

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ ПОМОЩИ ВКЛЮЧАЮЩИХСЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация: разработаны мероприятия по обеспечению сейсмостойкости трехэтажного деревянного здания, расположенного в районе с 9-ти балльной сейсмичностью и расчетным весом снегового покрова в 18 кН/м².

Ключевые слова: конструктивная железобетонная система, пространственная система, деревянное здание, деревянные конструкции, сейсмостойкое строительство, включающиеся и выключающиеся связи, прогрессирующее обрушение, повышение сейсмостойкости.

M. B. Marinichev¹, I. L. Ostriger¹, A. V. Filyuk¹

¹FSBEI HE «Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin», Krasnodar, Russia

DEVELOPMENT OF METHOD OF INCREASING SEISMIC RESISTANCE OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN COMPLEX GROUND CONDITIONS WITH THE USE OF INCLUSIVE STRUCTURAL ELEMENTS

Abstract: Measures have been developed to ensure the seismic stability of a three-story wooden building located in an area with a 9-point seismicity and a design weight of a snow cover of 18 kN/m².

Keywords: constructive reinforced concrete system, spatial system, wooden building, wooden structures, earthquake-proof construction, switching on and off communications, progressive collapse, increase of seismic resistance.

Введение

Освоение предгорных и высокогорных районов Краснодарского края и республики Адыгея объектами курортной инфраструктуры предусматривает в большинстве случаев строительство деревянных зданий этажностью до 5 этажей, что соответствует мировой практике возведения таких объектов и объясняется эстетическими и эксплуатационными требованиями. Однако, в соответствии с действующими нормами, в районах с высокой сейсмичностью не допускается строить многоэтажные деревянные здания без соответствующих компенсирующих мероприятий. Многие известные решения по повышению сейсмостойкости существенно влияют на фасадные и объемно-планировочные решения и часто приводят к необходимости пересмотра систем несущих элементов и внешнего облика здания в целом.

Общие сведения о системах включающихся и выключающихся связей

Обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений – фактор, который необходимо учитывать, особенно при строительстве в сейсмически активных районах. В наше время одним из главных подходов к повышению сейсмостойкости является использование различных систем сейсмозащиты. Не всегда выгодно и рационально повышать сейсмостойкость строительных конструкций или фундаментов под оборудование путем простого повышения прочности. Повышение прочности конструкций ведет к увеличению их массы и, как следствие, к увеличению инерционных сейсмических нагрузок. Известны способы сейсмозащиты – включающиеся и выключающиеся связи, как наиболее редко встречаемые решение для до-

стижения необходимой сейсмостойкости, как в промышленном, так и в гражданском строительстве.

Была разработана теория адаптивных систем, получившая основное развитие в ЦНИИСКе им. Кучеренко, начиная с 60-х годов. Термин адаптация определяется как автоматическое изменение (самонастройка) характеристик системы, направленное на повышение или сохранение ее эффективности в изменяющихся условиях внешней среды. К преимуществам адаптивных систем относится то, что они могут в процессе землетрясения менять свои динамические характеристики в регулируемых пределах, что позволяет системе «уходить» от резонансных явлений в случае совпадения доминантного периода колебаний землетрясения с основным периодом собственных колебаний сооружения.

Адаптивные системы сейсмозащиты конструктивно могут быть представлены двумя типами связей: выключающимися связями и включающимися связями.

