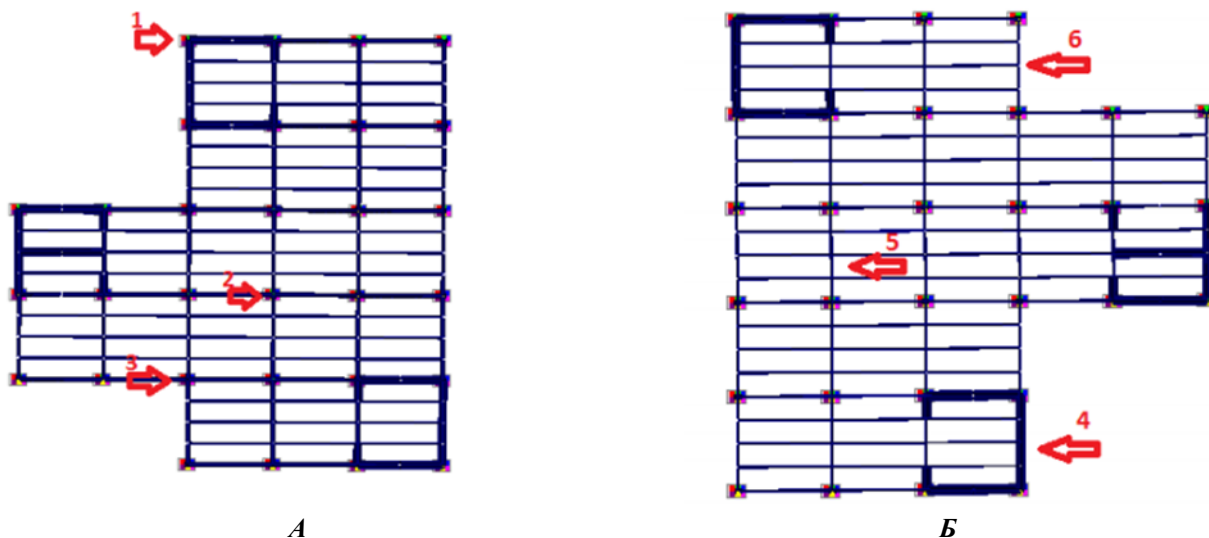


Рис. 5 – Избранные колонны и балка для анализа:
 А - избранные колонны для анализа; Б - избранные главные балки для анализа

В дальнейшем полученные результаты понадобятся для сравнения напряжений и перемещений со значениями при сейсмической нагрузке в 5,6 и 7 баллов. Проанализируем на сколько изменились напряжения и перемещения в характерных точках при сейсмической нагрузке в 5 баллов.

Согласно полученным данным, можно сделать выводы:

- перемещение каркаса здания при сейсмической нагрузке интенсивностью 6 баллов в 3.5 раза превышает максимально допустимые;
- напряжения в элементах при сейсмическом нагрузке интенсивностью в 6 баллов в колоннах первого этажа среднего ряда увеличились в 1.5 раза, а напряжение в главных балках увеличилось в 2 раза.

Аналогично предыдущему расчету выполним расчет и анализ напряжений и перемещений от сейсмической нагрузки интенсивностью в 7 баллов. Согласно полученным данным, можно сделать выводы:

- перемещение каркаса здания при сейсмическом нагрузке интенсивностью 7 баллов в 6.5 раза превышает максимально допустимые;
- напряжения в элементах при сейсмическом нагрузке интенсивностью в 6 баллов в колоннах первого этажа

среднего ряда увеличились в 2 раза, а напряжение в главных балках увеличились в 2.1 раза

Для анализа эффективности данного метода выполним анализ для сейсмической нагрузки интенсивностью 6 баллов. Полученные данные занесем в таблицу 3 и выполним сравнения.

