

УДК 69.059.38;699.841;624.016.7

Исследование работы системы «здание- надстройка» при сейсмических воздействиях расчетной интенсивности

Морозова Е.В.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства,
Украина

Анотація. З введенням у дію нових нормативних документів із будівництва в сейсмічних районах загальна площа сейсмонезбезпечних територій України розширилась. Основну масу житлового фонду складають будівлі середньої поверховості масових серій забудови 50-80-х рр., які вимагають реконструкції у зв'язку з моральним, фізичним зношенням і недостатньою сейсмостійкістю. Реконструкція житлового фонду із застосуванням надбудов на самостійних опорах із металевим каркасом є перспективним напрямком і для сейсмічно активних районів. Наведені результати чисельного експерименту щодо дослідження роботи системи «будівля-надбудова» на сейсмічні дії. Пропонується з'єднувати будівлю, що реконструюється, і надбудову в рівні перекриттів у горизонтальному напрямку жорсткими, пружнопіддатливими, гнучкими зв'язками. Аналізуються динамічні характеристики системи, напруження в стіні будівлі, що реконструюється, сформульовані напрямки подальших досліджень.

Аннотация. С введением новых нормативных документов по строительству в сейсмических районах общая площадь сейсмоопасных территорий Украины расширилась. Основную массу жилого фонда составляют здания средней этажности массовых серий постройки 50-80-х гг., которые требуют реконструкции в связи с моральным, физическим износом и недостаточной сейсмостойкостью. Реконструкция жилого фонда с применением надстроек на самостоятельных опорах с металлическим каркасом является перспективным направлением и для сейсмически активных районов. Приведены результаты численного эксперимента по исследованию работы системы «здание-надстройка» на сейсмические воздействия. Предлагается соединять реконструируемое здание и надстройку в уровне перекрытий в горизонтальном направлении жесткими, упругоподатливыми, гибкими связями. Анализируются динамические характеристики системы, напряжения в стене реконструируемого здания, сформулированы направления дальнейших исследований.

Abstract. With introduction of new normative documents on building in seismic regions the general area of seismically dangerous regions in Ukraine have broadened. The basic mass of dwelling fund consists of middle storey buildings of mass series built in the 50s-80s years, which require reconstructions in connection with a moral and physical wear-and-tear and insufficient seismic resistance. Reconstruction of dwelling fund, with the use of superstructures on independent supports with metallic framework, is also a perspective direction for seismically active regions. The results of numerical experiments on research of operation of the system «building-superstructure» in accordance with seismic influences have been presented. It is suggested to connect the reconstructed building and superstructure in the level of ceilings in horizontal direction by means of hard, elastoplastic, flexible connections. The dynamic descriptions of the system and tension in the walls of the reconstructed building are being analyzed; the directions of further researches have been formulated.

Ключевые слова: система, надстройка, реконструкция, сейсмостойкость.

Введение. Постановка проблемы. С введением в действие с 1 февраля 2007 г. ДБН В.1.1-12:2006 [1] площадь территорий Украины, являющихся опасными в сейсмическом отношении, значительно расширилась. Согласно последним нормам районы с интенсивностью 6 баллов включены в число сейсмоопасных, более 120 тыс. км² (20 % территории Украины) находятся в зонах с интенсивностью от 6 до 9 баллов, в которых проживает 10,9 млн. чел. (21,2 % населения). В ранее сейсмоопасных районах произошло увеличение расчетной сейсмичности.

На указанной территории располагается большое количество жилого фонда, особую группу в котором составляют 4-5-этажные дома первых массовых серий постройки 50-80-х годов, которые проектировались и строились без учета антисейсмических мероприятий либо по занижаемым требованиям к сейсмостойкости. Нормативный срок проведения капремонта и реконструкции этих домов исчерпывается, однако значительная часть их имеет достаточный запас прочности на воздействие обычных нагрузок, при практически полном моральном износе. Это говорит в пользу реконструкции таких домов, в ходе которой решается комплекс вопросов, одним из которых является обеспечение сейсмостойкости зданий после реконструкции.