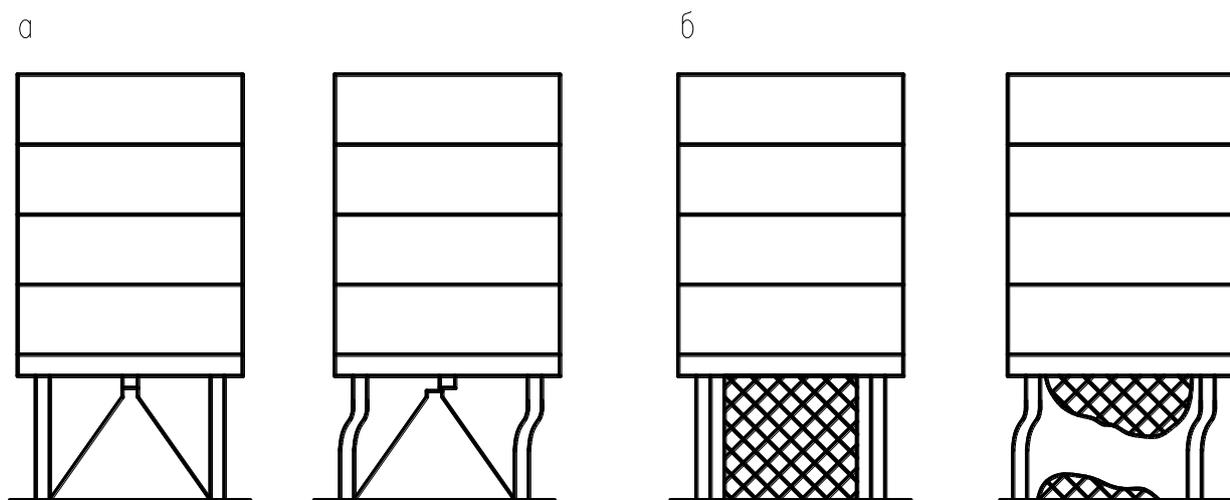


Рисунок 1 – Сейсмозащита здания с помощью выключающихся связей, представляющих собой
а – специальные выключающиеся элементы; б – разрушающиеся панели-связи
Figure 1 – Seismic protection of the building with disconnected links, which are
a – special turning-off elements; b – breaking panels

Выключающиеся связи представляют собой конструктивные элементы (обычно раскосы, панели и т. д.) малой жесткости, которые при землетрясении разрушаются. При их отсутствии конструкция становится менее жесткая, а значит, собственные частоты уменьшаются. Такие системы относятся к классу нестационарных динамических систем, т. е. таких систем, которые в процессе колебаний под действием динамических нагрузок могут менять свои характеристики во времени, причем эти изменения являются необратимыми. Изменения динамических характеристик системы происходят за счет разрушения выключающихся связей при достижении некоторого порогового уровня амплитуд колебания системы. В качестве выключающихся связей применяются как специальные резервные элементы, так и отдельные несущие конструкции (рисунок 1). При кажущейся простоте и удобстве устройства таких связей у них имеются два значительных недостатка:

- первый заключается в том, что для безопасной эксплуатации сооружения сразу же после землетрясения разрушенные связи необходимо восстановить, а это является не всегда возможным.

- второй недостаток в том, что частотный спектр при землетрясении постоянно меняется с течением времени, а значит новая частота конструкции (с уже выключившимися связями) может в какой-то последующий момент опять оказаться в диапазоне преобладающих частот землетрясения.

