

Сейсмостойкие конструкции крупнопанельных зданий

Т.А.Белаш, ПГУПС, Санкт-Петербург

Д.В.Зенченкова, ПГУПС, Санкт-Петербург

В статье рассматривается опыт применения крупнопанельных зданий в сейсмических районах. Приводится анализ причин, по которым такой тип зданий является одним из наиболее перспективных конструктивных систем в этих районах строительства. Отмечается, что среди крупнопанельных зданий наиболее предпочтительным вариантом конструктивного решения являются здания с узким шагом поперечных несущих стен, который позволяет создать жёсткую пространственную систему здания. Оговариваются вопросы повышения сейсмостойкости крупнопанельных зданий. Эффективность работы крупнопанельных зданий при сейсмических воздействиях различного частотного состава можно существенно повысить путём устройства в фундаментной части специальных средств сейсмозащиты в виде сейсмоизоляции и сейсмогашения. Приведены примеры реализации различных систем сейсмозащиты в конструкциях крупнопанельных зданий различных серий. Особое внимание уделено конструктивным решениям 122-ой серии, которая получила название «Крупнопанельные здания с «сухими» стыками». Представлены результаты изучения и уточнения моделей крупнопанельных зданий этой серии, а также методов их расчётов, что имеет большое практическое значение. Дан анализ расчётно-теоретических исследований крупнопанельных зданий с «сухими» стыками, который подтвердил их высокую сейсмостойкость. Показано, что применение дополнительных элементов сухого трения в стыках панелей позволяет на 30% снизить сейсмические нагрузки на здания и, соответственно, усилия в сборных элементах крупнопанельного здания. При этом резерв несущей способности «сухих» горизонтальных стыков обеспечивается за счёт упругопластических свойств применяемых в них прокладок.

Ключевые слова: сейсмостойкость, крупнопанельное здание, сейсмозащита, «сухие» стыки, элементы сухого трения

Earthquake-Resistant Design of Large-Panel Buildings

T.A.Belash, PGUPS, Saint Petersburg

D.V.Zenchenkova, PGUPS, Saint Petersburg

The article discusses the experience with the application of large-panel buildings in seismic areas. An analysis of the reasons why this type of buildings is one of the most promising of constructive systems construction in these areas. It is noted that among large-panel buildings most preferred constructive solutions are buildings with narrow step transverse load-bearing walls, which allows you to create a hard spatial system of the building. Are exposed to seismic improvement of large-panel

buildings. Efficiency of large-panel buildings under seismic effects of different frequency composition significantly can be increased by a device in the base part of the special seismic tools in the form of seismic isolation and seismic blanking. Examples of implementation of various seismic systems in constructions of large-panel buildings in different series. Special attention is paid to constructive solutions 122 series called the roof of a building with a "dry". Presents the results of the study and refine models of large-panel buildings of this series, as well as methods of their calculation, which is of great practical significance. Analysis of settlement and theoretical studies of large-panel buildings with "dry" joints, which confirmed their high earthquake resistance. It is shown that the use of additional elements of dry friction in joints of panels allows to 30% reduced seismic loads on buildings and, accordingly, efforts in prefabricated elements of large buildings. At the same time, the reserve of bearing capacity of "dry" horizontal joints is ensured by the elastic-plastic properties of the gaskets used in them.

Keywords: seismic resistance, large-panel building, seismic protection, "dry" joints, elements of dry friction

Одним из наиболее распространённых типов зданий в жилищном строительстве являются крупнопанельные здания [1], получившие широкое распространение в сейсмически опасных районах. Это связано с достаточно высокой их сопротивляемостью к сейсмическим воздействиям. Среди причин этой высокой сейсмостойкости следует отметить следующие [2]:

- панельные здания имеют значительную сдвиговую жёсткость;
- элементы панельных зданий изготавливаются на заводе, что повышает их качество по сравнению с другими железобетонными конструкциями, выполняемыми на месте;
- смещения, возникающие вдоль швов панелей во время землетрясения, приводят к возникновению сил трения, которые оказывают демпфирующие свойства при сейсмических колебаниях;
- панельные здания имеют достаточно высокий резерв «сопротивляемости» сейсмическим колебаниям: даже если разрушится один из элементов, это не приведет к полному обрушению здания;
- характерным повреждением панельных зданий является образование трещин в швах, эти повреждения не приводят к мгновенной потере несущей способности здания во время землетрясения;

– при наличии в основании панельных зданий нескальных грунтов в процессе их колебаний происходит повышенное рассеивание энергии и снижение сейсмических нагрузок.

Опыт применения крупнопанельных зданий в сейсмических районах подтверждает их достаточно высокую эффективность. Наиболее сейсмостойкими являются крупнопанельные здания, которые образуют единую пространственную

систему продольных и поперечных стен, объединённых между собой и с перекрытиями.

На территории бывшего СССР наибольшее распространение получили конструктивные решения крупнопанельных зданий с узким шагом: от 3 до 4,2 м. В таких зданиях перекрытия опираются на несущие стены по всему контуру, что позволяет создать жёсткую пространственную систему, хорошо сопротивляющуюся сейсмическим нагрузкам. Эта система востребована как в районах сильных землетрясений, так и в сложных природных и инженерно-климатических условиях.