Анализ последних достижений и публикаций. Существуют различные способы реконструкции жилых домов средней этажности, начиная со сноса существующих домов, переселения жильцов и строительства нового жилья на месте снесенного, реконструкции с частичным перепланированием квартир существующего дома с утеплением ограждающих конструкций и заменой внутреннего сантехнического оборудования и заканчивая расширением корпуса основного здания за счёт выполнения пристройки к торцу дома или по его периметру, устройства эркеров, надстройкой этажей, в том числе мансардного. При таких методах реконструкции повышение сейсмостойкости существующих зданий либо не происходит, либо дополнительная нагрузка, передаваемая на реконструируемое здание, снижает его сейсмостойкость.

Существуют интересные предложения для несейсмических районов по реконструкции малоэтажного жилого фонда методом надстройки при помощи легких конструктивных каркасных систем [3]. Суть заключается в том, что надстройка этажей производится без какой-либо догрузки существующего здания путем применения обнимающего его и не соединенного с ним легкого стального рамного каркаса, устанавливаемого на буронабивные свайные основания, помещенные с наружных сторон дома. Такой метод позволяет получить прирост полезной площади в пределах 100 – 200 % без увеличения площади застройки и дополнительной нагрузки на существующее здание. Реконструкция жилого фонда с приме-

нением надстроек на самостоятельных опорах с металлическим каркасом является перспективным направлением и для сейсмически активных районов.

В Национальной академии природоохранного и курортного строительства проводятся исследования по разработке конструктивных решений сейсмостойких надстроек на самостоятельных опорах [5]. Исследовалось три варианта конструктивного решения поперечных рам надстройки, имеющих различную схему распределения масс и жесткостей по высоте: с однородной верхней частью, выполненной по рамной схеме; с неоднородной верхней частью, содержащей сквозной ригель в уровне нижнего этажа надстройки; с неоднородной верхней частью, содержащей сквозной ригель в уровне верхнего этажа надстройки. Были приняты следующие габаритные размеры надстроек: пролет 15 м; отметка низа нижнего ригеля 18 м; отметка верха 34 – 36 м; количество надстраиваемых этажей 5.

Исследования показали, что надстраиваемая часть обладает достаточной сейсмостойкостью в результате применения легких металлических конструкций для каркаса надстройки, что позволило снизить инерционную массу. Увеличение периода собственных колебаний надстроек, с одной стороны, имеет положительное значение, так как ведет к уменьшению коэффициента динамичности и соответственно уменьшению сейсмической силы, действующей на надстройку, а с другой стороны уменьшает способность сооружения к затуханию собственных колебаний. Долго незатухающие колебания надстройки со значительными амплитудами, разница в динамических характеристиках реконструируемого здания и надстройки может значительно осложнить эксплуатацию здания после реконструкции, привести к нарушению его целостности, нарушению норм виброэкологии [2] и, в конечном счете, значительно снизить его надежность в случае воздействия сейсмических нагрузок.

По конструктивной схеме надстройки любого типа представляют собой здание с гибким нижним этажом, высотой 15 – 18 м. Основным способом обеспечения сейсмостойкости таких зданий является введение включающихся связей [4]. Отличительной особенностью применения включающихся связей при реконструкции зданий методом надстройки на самостоятельных опорах является то, что они вводятся между надстройкой и реконструируемым зданием. Это позволяет уменьшить амплитуду колебаний надстройки, ускорить затухание её собственных колебаний, а также повысить сейсмостойкость реконструируемого здания, так как более гибкая надстройка служит для него гасителем колебаний [8, 7].

Цель работы. Обеспечение сейсмостойкости реконструируемых зданий за счет использования внутренних резервов системы «здание–надстройка».