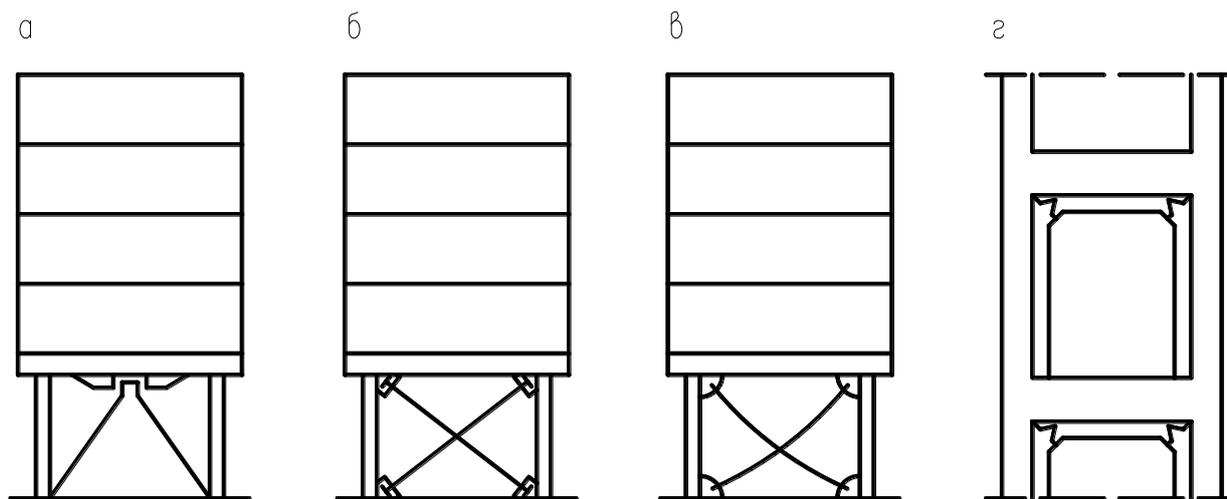


Рисунок 2 – Сейсмозащита здания с помощью включающихся связей, представляющих собой:
 а – упоры-ограничители; б – упругие связи; в – провисающие растяжки; г – жесткие панели (для многоэтажных зданий)

Figure 2 – Seismic protection of the building with the help of connecting links, which are:
 а – stops-restraints; б – elastic connections; в – sagging stretch marks; г – rigid panels (for multi-storey buildings)

Включающиеся связи – это такие связи, которые не участвуют в работе конструкции до начала землетрясения (рисунок 2). Включаются в работу эти связи лишь при землетрясении, когда перемещения конструкции достигают определенных, наперед заданных значений. Эти системы относятся к классу нелинейных динамических систем с жесткой характеристикой. В отличие от систем с выключающимися связями, в системах с включающимися связями не происходит разрушения связей, и нет необходимости их восстанавливать после землетрясения.

Здание с включающимися связями проектируется таким образом, чтобы оно имело низкую частоту собственных колебаний. При землетрясении в случае возникновения значительных перемещений основных несущих конструкций здания происходит включение связей, что приводит к существенному изменению жесткости системы и к увеличению «мгновенной» частоты собственных колебаний здания, в результате чего здание «уходит» от опасного для него резонансного режима колебаний.

Достоинство системы с включающимися связями заключается в том, что она работает с полной нагрузкой лишь при землетрясениях, имеющих значительные ускорения на низких частотах, а такие землетрясения бывают довольно редко. При достаточно часто возникающих высокочастотных землетрясениях система с включающимися связями сохраняет все преимущества систем с сейсмоизоляцией. К недостатку системы с включающимися связями следует отнести возможность возникновения значительных усилий в конструкциях включающихся связей.

Объект строительства и данные о строительной площадке

Сейсмичность района строительства в соответствии с заданием на проектирование принимается по карте В комплекта карт ОСР–97 СП 14.13330.2011 и составляет 9 баллов. Сейсмичность строительной площадки в соответствии с техническим отчетом об инженерно-геологических изысканиях также составляет 9 баллов. Уровень ответственности здания: II (нормальный). Категория сейсмобезопасности: III (по СНКК 22–301–2000)

Объект строительства представляет собой трехэтажное деревянное здание, для которого были запроектированы буроинъекционные сваи $d = 400$ мм и длиной 5,3 м из бетона класса В25, что обосновано большими значениями горизонтальных нагрузок, вызываемых высокой сейсмичностью, склоновыми и оползневыми процессами.