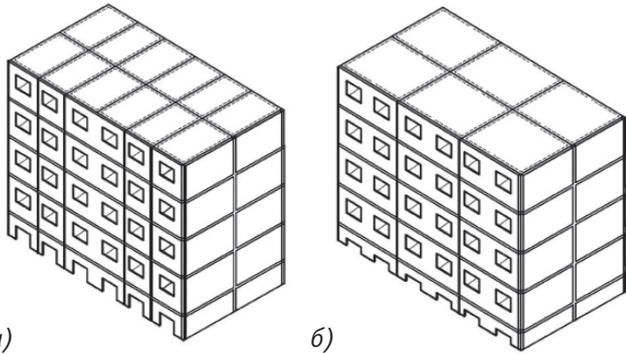
Кроме зданий с узким шагом поперечных стен, применяется также система с широким шагом (до 6,3–6,6 м) [3–5]. Опирание плит перекрытий выполняется по двум или трём сторонам, причём в каждой конструктивной ячейке размещается несколько плит. По данным исследований, приведённых в работе [6], данная схема является более уязвимой при сейсмических воздействиях. Это связано со снижением жёсткости диска перекрытий, возрастанием вертикальных и сейсмических нагрузок, наличием большого числа не-несущих перегородок и т.д. Всё это приводит к снижению общей сейсмостойкости зданий. Однако при проведении определённых конструктивных мероприятий и обосновании, эта схема является вполне работоспособной и может быть использована в районах сейсмической активности. Примеры различных конструктивных схем крупнопанельных зданий представлены на рисунке 1.

К числу характерных повреждений панельных и других зданий с жёсткой конструктивной схемой во время землетрясений относятся повреждения, связанные с низким качеством соединения панелей между собой, с отсутствием связей или их недостаточностью между конструктивными элементами [6]. Некоторые примеры возможных повреждений крупнопанельных зданий представлены на рисунке 2.

Крупнопанельные здания, как было сказано выше, отличаются значительной сдвиговой жёсткостью. Период собственных колебаний таких зданий изменяется в пределах от 0,2 до 0,3 с. Именно эти здания наиболее часто использовались для внедрения систем сейсмоизоляции различного рода. Идея реализации сейсмоизоляции состоит в введении между надземной частью здания и основанием упругих элементов, обладающих значительной податливостью, с помощью которых производится отстройка спектра частот объекта от спектра частот воздействия в длиннопериодную часть [2].

Одной из первых работ, в которой рассматривалось крупнопанельное жилое здание с гибким нижним этажом, была работа И.Л. Корчинского [7] (рис. 3).

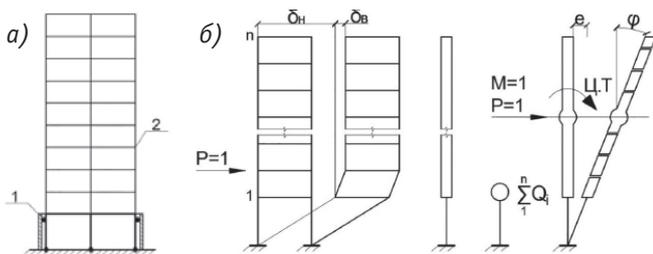
Автор приводит решение построенного в Ташкенте крупнопанельного здания, опирающегося на каркас нижнего этажа. Благодаря значительному увеличению гибкости здания сейсмическая нагрузка снизилась в два-три раза. Исследования крупнопанельных зданий с гибкой нижней частью были выполнены в работах В.Т. Рассказовского и Ю.А. Гамбурга [8]. Хотелось бы отметить, что эффективность



а) с узким шагом поперечных стен; б) с широким шагом поперечных стен



а) трещины на фасаде четырёхэтажного панельного здания; б) обвал части двухэтажного панельного здания [6]



а) конструктивная схема: 1 – гибкая часть здания; 2 – жёсткая часть здания; б) расчётные схемы: δ_n – деформация верхней (жёсткой) части; δ_{ni} – деформация нижней (гибкой) части [7]

использования гибкого этажа в качестве сейсмозащиты может быть обеспечена только в том случае, если район строительства отличается ярко выраженными воздействиями высокочастотного характера. В случае же, если в районе строительства будут преобладать воздействия с выраженным спектром, смещённым в длиннопериодную часть, с большими смещениями основания, то упругие элементы будут испытывать большие деформации, приводящие к обрушению здания. В этом случае сейсмостойкость крупнопанельного здания не будет обеспечена. Сильные повреждения здания с гибким этажом получили при землетрясениях в Скопле, Агаджире, Бухаресте и других городах. Это, по-видимому, послужило одной из причин запрета строительства зданий с гибким этажом на территории Узбекистана.

В настоящее время существует целая группа различных систем сейсмоизоляции, получивших свою реализацию именно в крупнопанельных зданиях. Среди этих систем наиболее распространёнными являются кинематические опоры различного вида, скользящий пояс, адаптивные системы сейсмозащиты, некоторые из них показаны на рисунке 4. Так, кинематические фундаменты Ю.Д. Черепинского (рис. 4, а) были разработаны и исследованы в крупнопанельных зданиях различных серий в Алматы, Петропавловске-Камчатском, Навои и других городах. Эта система сейсмоизоляции, как известно, получила название гравитационной сейсмозащиты, основанной на том, что во время землетрясений центр тяжести опор поднимается, в результате образуется гравитационная восстанавливающая сила. При этом колебания здания происходят около положения равновесия и их начальная частота и период зависят от геометрических размеров опор. Большой вклад в развитие этих систем, в изучение специфики их работы сделан в КазпромстройНИИпроекте под руководством Т.Ж. Жунусова, а также при участии В.А. Лапина, И.Е. Ицкова, С.Е. Ержанова и других [9].