Основная часть. Для исследования работы системы «здание-надстройка» был принят программный комплекс «Лири-Windows» версия 9.6 [6]. Исследуемая модель реконструируемого здания соответствует конструктивному решению, характерному для массовой серии жилых домов 50-80-х годов в Крымском регионе. Рассматривалось пятиэтажное здание с продольными несущими стенами. Материал стен – крупные блоки из пыльного известняка, перекрытия – пустотные железобетонные плиты, в уровне перекрытий устроены горизонтальные монолитные железобетонные пояса. Расчетная схема представлена на рис. 1. Рассматривалось воздействие на исследуемую модель постоянных, переменных длительных, кратковременных, эпизодических нагрузок. В качестве эпизодической нагрузки рассматривалось сейсмическое воздействие расчетной интенсивностью 7, 8, 9 баллов.

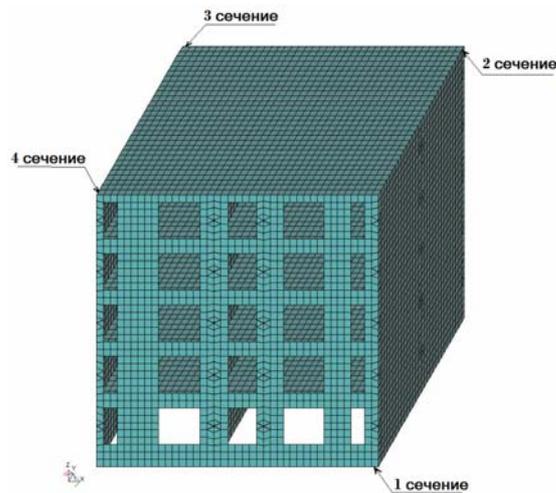


Рис. 1. Расчетная схема реконструируемого здания

Анализировались перемещения, напряжения в стенах по вертикали, инерционные силы в уровне перекрытий при различной интенсивности и направлении сейсмического воздействия. Максимальные перемещения угловых точек здания составляют 2,5 – 3 мм при расчетной интенсивности сейсмического воздействия 9 баллов. Напряжения в стенах анализировались в 4-х характерных сечениях, расположенных в угловых зонах (см. рис. 1). На рис. 2 представлены графики изменения напряжений в стене по высоте здания для сечения 2 (рис. 2,а) при сейсмическом воздействии в продольном направлении (вдоль оси X) и для сечения 1 (рис. 2,б) при сейсмическом воздействии в поперечном направлении (вдоль оси Y). На рис. 3 представлены графики распределения инерционных сил в уровне перекрытий в зависимости от интенсивности сейсмического воздействия.

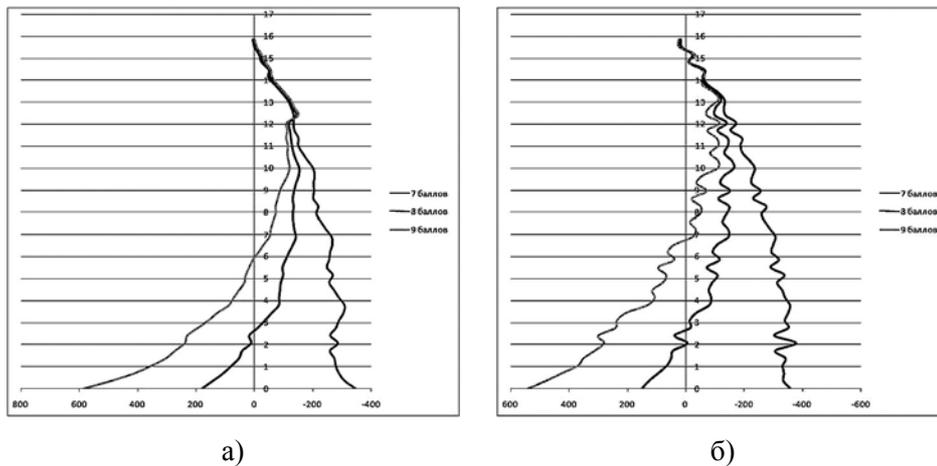


Рис. 2. График изменения напряжений в стене по высоте здания:
а - для сечения 2 при сейсмическом воздействии в продольном направлении;
б - для сечения 1 при сейсмическом воздействии в поперечном направлении