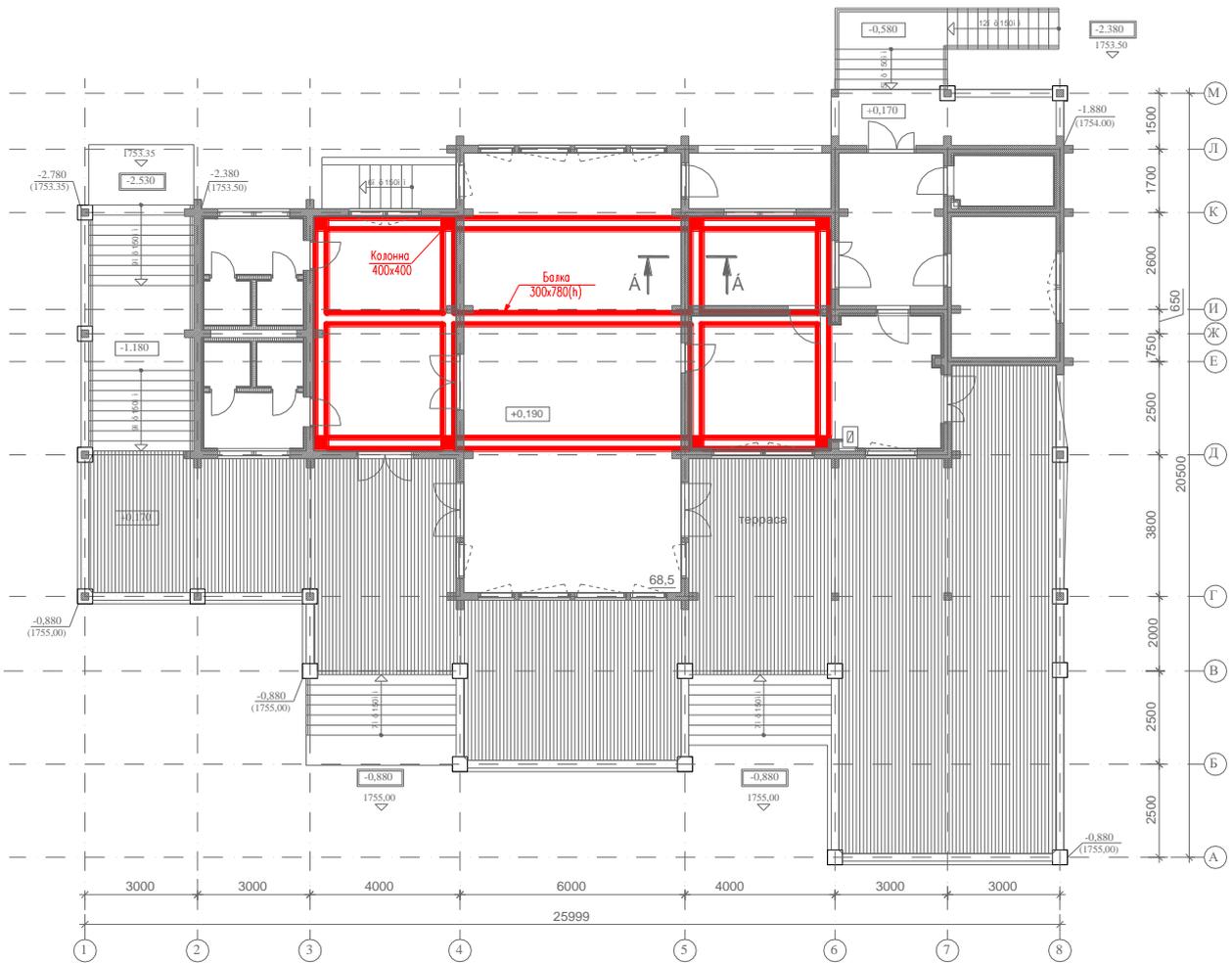


Рисунок 3 – План здания
Figure 3 – The plan of the building



Рисунок 4 – Разрез здания
Figure 4 – Section здания

Плита-ростверк имеет толщину 350 мм в основной части и 400 мм в части пристраиваемой террасы.

Основанием плиты-ростверка служит грунт ИГЭ-9 – щебенистый грунт с суглинистым легким пылеватым, твердым заполнителем до 23,8 % со следующими характеристиками: $\gamma_{п} = 19,9 \text{ кН/м}^3$, $E = 18,4 \text{ МПа}$.

Сваи заведены в коренные породы для обеспечения минимальных вертикальных и горизонтальных подвижек здания от склоновых процессов.

Расчетный вес снегового покрова равен 18 кН/м^2 .

Оценка пространственной работы здания с учетом и без учета повышающих сейсмостойкость мероприятий

В программном комплексе Ing+ был произведен расчет данного здания (рисунок 5) на воздействие снеговой и сейсмической нагрузки, в результате чего было получено значение деформации равное 15,77 мм.