Конструкция сейсмоизолирующего пояса (рис. 4 б), реализованная в крупнопанельных зданиях в Бишкеке, имеет верхнюю обвязку и ростверк, между которыми введены фторопластовые пары и ограничители перемещений. При действии сейсмических нагрузок происходит смещение между ростверком и обвязкой, что снижает нагрузки на здание. Смещение здания ограничивается устройствами, уменьшающими перемещения. Эта конструкция была разработана группой учёных – Л.Ш. Килимником, Л.А. Солдатовой, С.В. Поляковым и В.П. Чуднецовым [10]. Экспериментальные исследования этой конструкции сейсмозащиты на реальных крупнопанельных пяти- и девятиэтажных зданиях проводились в Бишкеке в различные годы под руководством М.К. Абдыбалиева, У.Т. Бегалиева и других.

В конструкциях сейсмозащиты крупнопанельных зданий впервые были внедрены адаптивные системы сейсмозащиты (рис. 4 в). Основные особенности работы адаптивных систем детально исследованы в работах Я.М. Айзенберга и его учеников [11–13]. Принцип этой системы сейсмозащиты основан

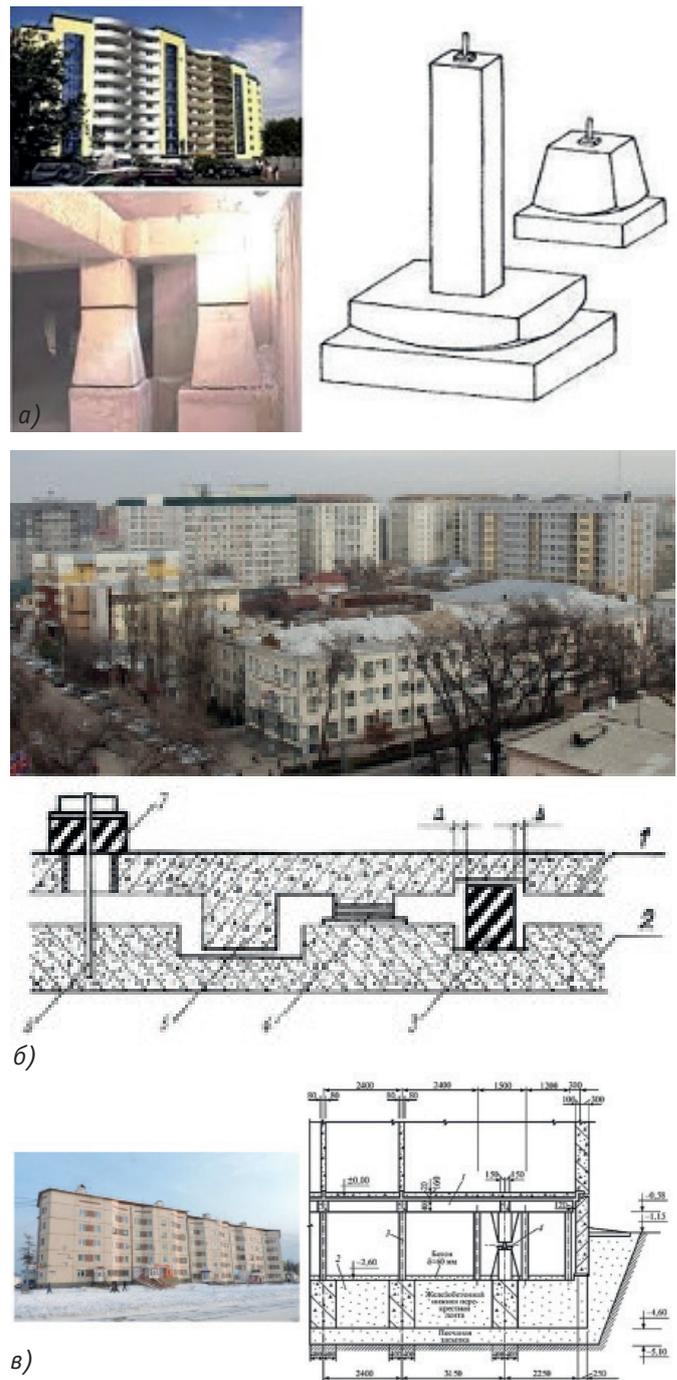
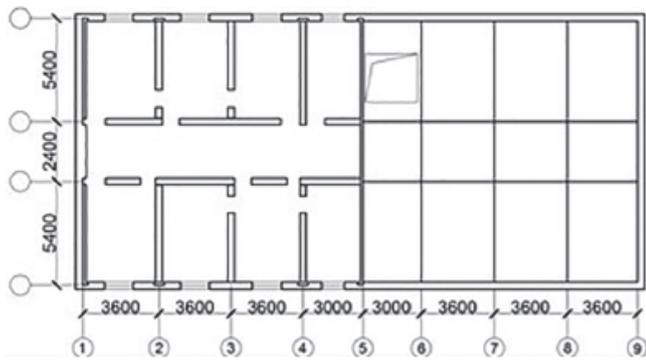
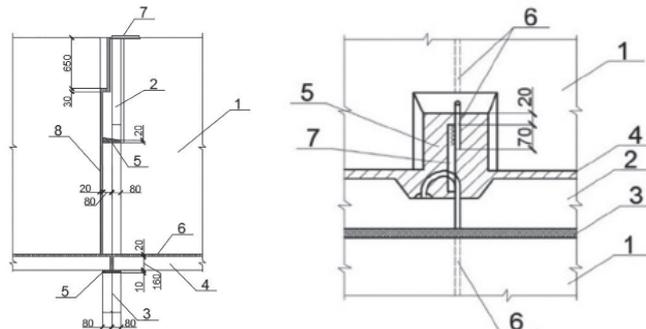