Таблица 3 – Расчет нагрузок для сейсмической нагрузки интенсивностью 6 баллов

Номер элемента	Этаж	Сейсмические в 6 баллов		Сейсмические в 6 баллов (+ 20%)	
		Напряжение, σ , кг / см ²	Перемещение, Δ , мм	Напряжение, σ , кг / см ²	Перемещение, Δ , мм
1	1(0,000)	2104,7	28,63	2476,94	24,39
1	5(+15,000)	2264,74	75,58	2142,36	65,84
1	10(+30,000)	1450,59	144,32	1405,78	126,54
1	14(+42,000)	1491,58	190,42	1387,54	166,78
2	1(0,000)	3207,3	29,72	3036,55	24,16
2	5(+15,000)	3223,97	87,06	3162,34	73,19
2	10(+30,000)	2767,6	166,18	2508,08	141,26
2	14(+42,000)	1905,4	219,28	1787,29	187,25
3	1(0,000)	2425,48	27,68	2101,69	22,6
3	5(+15,000)	2438,78	81,43	2120,79	68,73
3	10(+30,000)	1962,19	155,41	1914,09	122,6
3	14(+42,000)	1503,15	206,07	1453,81	176,74
4	1(0,000)	1913,21	22,28	1961,53	18,55
4	5(+15,000)	1634,46	59,74	1358,89	53,74
4	10(+30,000)	1597,55	144,32	1453,59	123,84
4	14(+42,000)	1502,79	190,42	1491,04	165,09
5	1(0,000)	2645,57	16,65	2877,34	12,99
5	5(+15,000)	2528,65	79,04	2111,19	66,51
5	10(+30,000)	2406,7	185,15	1985,12	157,75
5	14(+42,000)	1611,22	243,09	1524,42	208,07
6	1(0,000)	2882,76	15,81	2920,39	12,47
6	5(+15,000)	2813,8	71,2	2909,21	60,22
6	10(+30,000)	2700,66	165,61	2626,59	142,34
6	14(+42,000)	1930,79	219,92	1520,68	190,11

Согласно полученным данным, можно сделать выводы:

- перемещение каркаса здания при сейсмической нагрузке интенсивностью 6 баллов при увеличении сечений на 20% уменьшились на 40 мм по сравнению с перемещениями при сечениях, которые удовлетворяют статической нагрузке;

- напряжение в элементах при сейсмической нагрузке интенсивностью в 6 баллов при увеличении сечений основных несущих элементов каркаса общественного здания уменьшилось в 1.2 раза;

- напряжение и перемещение не удовлетворяют требованиям предельных состояний. Увеличение сечения не является эффективным методом сейсмозащиты.

Для анализа изменения напряжений и перемещений в металлическом каркасе общественного здания установим дополнительные системы связей, которые устанавливаются в продольном и поперечном направлении – рис. 6.

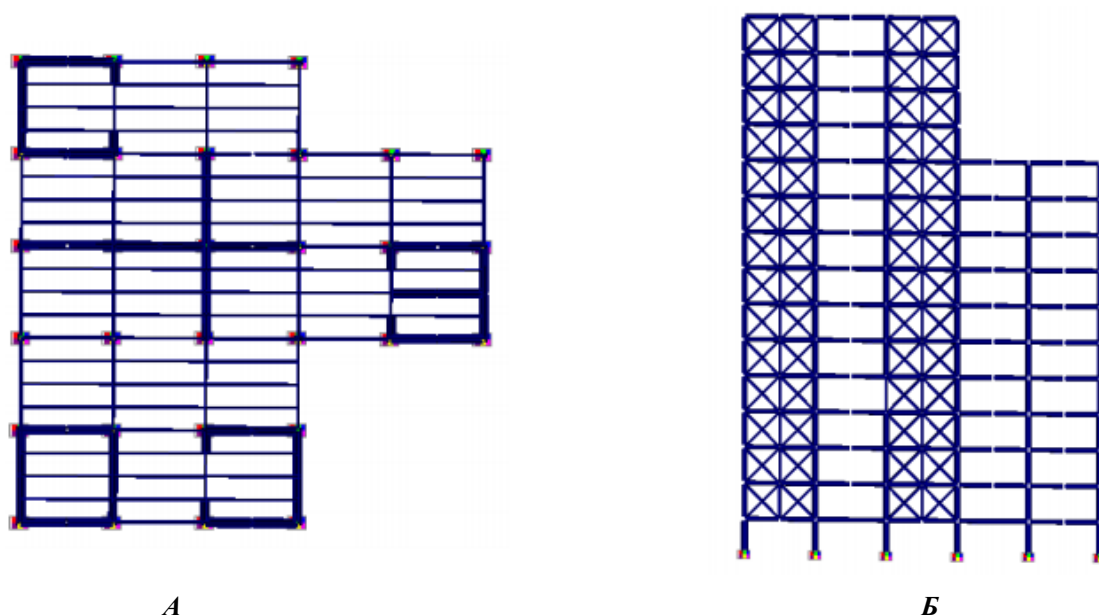


Рис. 6 – Дополнительные системы связей, которые устанавливаются в продольном и поперечном направлении: А – схема расположения дополнительных связей в плане; Б – схема расположения связей в поперечном направлении

Для анализа эффективности данного метода выполним анализ для сейсмической нагрузки интенсивностью 6 баллов. Полученные данные занесем в таблицу 4 и выполним сравнения.