В связи с расчетной сейсмичностью в 9 баллов и действием ветровых, и снеговых нагрузок высокой интенсивности, строительство деревянного здания невозможно так как не удовлетворяет эксплуатационным и эстетическим характеристикам. Было разработано техническое решение по повышению сейсмостойкости надземного деревянного строения. Суть разработанного технического решения заключается во введении в объем надземных деревянных конструкций новых железобетонных элементов, позволяющих за счет пространственной жесткости повысить сейсмостойкость здания. Конструкция состоит из вертикальных железобетонных колонн и железобетонных балок, связывающих эти колонны на заданных высотных отметках (в осях 3–6, Д–К). Усиление минимально затрагивает разработанные объемно-планировочные решения. В настоящем разделе приведен пространственный расчет с учетом вводимых элементов.

Произведя расчет здания с установленной «включающейся» связью (рисунок 5) от тех же самых нагрузок, получили значение деформации в два раза меньшее, чем было получено при расчете здания без учета пространственной рамы.

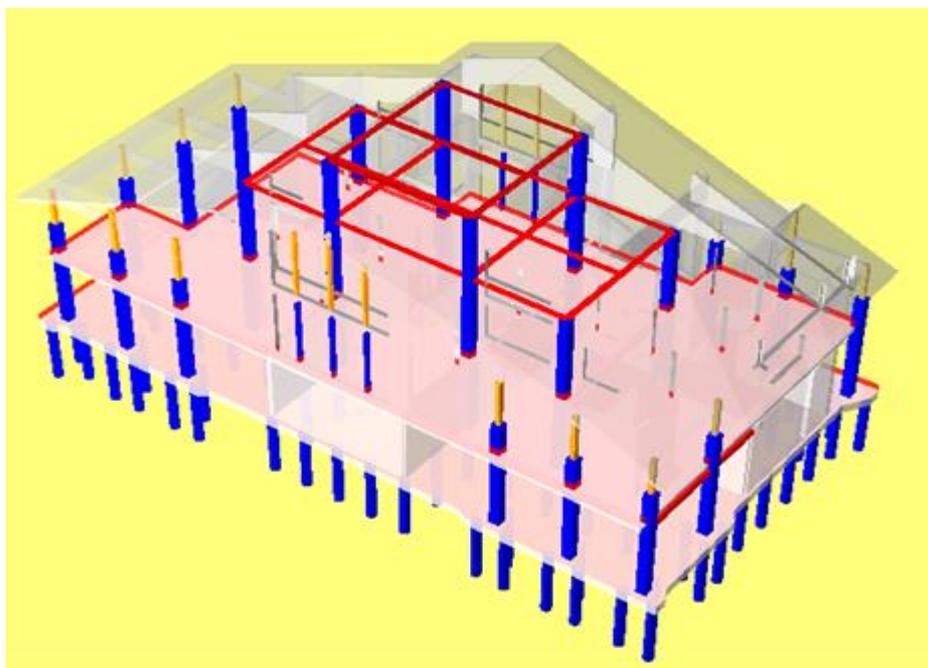


Рисунок 5 – Расчетная модель в программе «MicroFE 2012»
Figure 5 – The calculation model in the program «MicroFE 2012»

Разработка на основании проведенных расчетов технического решения пространственной железобетонной конструкции, встраиваемой в основные объемно-планировочные решения деревянного здания, включающейся в работу при развитии сейсмических воздействий

Был выполнен расчет на прогрессирующее обрушение деревянного здания в программном комплексе «Ing+» в ходе чего были получены результаты для дальнейшего исследования и разработки технического решения, которое повысило бы сейсмостойкость деревянного здания при развитии сейсмических событий, но при этом не затрагивало бы объемно-планировочные решения здания.

В результате (рисунок 6) прогрессирующего обрушения несущих конструктивных элементов, происходит полное разрушение здания без введения жесткой пространственной конструкции (мероприятия по повышению сейсмостойкости).