Рис. 4. Примеры реализации систем сейсмоизоляции в конструкциях крупнопанельных зданий: а) крупнопанельные здания на опорах Ю.Д. Черепинского; б) вид зданий в Бишкеке на скользящем поясе и конструкция сейсмоизолирующего пояса: 1 – верхняя фундаментная плита; 2 – нижняя фундаментная плита; 3 – упругий ограничитель горизонтальных перемещений; 4 – скользящая опора; 5 – жёсткий ограничитель горизонтальных перемещений; 6 – ограничитель вертикальных перемещений; 7 – вертикальный амортизатор; в) – вид здания в Северобайкальске с адаптивной системой сейсмоизоляции и конструкция такой системы: 1 – верхняя перекрёстная лента; 2 – нижняя перекрёстная лента; 3 – стойки «гибкого» нижнего этажа; 4 – выключающиеся связи



а)



б)

в)

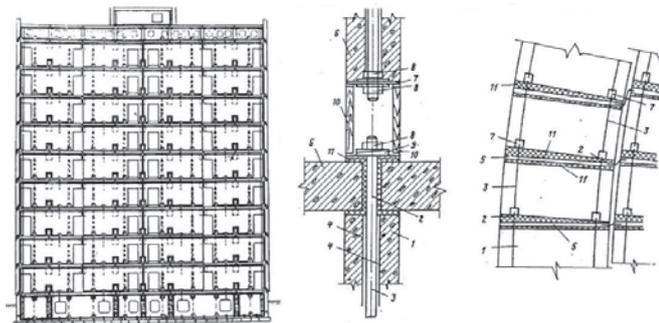
Рис. 5. Пример конструктивного решения крупнопанельного здания с «сухими стыками»: а) план типового этажа; б) фрагмент вертикального стыка: 1 – стеновая панель; 2 – выступ панели продольной оси; 3 – панель по продольной оси; 4 – плиты перекрытия; 5 – сухая прокладка; 6 – растворный шов; 7 – соединительная металлическая деталь; 8 – вертикальный растворный шов; в) узел соединения вертикальных тяжей в уровне перекрытия: 1 – стеновая панель; 2 – плита перекрытия; 3 – сухая прокладка; 4 – растворный шов; 5 – цементный раствор замоноличивания в шпонке; 6 – вертикальный арматурный тяж; 7 – арматурный стержень

на том, что при интенсивных сейсмических воздействиях, когда в спектре воздействия преобладают периоды, равные или близкие к периоду свободных колебаний здания, происходит выключение связевых элементов. После их отключения частота свободных колебаний падает, период увеличивается, в результате происходит снижение сейсмической нагрузки. Несмотря на преимущества этой системы сейсмозащиты, она имеет ограниченную область применения при сейсмических воздействиях кратковременного характера. В случае повторных сейсмических толчков, здание становится «беззащитным» и весьма уязвимым.

Для районов со сложными инженерно-геологическими и сейсмическими условиями ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко совместно с ЛенЗНИИЭПом [14; 15] была разработана типовая серия крупнопанельных зданий – серия 122. Серия получила название «Крупнопанельные здания с «сухими» стыками». Большой вклад в разработку и внедрение конструктивных решений этой серии был сделан главным конструктором ЛенЗНИИЭПа Л.А. Львовым. Конструктивные примеры реализации крупнопанельных зданий с «сухими» стыками показаны на рисунках 5 и 6.

Для крупнопанельных зданий эффект от внедрения выше-рассмотренных систем сейсмозащиты пока не является столь очевидным, несмотря на многочисленные расчётно-теоретические и экспериментальные исследования [16–20]. Высокие параметры сейсмостойкости крупнопанельных конструкций и отсутствие проверки их работы в условиях сильных восьми-девятибалльных землетрясений пока не позволяет уяснить и оптимизировать характер их работы. Несовершенство норм проектирования и расчёта также не позволяет учитывать существенно нелинейный характер работы крупнопанельных зданий, особенно с «сухими» стыками, а также характер работы их конструктивных соединений. Поэтому дальнейшее изучение и уточнение моделей крупнопанельных зданий, совершенствование методов их расчёта имеют большое практическое значение. Некоторые результаты решения этой актуальной задачи представлены в настоящей статье. В исследовании рассматривались различные конструктивные решения панельных зданий, в частности, здания с «сухими» стыками, получившими распространение, как было сказано выше, в районах с суровыми климатическими и сейсмическими условиями строительства.