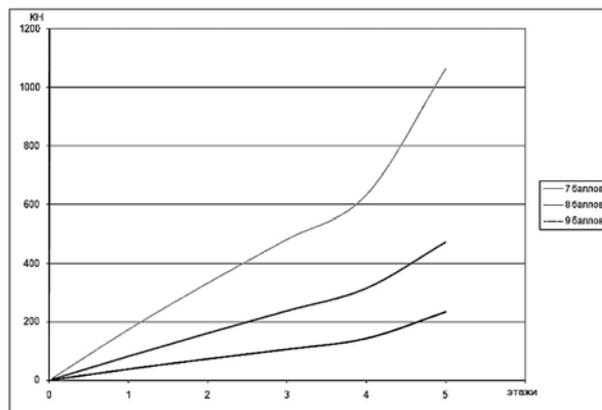


Рис. 3. График распределения инерционных сил в уровне перекрытий в зависимости от интенсивности сейсмического воздействия

Исследование работы здания на сейсмические воздействия до реконструкции показало, что при сейсмическом воздействии интенсивностью 7 баллов растягивающие напряжения в стенах здания не возникают, максимальные сжимающие напряжения не превышают расчетное сопротивление сжатию кладки из крупных блоков, поэтому сейсмостойкость здания описанной выше конструкции можно считать обеспеченной. При сейсмическом воздействии интенсивностью 8 и 9 баллов возникают растягивающие напряжения в стенах здания, значения которых в 2 – 7 раз превышают рас-

четное сопротивление растяжению кладки из крупных блоков, сейсмостойкость здания недостаточна.

Учитывая вышесказанное, предлагается реконструировать жилые здания средней этажности в сейсмически активных районах методом возведения надстроек на самостоятельных опорах. При этом здания и надстройка объединяются в единую систему, и сейсмостойкость обеспечивается за счет использования её внутренних резервов. Создавать систему «здание–надстройка» предлагается методом введения горизонтальных связей между стойками надстройки и стеной реконструируемого, расположенных в уровне перекрытий (рис. 4,а).

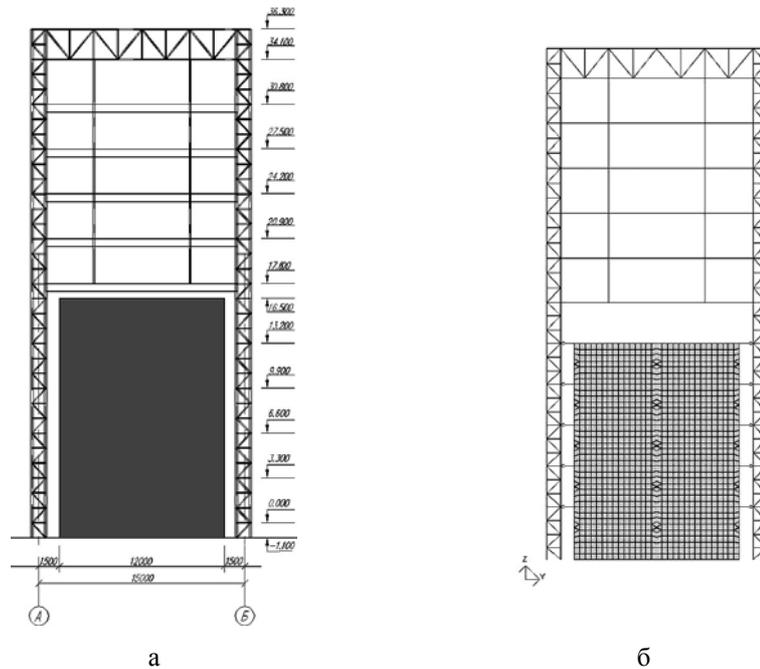


Рис. 4. Система «здание–надстройка»:
а – конструктивная схема; б – расчетная схема