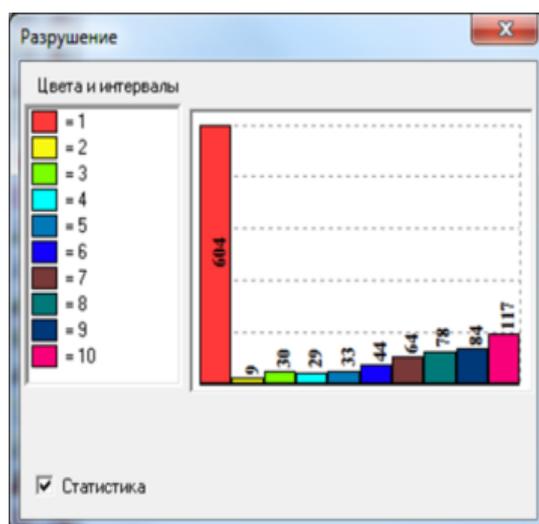
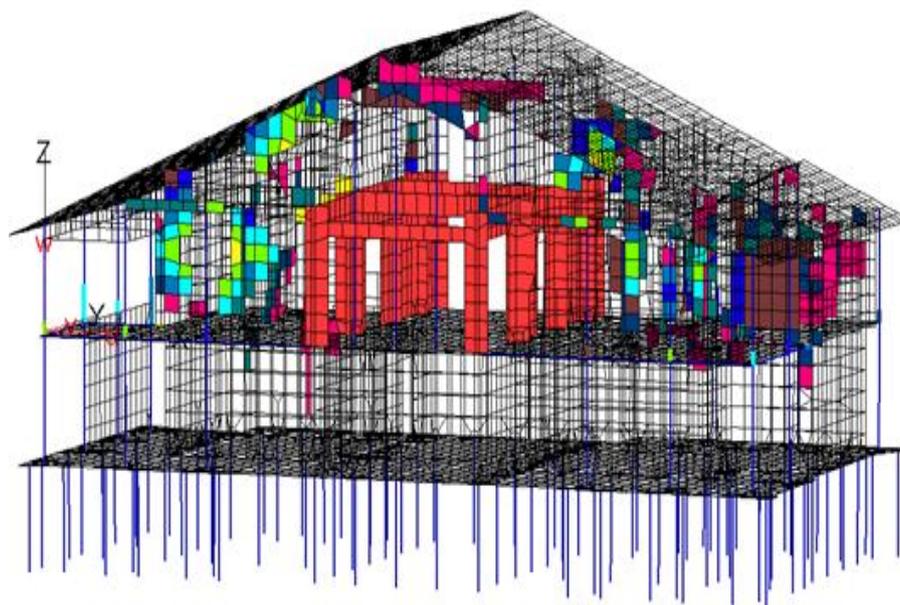


Рисунок 6 – Цветовое распределение итерации (обрушения) без учета дополнительных мероприятий
Figure 6 – Color distribution of iteration (collapse) without taking into account additional measures

В ходе расчета были выключены несущие конструктивные элементы, которые могут в процессе сейсмических событий выйти из строя, что приведет к полному обрушению здания. Чтобы обрушение не произошло, вводим железобетонную конструктивную систему (рису-

нок 9), которая включается в ходе сейсмических воздействий и принимает на себя усилия, возникающие в деревянной конструкции, не позволяя зданию обрушиться.

В результате прогрессирующего обрушения несущих конструктивных элементов, полное обрушение здания не происходит (рисунок 7) за счет введения пространственной конструктивной системы.

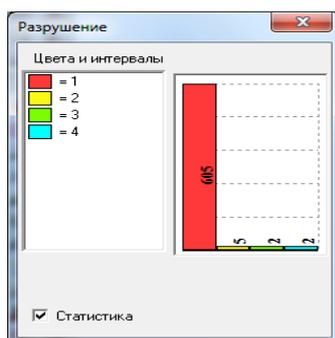
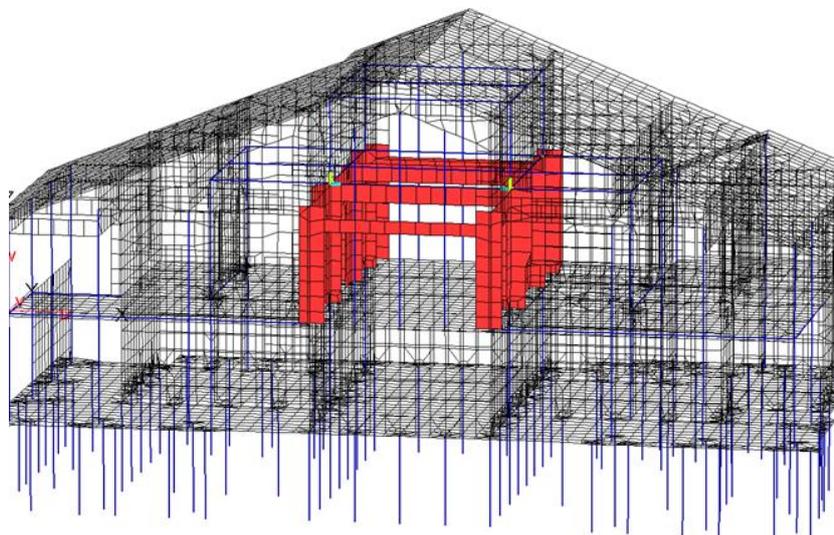