Как известно, крупнопанельное здание можно представить как пространственную систему пластинок (сплошных и с проёмами), которые моделируют стеновые панели и плиты перекрытия, соединённые между собой податливыми связями. Конструктивные решения и рекомендации по расчёту и проектированию панельных зданий с «сухими» стыками изложены в рекомендациях [14]. Эти здания работают как нелинейные системы, которые не входят в резонансные состояния в широком диапазоне сейсмических воздействий. Несмотря на резко нелинейный характер работы отдельных зон стыковых соединений, которых в здании достаточно много, микротрещины в



а)

б)

Рис. 6. Конструкция крупнопанельного здания с «сухими» стыками: а) разрез здания; б) фрагмент стены здания: 1 – стеновые панели; 2 – специальные выпуски; 3 – арматурные стержни; 4 – разделительный слой; 5 – панели перекрытий; 6 – вышестоящие стеновые панели; 7 – соединительные коробки; 8 – болтовое соединение; 9 – пружинные шайбы; 10 – съёмные герметизирующие крышки; 11 – упругие сухие прокладки [15]

этих зонах появляются не одновременно, в результате чего изменение жёсткости здания в целом от действия горизонтальных сил меняется достаточно плавно. Следует заметить, что в традиционных решениях стыковых соединений, выполненных монолитными со сваркой арматуры, пространственная система панельного здания является жёсткой, что не позволяет ей в процессе вынужденных колебаний адаптироваться к ним и осуществлять тем самым поглощение сейсмических колебаний. Модификация конструктивной системы сейсмостойкого крупнопанельного здания с «сухими» стыками, в которой предусматривается наличие связей в вертикальных швах между стеновыми панелями, применение платформенных горизонтальных стыков с использованием сухих прокладок по верху стеновых панелей и цементного выравнивающего раствора по верху перекрытий, а также наличие других конструктивных мероприятий позволяет значительно увеличить сопротивляемость таких зданий сейсмическим воздействиям [20–21]. При этом одним из наиболее сложных вопросов в изучении сейсмостойкости таких панельных зданий является построение и обоснование расчётных схем [22]. В исследовании были приняты различные расчётные модели крупнопанельных зданий с «сухими» стыками с учётом их раскрытия. Одна из расчётных моделей представлена на рисунке 7.

На основании предложенных расчётных моделей была разработана методика расчёта сейсмостойкости крупнопанельных зданий с «сухими» стыками. Установлено, что напряженно-деформированное состояние горизонтальных стыков с прокладками зависит от действия внешней нагрузки, угла раскрытия горизонтальных швов и модуля деформации прокладок. Эпюры нормальных напряжений в стыках имеют существенно нелинейный характер. Численные исследования выявили существенный резерв несущей способности «сухих» горизонтальных стыков за счёт упругопластических деформаций в прокладках. Учитывая, что каждый материал «сухих» прокладок может иметь свою диаграмму деформирования, следует использовать прокладки, обладающие высокими упругопластическими свойствами. Установлено, что жёсткость стеновой панели должна определяться жёсткостью горизонтального стыка с прокладкой и учитывать параметр, характеризующий недопущение увеличения деформации прокладки и угла раскрытия горизонтального шва.

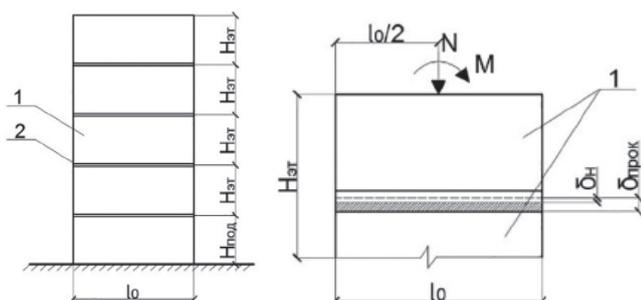


Рис. 7. Дискретно-континуальная расчётная модель здания (а) и фрагмент расчётной модели панели с сухими стыками (б): 1 – стеновая панель; 2 – горизонтальные швы с прокладками

Существенное значение при использовании «сухих» прокладок имеет коэффициент трения. От его значения зависит и эффект демпфирования, и непосредственно надёжность стыковых соединений при сейсмических воздействиях. Коэффициент трения в горизонтальных швах изменяется нелинейно по высоте здания и зависит не только от вертикальной и горизонтальной нагрузок, а также от модуля деформации прокладок и длины сжатия зоны стыка. В ходе исследования установлено, что вертикальные стыки в начальном состоянии обладают сравнительно небольшой податливостью, однако в процессе деформирования конструктивной системы рассматриваемого панельного здания от сейсмических усилий податливость вертикальных стыков многократно увеличивается.