Таблица 4 – Расчет нагрузок для сейсмической нагрузки интенсивностью 6 баллов после внедрения дополнительных системы связей, которые устанавливаются в продольном и поперечном направлении

Номер элемента	Этаж	Сейсмические в 6 баллов		Сейсмические в 6 баллов (+ 20%)	
		Напряжение, σ , кг / см ²	Перемещение, Δ , мм	Напряжение, σ , кг / см ²	Перемещение, Δ , мм
1	1(0,000)	2104,7	28,63	2484,7	10,29
1	5(+15,000)	2264,74	75,58	1583,25	22,97
1	1(+30,000)	1450,59	144,32	1684,18	42,49
1	14(+42,000)	1491,58	190,42	1488,77	55,37
2	1(0,000)	3207,3	29,72	2085,37	12,07
2	5(+15,000)	3223,97	87,06	1875,28	29,8
2	1(+30,000)	2767,6	166,18	1767,07	51,54
2	14(+42,000)	1905,4	219,28	1402,66	65,46
3	1(0,000)	2425,48	27,68	1852,1	11,14
3	5(+15,000)	2438,78	81,43	1683,95	26,37
3	1(+30,000)	1962,19	155,41	1743,55	45,89
3	14(+42,000)	1503,15	206,07	1348,94	58,22
4	1(0,000)	1913,21	22,28	1621,08	9,44
4	5(+15,000)	1634,46	59,74	1476,75	19,23
4	10(+30,000)	1597,55	144,32	1458,58	42,67
4	14(+42,000)	1502,79	190,42	1423,92	55,37
5	1(0,000)	2645,57	16,65	2570,08	8,94
5	5(+15,000)	2528,65	79,04	2370,31	27,18
5	10(+30,000)	2406,7	185,15	2187,39	57,41
5	14(+42,000)	1611,22	243,09	1931,52	74,33
6	1(0,000)	2882,76	15,81	2727,59	9,1
6	5(+15,000)	2813,8	71,2	2366,24	22,98
6	10(+30,000)	2700,66	165,61	2273,94	46,52
6	14(+42,000)	1930,79	219,92	1799,89	59,61

Согласно полученным данным, можно сделать выводы:

- посредством установления связей удалось уменьшить перемещение до предельного.
- напряжение в элементах каркаса тоже уменьшилось в среднем на 1.1 раза.
- установление дополнительных конструктивных элементов является эффективным методом сейсмозащиты здания при интенсивности нагрузки в 6 баллов, но для 7 баллов этого метода недостаточно. Необходимо использовать специальные методы сейсмозащиты.

Заключение

Таким образом, в работе обоснованно принципиальную возможность создания и описано практическую реализацию примера программного комплекса на основе существующих отдельных программ для оптимизации каркасов высотных зданий с высотой до 100м. Выбор оптимального решения с помощью перспективного программного обеспечения выполняется в течение нескольких минут, а не недель и месяцев, что позволяет получить значительную экономию средств и времени и принять правильное решение уже на предпроектной стадии.

Анализируя полученные данные при расчетах, можно сделать следующие рекомендации для проектирования в сейсмоопасных районах Российской Федерации:

1. Для строительства в зоне вероятного землетрясения интенсивностью в 5 баллов нет смысла использовать специальные сейсмозащитные мероприятия. Достаточно использовать при строительстве высокопрочные стали. Перемещения незначительно превышают максимально допустимые при наиболее невыгодных углах приложения силы. Существуют комбинации сейсмической нагрузки при которых напряжения и перемещения не превышают предельные значения.

2. Для проектирования каркасных зданий в зоне, где возможно землетрясение интенсивностью в 6 баллов необходимо принимать специальные сейсмозащитные средства. Для обеспечения устойчивости и прочности здания достаточно выполнять традиционные средства. На примере общественного здания было определено, что достаточно постановки горизонтальных продольных и поперечных связей и использовать высокопрочные стали. Также было определено, что увеличение сечений несущих конструкций на 20% не обеспечивает выполнение условий предельных состояний.

3. Для проектирования каркасных зданий в зоне сейсмичности 7 баллов не имеет смысла использовать традиционные средства сейсмозащиты. В таком случае необходимо устанавливать специальные средства.

Тематикой дальнейших исследований является совершенствование и увеличение количества выходных параметров и пространства поиска возможных решений. Расчет конструкций и фундаментов зданий и сооружений для строительства в сейсмических районах должен выполняться на основные и особые сочетания нагрузок с учетом сейсмических воздействий. В особое сочетание нагрузок входят постоянные, возможные длительные и кратковременные нагрузки, сейсмические воздействия, а также действия, обусловленные деформациями основания при замачивании просадочных грунтов.

Conflict of Interest

None declared.

Конфликт интересов

Не указан.