Рассматривались три варианта конструктивного решения горизонтальных связей. Вариант 1 – жесткие горизонтальные связи (рис. 5). Надстройка и здание соединены двутавровыми балками, которые крепятся к стене реконструируемого здания болтами через закладные детали, имеющие овальные отверстия в вертикальном направлении, что позволяет исключить передачу вертикальных воздействий от надстройки к зданию. Вариант 2 – упругоподатливые горизонтальные связи (рис. 6). Надстройка

и здание соединены пружинами, расположенными в коробчатых направляющих. Пружины установлены с зазором, который заполнен демпфирующим материалом, по отношению к стене реконструируемого здания, что позволяет системе включаться в совместную работу не сразу, а при определенном уровне сейсмического воздействия. Вариант 3 – гибкие горизонтальные связи (рис. 7). Надстройка и здание соединены канатами, которые закреплены к стойкам надстройки и противоположной стене реконструируемого здания. Для пропуска канатов могут быть использованы пустоты в панелях перекрытия или специальные направляющие. Соединение такого типа позволяет использовать эффективную работу материала канатов на растяжение и снизить концентрацию напряжений при включении системы в работу.

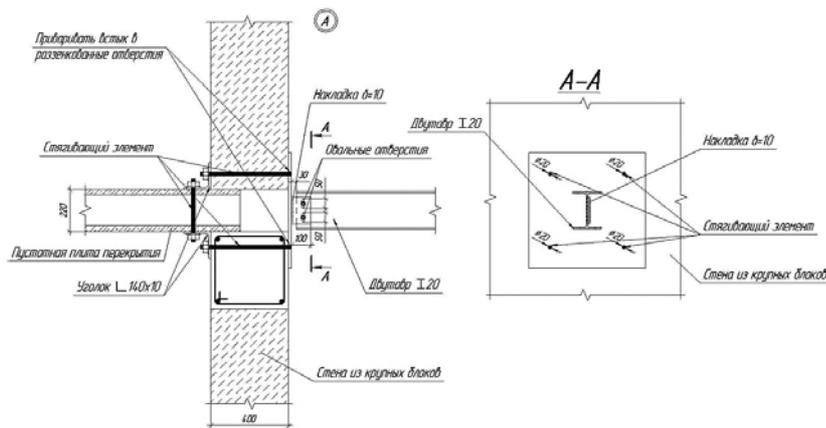


Рис. 5. Конструктивное решение жестких горизонтальных связей (вариант 1)

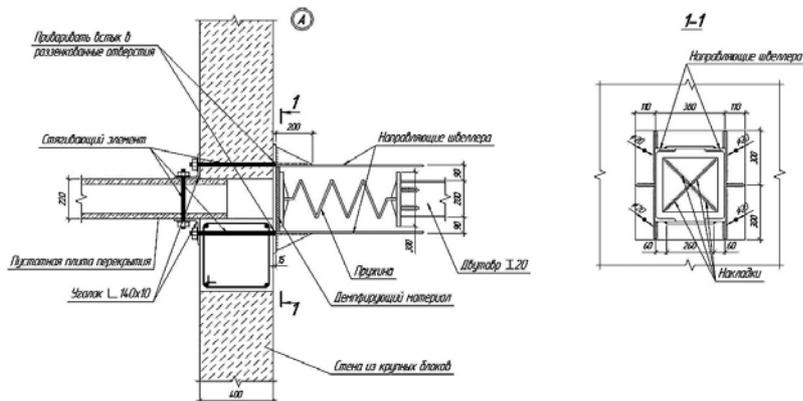


Рис. 6. Конструктивное решение упругоподатливых горизонтальных связей (вариант 2)