Для уточнения и усовершенствования работы крупнопанельных зданий с «сухими» стыками на следующем этапе были рассмотрены конструкции платформенного стыка с использованием сухих прокладок ниже и выше перекрытия. В качестве прокладок использованы различные современные материалы, обладающие высокими диссипативными свойствами. В качестве такого материала был использован, например, хризотил. Расчётное исследование выполнялось на пространственных моделях с использованием метода конечных элементов МКЭ, который был реализован в вычислительном комплексе «ПК Лира-САПР». При решении использовались пластинчатые и стержневые конечные элементы КЭ-44, а также специальные конечные элементы КЭ-55, КЭ-258, КЭ-259 и КЭ-264, с помощью которых моделировались параметрические характеристики материалов, их поведение и свойства.

Анализ выполненных расчётов показал, что применение дополнительных элементов сухого трения позволяет на 30% снизить сейсмические нагрузки на здания и соответственно усилия в сборных элементах крупнопанельного здания.

Исследования крупнопанельных зданий в сейсмически активных районах проводились на кафедре «Здания» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I при участии аспирантов и магистров кафедры Ю.Г. Яшина и М.П. Жовны.

* * *

1. Применение крупнопанельных зданий рационально в сейсмических районах строительства.

2. Крупнопанельные здания представляют собой жёсткую конструктивную систему, эффективность работы которой при сейсмических воздействиях различного частотного состава можно существенно повысить при устройстве в фундаментной части специальных средств сейсмозащиты в виде сейсмоизоляции и сейсмозащиты.

3. Выполненные расчётно-теоретические исследования крупнопанельных зданий с «сухими» стыками подтвердили их высокую сейсмостойкость.

4. Установлено, что резерв несущей способности сухих горизонтальных стыков обеспечивается за счёт упругопластических свойств применяемых прокладок.

Литература

1. *Derkowski, W.* Large panels buildings – the possibilities of modern precast industry / Wit Derkowski // *Cement wapno beton*. – 2017. – Sept.-Okt – Vol. 22, Iss. 5. – P. 414–425.
2. *Уздин, А.М.* Сейсмостойкие конструкции транспортных зданий и сооружений / А.М. Уздин, С.В. Елизаров, Т.А. Белаш. – М. : УМЦ ЖДТ, 2012. – 501 с.
3. *Реквава, П.А.* Сейсмические воздействия при ближних разрушительных землетрясениях и возможности современного проектирования – исследование сейсмостойкости крупнопанельного здания с супершироким шагом стен / П.А. Реквава // *Геология и геофизика Юга России*. – 2016. – № 2. – С. 153–163.
4. *Реквава, П.А.* Неупругая сейсмическая реакция системы «крупнопанельное здание – поверхность раздела – основание» / П.А. Реквава // *Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «Исследования по теории сооружений»*. – 2009. – № 1. – С. 147–159.
5. *Rekvava, P.* Seismic reliability analysis of structural systems / P. Rekvava // *IMECE2009: Proceedings of the asme international mechanical engineering congress and exposition*. – Lake Buena Vista, FL, 2010. – Vol. 13. – pp. 255–261.
6. *Ашкинадзе, Г.Н.* Железобетонные стены сейсмостойких зданий. Исследования и основы проектирования. / Г.Н. Ашкинадзе, М.Е. Соколов, Л.Д. Мартынова – М. : Стройиздат, 1988. – 504 с.
7. *Корчинский, И.Л.* Сейсмостойкое строительство зданий: учебное пособие для вузов. / И.Л. Корчинский – М. : Высшая школа, 1971. – 320 с.
8. *Рассказовский, В.Т.* Методика расчёта жёстких зданий с гибким первым этажом на сейсмические воздействия / В.Т. Рассказовский, Ю.А. Гамбург // *Строительство и инженерное обеспечение полиграфических зданий*. – Ташкент, 1971. – С. 37–44.
9. *Жунусов, Т.Ж.* Основы сейсмостойкости сооружений / Т.Ж. Жунусов – Алма-Ата : Рауан, 1990. – 270 с.
10. *Поляков, С.В.* Современные методы сейсмозащиты зданий / С.В. Поляков, Л.Ш. Климиник, А.В. Черкашин – М. : Стройиздат, 1988. – 320 с.
11. *Айзенберг, Я.М.* Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты. / Я.М. Айзенберг – М. : Наука, 1983. – 139 с.
12. *Applications of seismic isolation in the USSR / J.M. Eisenberg [et al.] // Proceedings of the tenth world conference on earthquake engineering*. – Madrid, Spain, 1992. – Vols. 1–10. – pp. 2039–2044.
13. *Seismic response reduction by means of inelastic deformations and failure - mechanisms of structures control and seismic isolation / J.M. Eisenberg [and other] // Earthquake engineering, Sixteenth european regional seminar*. – Stara Lesna, Czechoslovakia, 1992. – pp. 126–132.
14. *Неймарк, Л.И.* Проблемы проектирования и строительства сейсмостойких крупнопанельных зданий с сухими стыками. / Л.И. Неймарк // *Эффективные конструктивные решения по обеспечению сейсмостойкости жилищно-гражданского строительства в северной климатической зоне*. – Якутск, 1990. – С. 37–41.
15. *Стена многоэтажного сейсмостойкого здания : А.с. 767330 СССР / Л.И. Неймарк, Д.А. Питлюк, М.В. Питлюк ; ЛенЗНИИЭП; заяв. 07.07.78. 2640691/29-33 ; опубл. 30.09.80, БИ №36, МКИ E04 H9/02, УДК 699.841 (088.8).*
16. *Бутырский С.Н.* О применении демпфирующих виброгасящих элементов в конструкции здания при сейсмозащите / С.Н. Бутырский, О.А. Ковальчук // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2016. – № 9. – С. 30–34.
17. *Апсеметов, М.Ч.* Практические методы расчёта сооружений с сейсмоизолирующими скользящими опорными устройствами на сейсбозащиту / М.Ч. Апсеметов, А.Ж. Андашев, А.Е. Айдаралиев // *Вестник КГУСТА*. – 2013. – № 3. – С. 191–194.
18. *Experiences with Friction Pendulum (TM) seismic isolation in California / M. Sarkisian [et al.] // Earthquake resistant engineering structures IX, book series: WIT Transactions on the Built Environment*. – Coruna, SPAIN, 2013, – vol. 132. – pp. 357–368.
19. *Static Test and Seismic Dynamic Response of an Innovative 3D Seismic Isolation System / Liu Wenguang [et al.] // Journal of structural engineering*. – 2018. – vol. 144 ; Issue 12 ; article number 04018212.
20. *Сайда, С.К.* Усовершенствование крупнопанельного домостроения с применением инновационной технологии вертикальных стыков / С.К. Сайда, А.Ю. Касперович // *Строительство и экономика: проблемы и решения : сб. ст. по материалам региональной науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, магистрантов и преподавателей (Краснодар, 21 марта 2018 г.)*. – Краснодар, 2018. – С. 34–37
21. *Голубев, А.А.* Особенности расчётных схем крупнопанельных зданий с сухими стыками / А.А. Голубев, И.Б. Нудьга, Ю.Г. Яшинин // *ЭВМ в исследованиях и проектировании объектов строительства*. – Л. : ЛенЗНИИЭП, 1988. – С. 32–37.
22. *Яшинин, Ю.Г.* Приближенный метод расчёта сейсмостойких крупнопанельных зданий с «сухими» стыками : автореферат дис. ...канд.тех.наук / Ю.Г. Яшинин. – СПб, 1994. – 17 с.