Список литературы / References

1. Хаджепур С. Рентабельность и безопасность высотных офисных зданий / С. Хаджепур, Д.Е. Гриерсон // Многоотраслевая оптимизация конструкций – Вып. 25 – С.279-293.
2. Гончаренко Д.Ф. Возведение многоэтажных каркасно-монолитных зданий: монография / Д. Ф. Гончаренко, Ю.В. Карпенко, Е.И. Меерсдорф. – К.:Ф + С, 2013. – 128 с.
3. Шевченко Е.В. Совершенствование конструкций опор высоковольтных линий электропередачи и создание системы их автоматизированного оптимального проектирования. Автореферат дис... Докт. Техн. Наук / Е.В. Шевченко – Киев, 2000.
4. Пермяков В.А. Современное состояние проблемы оптимального проектирования стальных конструкций / В.А. Пермяков // Металеві конструкції – №1, 1998 – С.17-20.
5. Bilyk A. First Ukrainian cost study experience of commercial multistory buildings with concrete and steel frame / A. Bilyk, R. Kurashev, B. Burgan et al. // Design, Fabrication and Economy of Metal Structures / International Conference Proceedings – Miskolc, Hungary, Apr.24-26 2013. – Jarmai K., Farkas J. (eds) – Springer. Pp. 511-517.
6. Авидон Г.Э. Особенности колебаний зданий с сейсмоизолирующими фундаментами. / Г.Э. Авидон, Е. А. Карлина // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2008. – №1. – С.42-44.
7. Джинчвелашвили Г.А. Перспективы развития систем сейсмоизоляции современных зданий и сооружений / Г.А. Джинчвелашвили, А.В. Колесников, В.Б. Заалишвили, И.С. Годустов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2009. – №6. – С.27-31.
8. Арутюнян А.Р. Современные методы сейсмоизоляции зданий и сооружений / А.Р. Арутюнян // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – № 3. – С. 56–60.
9. Смирнов В.И. Сейсмоизоляция — современная антисейсмическая защита зданий в России. / В.И. Смирнов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2013. – №4. – С.44-46.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Hadzhepur C. Rentabel'nost' i bezopasnost' vysotnyh ofisnyh zdaniy [Profitability and safety of high-rise office buildings] / С. Hadzhepur, D.E. Grierson // Mnogootraslevaya optimizacija konstrukcij [Multi-industry optimization of structures] – №25, – P.279-293. [in Russian]
2. Goncharenko D. F. Vozvedenie mnogoetazhnyh karkasno-monolitnyh zdaniy: monografija [Construction of multi-storey frame-monolithic buildings: monograph] / D.F. Goncharenko, Ju.V. Karpenko, E.I. Meersdorf. – K.: F + S, 2013. – 128 p. [in Russian]
3. Shevchenko E.V. Sovershenstvovanie konstrukcij opor vysokovol'tnyh linij jelektroperedachi i sozdanie sistemy ih avtomatizirovannogo optimal'nogo proektirovaniya [Improving the designs of supports of high-voltage power transmission lines and creating a system for their automated optimal design]. Abstract of the dis...of PhD in Engineering. / E.V. Shevchenko – Kiev, 2000. [in Russian]

4. Permjakov V.A. Sovremennoe sostojanie problemy optimal'nogo proektirovaniya stal'nyh konstrukcij [The current state of the problem of optimal design of steel structures] / V.A. Permjakov // *Metalevi konstrukcii* [Metal structures] – №1, 1998 – pp.17-20. [in Russian]
 5. Bilyk A. First Ukrainian cost study experience of commercial multistory buildings with concrete and steel frame / A. Bilyk, R. Kurashev, B. Burgan et al. // *Design, Fabrication and Economy of Metal Structures / International Conference Proceedings – Miskolc, Hungary, Apr.24-26 2013.* – Jarmai K., Farkas J. (eds) – Springer. Pp. 511-517.
 6. Avidon G. Je. Osobennosti kolebanij zdanij s sejsmoizolirujushhimi fundamentami [Features of vibrations of buildings with seismic-insulating foundations] / G.Je. Avidon, E.A. Karlina // *Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij* [Earthquake-resistant construction. Safety of structures]. – 2008. – №1. – pp. 42-44. [in Russian]
 7. Dzhinchvelashvili G.A. Perspektivy razvitija sistem sejsmoizoljicii sovremennyh zdanij i sooruzhenij [Prospects for the development of seismic isolation systems of modern buildings and structures] / G.A. Dzhinchvelashvili, A.V. Kolesnikov, V.B. Zaalishvili et al. // *Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij* [Earthquake-resistant construction. Safety of structures] – 2009. – №6. – pp.27-31. [in Russian]
 8. Arutjunjan A.R. Sovremennye metody sejsmoizoljicii zdanij i sooruzhenij [Modern methods of seismic isolation of buildings and structures] / A.R. Arutjunjan // *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal* [Engineering and Construction Magazine]. – 2010. – № 3. – pp. 56-60. [in Russian]
 9. Smirnov V.I. Sejsmoizoljacija — sovremennaja antisejsmicheskaja zashhita zdanij v Rossii [Seismic isolation — modern antiseismic protection of buildings in Russia] / V.I. Smirnov // *Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij* [Earthquake-resistant construction. Safety of structures] – 2013. – №4. – pp. 44-46. [in Russian]
-
-