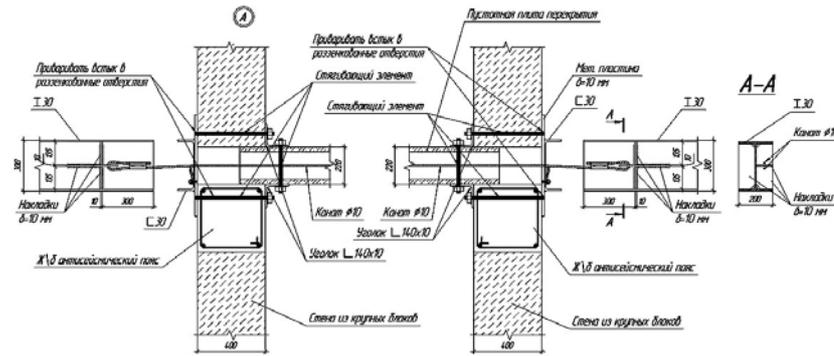


Рис. 7. Конструктивное решение гибких горизонтальных связей (вариант 3)

Исследование работы системы «здание–надстройка» проводилось методом численного эксперимента. Была создана расчетная схема системы (рис. 4,б). В качестве надстройки была принята система с неоднородной верхней частью, содержащей сквозной ригель в уровне верхнего этажа, как имеющая наименьшие деформативные характеристики. Моделирование связей надстройки и реконструируемого здания выполнено: по первому варианту конструктивного решения введением стержневых конечных элементов (КЭ) и назначением шарниров по всем перемещениям и поворотам кроме перемещения по глобальной оси Y; по второму варианту конструктивного решения введением двухузловых КЭ 262, моделирующих одностороннюю упругую связь между узлами, работающую на сжатие с зазором; по третьему варианту конструктивного решения введением универсальных пространственных стержневых КЭ 10 с жесткостными характеристиками, соответствующими канату ЛК-06×7(1+6)+1×7(1+6) диаметром 10 мм. Задавались сейсмические воздействия расчетной интенсивностью 8 и 9 баллов.

Анализ результатов численного эксперимента показал изменение динамических характеристик как надстройки, так и реконструируемого здания при объединении их в пространственную систему «здание–надстройка». Периоды колебаний системы составляют $T = 1,6$ с и занимают промежуточное положение между периодами собственных колебаний здания ($T = 0,25$ с) и надстройки ($T = 2$ с), что позволяет системе уходить от резонансных явлений как при высокочастотных, так и при низкочастотных сейсмических воздействиях.

При сейсмическом воздействии 8 баллов инерционные силы в уровне перекрытий здания снижаются на 40 % (рис. 8). Анализ напряженно-деформированного состояния несущей стены реконструируемого здания показал снижение растягивающих напряжений ниже расчетного сопротивления

кладки растяжению (рис. 9), в случае совместной работы здания и надстройки на восприятие сейсмических воздействий интенсивностью 8 баллов.

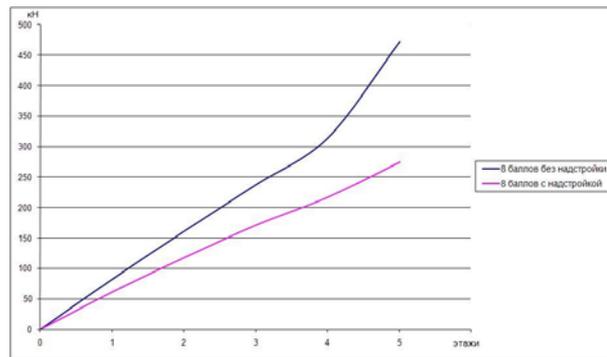


Рис. 8. Сравнительный график распределения инерционных сил в уровне перекрытий реконструируемого здания и системы при интенсивности сейсмического воздействия 8 баллов