References

1. *Derkowski W.* Large panels buildings – the possibilities of modern precast industry. *Cement wapno beton*, 2017, sep-oct 2017, vol. 22, is. 5, pp. 414–425.
2. *Uzdin A.M. Elizarov S.V., Belash T.A.* Sejsmostojkie konstruktsii transportnykh zdaniy i sooruzhenij [Earthquake-resistant structures of transport buildings and structures]. Moscow : UMTs ZhDT Publ., 2012, 501 p.
3. *Rekvava P.A.* Sejsmicheskie vozdejstviya pri blizhnikh razrushitel'nykh zemletryasenyakh i vozmozhnosti sovremennogo projektirovaniya issledovanie sejsmostojkosti krupnpanel'nogo zdaniya s supershirokim shagom sten [Seismic effects in near destructive earthquakes and the possibilities of modern design – a study of the seismic resistance of a

large-panel building with superwide wall spacing]. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii [Geology and geophysics of the South of Russia]*, 2016, no. 2, pp. 153–163.

4. Rekvava P.A. Neuprugaya seismicheskaya reaktsiya sistemy "krupnopanel'noe zdanie – poverkhnost' razdela – osnovanie" [Inelastic seismic response of the system "large-panel building – interface – base"]. *Vestnik TsNIISK im. V.A. Kucherenko "Issledovaniya po teorii sooruzhenij"* [Bulletin TSNIISK them. V.A. Kucherenko "Studies on the theory of structures"], 2009, no. 1, pp. 147–159.

5. Rekvava P. Seismic reliability analysis of structural systems. *IMECE2009: Proceedings of the asme international mechanical engineering congress and exposition*. Lake Buena Vista, FL, 2010, vol. 13, pp. 255–261.

6. Ashkinadze G.N., Sokolov M.E., Martynova L.D. Zhelezobetonnye steny seismostojkikh zdaniy. Issledovaniya i osnovy proektirovaniya [Reinforced concrete walls of seismic resistant buildings. Research and design basics]. Moscow, Strojizdat Publ., 1988, 504 p.

7. Korchinskij I.L. Seismostojkoe stroitel'stvo zdaniy [Earthquake resistant building construction] : uchebnoe posobie dlya vuzov. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1971, 320 p.

8. Rasskazovskij V.T., Gamburg Yu.A. Metodika rascheta zhestkikh zdaniy s gibkim pervym etazhom na seismicheskie vozdejstviya [The method of calculating rigid buildings with a flexible ground floor for seismic effects]. *Stroitel'stvo i inzhenernoe obespechenie poligraficheskikh zdaniy* [Construction and engineering support of printing buildings], Tashkent, 1971, pp. 37–44.

9. Zhunusov T.Zh. Osnovy seismostojkosti sooruzhenij [Basics of seismic stability of structures]. Alma-Ata, Rauan Publ., 1990, 270 p.

10. Polyakov S.V., Kilimnik L.Sh., Cherkashin A.V. Sovremennye metody seismozashhity zdaniy [Modern methods of seismic protection of buildings]. Moscow, Strojizdat Publ., 1988, 320 p.

11. Ajzenberg, Ya.M. Seismoizolyatsiya i adaptivnye sistemy seismozashhity [Seismic isolation and adaptive seismic protection systems]. Moscow, Nauka Publ., 1983, 139 p.