Рисунок 7 – Цветовое распределение итерации (обрушения) с учетом введенной пространственной рамы
Figure 7 – Color distribution of iteration (collapse) taking into account the introduced spatial frame)

На основании статического, динамического расчета и прогрессирующих обрушений, был разработан метод введения конструкции с повышенной пространственной жесткостью, включающаяся во время сейсмических событий.

Для обеспечения непрерывности и соосности вводимых вертикальных железобетонных конструкций от фундамента до верхней отметки предполагается также устройство дополнительных железобетонных колонн в цокольной части здания. Вводимые колонны включаются в работу существующих железобетонных элементов за счет анкерного крепления с применением технологии Hilti.

Вводимые конструкции не имеют жесткого крепления с деревянными несущими элементами, что предусмотрено с целью предотвращения возможного неравномерного распределения усилий в виду существенно разных прочностных и деформационных характеристик дерева и железобетона. Основная цель введения дополнительной железобетонной конструкции – защита здания от прогрессирующего разрушения во время возможных сейсмических событий. При динамических процессах железобетонная конструкция включается в работу деревянного здания, повышая сопротивляемость внешним воздействиям. Во время обычного цикла эксплуатации здания железобетонная рама не участвует в работе деревянных конструкций.

Ниже приведены основные разработанные узлы соединения деревянных конструкций с конструктивной системой.