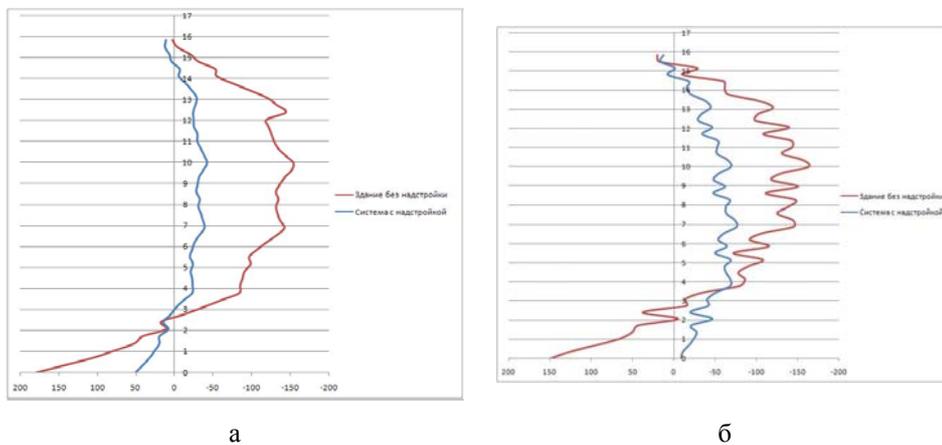


Рис. 9. Сравнительный график изменения напряжений в стене по высоте здания для реконструируемого здания и системы:
а - для сечения 2 при сейсмическом воздействии 8 баллов в продольном направлении; б - для сечения 1 при сейсмическом воздействии 8 баллов в поперечном направлении

При сейсмическом воздействии интенсивностью 9 баллов, в случае работы системы «здание–надстройка», также наблюдается снижение инерционных сил в уровне перекрытий и уменьшение растягивающих напряжений в стене, однако они по-прежнему превышают расчетное сопротивление кладки растяжению.

Выводы

При сейсмическом воздействии интенсивностью 7 баллов сейсмостойкость реконструируемого здания описанной выше конструкции обеспечена без применения дополнительных мероприятий.

При сейсмическом воздействии интенсивностью 8 баллов сейсмостойкость реконструируемого здания можно обеспечить за счет применения надстроек на самостоятельных опорах с металлическим каркасом и объединения их в систему «здание–надстройка» горизонтальными связями в уровне перекрытий.

При сейсмическом воздействии интенсивностью 9 баллов сейсмостойкость системы «здание–надстройка» недостаточна, необходимо применение дополнительных конструктивных мероприятий (введение сейсмопоглотителей; демпферов сухого трения), что может быть направлением дальнейших исследований.

Литература

- [1] ДБН В.1.1-12:2006. Строительство в сейсмических районах Украины. Нормы проектирования. – Киев: Министерство строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Украины, 2006. – 84 с.
- [2] Казакевич М.И., Кулябко В.В. Введение в виброэкологию зданий и сооружений. – Днепропетровск: ПГАСА, 1996. – 200 с.
- [3] Новая концепция модернизации и надстройки существующих малоэтажных жилых зданий до любого количества этажей. / Жербин М.М., Большаков В.И. // «Вістник ПДАБА». – 1998, № 2, (додаток). – 50 с.
- [4] Поляков В.С., Килимник Я.М., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты. – М.: Стройиздат, 1989. – 229 с.
- [5] Применение надстроек типа «Фламинго» для реконструкции жилого фонда малой и средней этажности в сейсмических районах Украины. / Ажермачев Г.А., Морозова Е.В. // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції “Дні науки-2006”. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2006, Т.27 – С. 6 – 13.
- [6] Руководство пользователя ПК «Лира-Windows» – Киев: НИИАСС, 1996, Т1-6.
- [7] Численный эксперимент по определению измерений реакций здания различных конструктивных схем на сейсмические воздействия при использовании динамических гасителей колебаний. / Кукунаев В.С., Овечкина Л.М // Отчет (промежуточный). – Симферополь, 1992.
- [8] Эффективные системы сейсмоизоляции. Исследование, проектирование, строительство. / Айзенберг Я.М., Смирнов В.И., Бычков С.И., Сутурин Ю.А. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2002, № 1. – С. 31-37.

Надійшла до редколегії 01.07.2009 р.