12. J.M. Eisenberg [et al.] Applications of seismic isolation in the USSR. *Proceedings of the tenth world conference on earthquake engineering*. Madrid, Spain, 1992, vols. 1–10, pp. 2039–2044.

13. J.M. Eisenberg [et al.] Seismic response reduction by means of inelastic deformations and failure – mechanisms of structures control and seismic isolation. *Earthquake engineering*, Sixteenth European regional seminar. Stara Lesna, Czechoslovakia, 1992, pp. 126–132.

14. Nejmark L.I. Problemy proektirovaniya i stroitel'stva seismostojkikh krupnopanel'nykh zdaniy s sukhimi stykami [Problems of design and construction of seismic resistant large-panel buildings with dry joints]. *Effektivnye konstruktivnye resheniya po obespecheniyu seismostojkosti zhilishhno-grazhdanskogo stroitel'stva v severnoj klimaticheskoy zone*

[Effective design solutions to ensure the seismic resistance of housing and civil engineering in the northern climatic zone]. Yakutsk, USSR, 1990, pp. 37–41.

15. Stena mnogoetazhnogo seismostojkogo zdaniya [Wall of a multistory seismic resistant building] : A.s. 767330 SSSR. / L.I. Nejmark, D.A. Pitlyuk, M.V. Pitlyuk; LenZNIIEP; zavav. 07.07.78 2640691/29-33; opubl. 30.09.80, BI №36, MKI E04 N9/02, UDK 699.841 (088.8).

16. Butyrskij S.N., Koval'chuk O.A. O primeneniі dempfirovushhikh vibrogasyashhikh elementov v konstruktzii zdaniya pri seismovozdejstvii [On the use of damping vibration-attenuating elements in the structure of a building under seismic effects]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering], 2016, no. № 9, pp. 30–34.

17. Apsetmetov, M.Ch., Andashev A.Zh., Ajdaraliev A.E. Prakticheskie metody rascheta sooruzhenij s seismoizoliruyushhimi skol'zyashhimi opornymi ustrojstvami na seismobezopasnost' [Practical methods for calculating structures with seismic insulating sliding support devices for seismic safety]. *Vestnik KGUSTA* [Bulletin of KGUSTA], 2013, no. 3, pp. 191–194.

18. M. Sarkisian [et al.] Experiences with Friction Pendulum (TM) seismic isolation in California. *Earthquake resistant engineering structures IX*, book series: *WIT Transactions on the Built Environment*. Coruna, SPAIN, 2013, vol. 132, pp. 357–368.

19. Liu Wenguang [et al.] Static Test and Seismic Dynamic Response of an Innovative 3D Seismic Isolation System. *Journal of structural engineering*, 2018, vol. 144; Is. 12; article number 04018212.

20. Sajda S.K., Kasperovich A.Yu. Uovershenstvovanie krupnopanel'nogo domostroeniya s primeneniem innovatsionnoj tekhnologii vertikal'nykh stykov [Improvement of large-panel housing construction with the use of innovative technology of vertical joints]. *Stroitel'stvo i ekonomika: problemy i resheniya*, sb. st. po materialam regional'noj nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov, magistrantov i prepodavatelej (Krasnodar, 21 marta 2018 g.) [Construction and economy: problems and solutions, Coll. Art. According to the materials of the regional scientific-practical. conf. students, graduate students, undergraduates and teachers (Krasnodar, March 21, 2018)]. Krasnodar, Russia, 2018, pp. 34–37.

21. Golubev, A.A., Nud'ga I.B., Yashinin Yu.G. Osobennosti raschetnykh skhem krupnopanel'nykh zdaniy s sukhimi stykami [Features of design schemes for large-panel buildings with dry joints]. *EVM v issledovaniyakh i proektirovanii ob'ektov stroitel'stva* [Computers in research and design of construction objects]. Leningrad, LenZNIIEP Publ., 1988, pp. 32–37.

22. Yashinin, Yu.G. Priblizhennyj metod rascheta seismostojkikh krupno-panel'nykh zdaniy s «sukhimi» stykami [Approximate method of calculating seismic resistant large-panel buildings with "dry" joints], avtoreferat dis. ...kand. tekhn.nauk [Abstract dis. ... candidate of technical science. St.Petersburg, Russia, 1994, 17 p.

Белаш Татьяна Александровна (Санкт-Петербург). Доктор технических наук, профессор, советник РААСН. Заведующая кафедрой «Здания» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I» (190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9, ПГУПС). Эл.почта: belashta@mail.ru.

Зенченкова Диана Вениаминовна (Санкт-Петербург). Кандидат технических наук. Доцент кафедры «Здания» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I» (190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9, ПГУПС). Эл.почта: dvz2012@mail.ru.

Belash Tatyana Alexandrovna (St. Petersburg). Doctor of Technical Sciences, Professor, Advisor of RAACS. Head of Buildings Department at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (9 Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031. PGUPS). E-mail: belashta@mail.ru.

Zenchenkova Diana Veniaminovna (St. Petersburg). Candidate of Technical Sciences. Associate Professor of Buildings Department at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (9 Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031. PGUPS). E-mail: dvz2012@mail.ru.