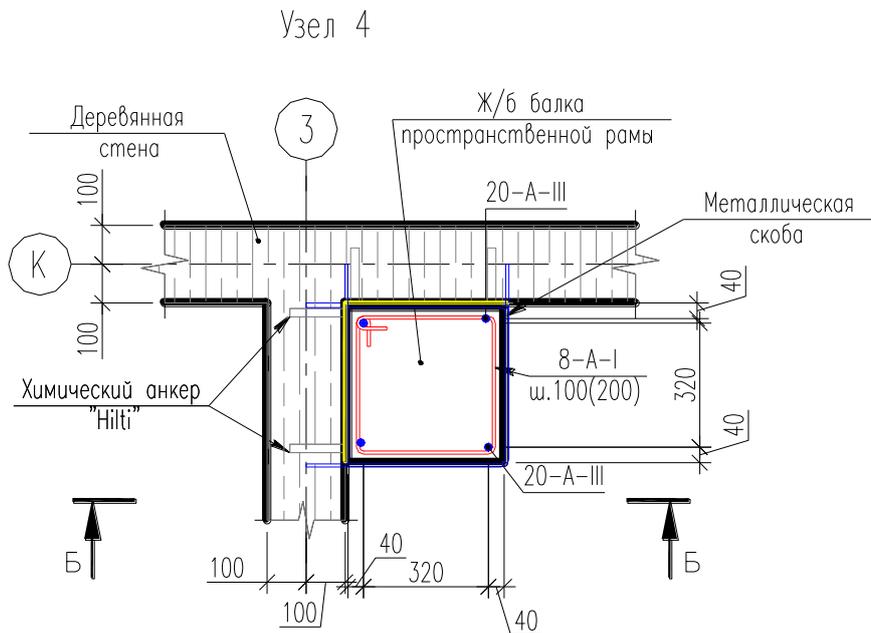


Рисунок 8 – Узел 4
Figure 8 – Node 4

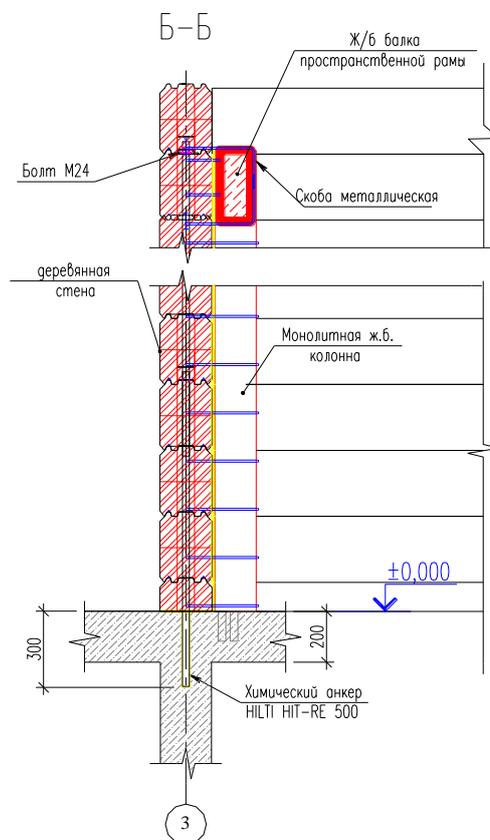


Рисунок 9 – Разрез Б-Б узла 4
Figure 9 – Section B-B section 4

Выводы

Анализируя данные, полученные при сравнении результатов расчетов здания с учетом повышающих сейсмостойкость элементов и без, можем сделать следующие выводы:

1. После проведенных исследований было установлено, что введение пространственной конструктивной системы из железобетона, повлияло на деформативность здания. Сравнив результаты расчетов деформации деревянного здания с учетом повышающих сейсмостойкость мероприятий и без учета отмечено снижение деформаций (прогибов) деревянных конструкций исследуемого объекта более чем в 2 раза.

2. Введение в объем надземных деревянных конструкций новых железобетонных элементов, которые не влияют на работу здания, но активизируются в процессе сейсмических событий, позволяет отрегулировать НДС здания. Конструкция состоит из вертикальных железобетонных колонн и железобетонных балок, связывающих эти колонны на заданных высотных отметках. Усиление минимально затрагивает разработанные объемно-планировочные решения.

Библиографический список

1. Айзенберг. Я. М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов / Я. М. Айзенберг. – М. :Стройиздат, 1976. – 232 с.
2. Рекомендации по проектированию зданий с выключающимися связями – М. : ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, 1988. – 53 с.
3. Айзенберг Я. М. Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты / Я. М. Айзенберг, М. М. Деглина, А. М. Мелентьев. – М. : Наука, 1983. – 141 с.
4. Рекомендации по определению расчетной сейсмической нагрузки для сооружений с учетом пространственного характера воздействия и работы конструкций – М. : ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, 1989. – 142 с.

References

1. Ayzenberg. Ya. M. [Constructions with switched off connections for seismic regions] / Ya. M. Ayzenberg. – М. :Stroyizdat, 1976. – 232 s.
2. Rekomendatsii po proyektirovaniyu zdaniy s vyklyuchayushchimisya svyazyami [Recommendations for the design of buildings with switched off connections] – М. : TSNIISK im. V. A. Kucherenko, 1988. – 53 s.
3. Ayzenberg Ya. M. Seysmoizolyatsiya i adaptivnyye sistemy seysmozashchity [Seismic isolation and adaptive seismic protection systems] / Ya. M. Ayzenberg, M. M. Deglina, A. M. Melent'yev. – М. : Nauka, 1983. – 141s.
4. Rekomendatsii po opredeleniyu raschetnoy seysmicheskoy nagruzki dlya sooruzheniy s uchetom prostranstvennogo kharaktera vozdeystviya i raboty konstruktsiy [Recommendations for determining the design seismic load for structures, taking into account the spatial nature of the impact and work of structures] – М. : TSNIISK im. V. A. Kucherenko, 1989. – 142 s.