



УДК 656:658.2.016

Т. А. Белаш**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЯДОМ СТОЯЩИХ ЗДАНИЙ
С РАЗЛИЧНЫМИ КОНСТРУКТИВНЫМИ СХЕМАМИ
НА ИХ СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ**

Дата поступления: 14.07.2015

Решение о публикации: 08.09.2015

Цель: Обеспечить сейсмостойкость зданий с различными конструктивными решениями в системе городской застройки. **Методы:** Использовался расчетный аппарат теории колебаний. Рассматривалась группа пространственных моделей зданий, различающихся конструктивными решениями. Учитывался волновой характер взаимодействия зданий с основанием. В исследовании варьировались жесткостные характеристики зданий, расстояние между зданиями, различные грунтовые условия. **Результаты:** Установлено, что при определенных расстояниях между зданиями во время землетрясений становится существенным влияние одного типа здания на другое, это влияние зависит от динамических характеристик зданий и их взаимного расположения. Если между зданиями меньше 10 м, то сейсмическая нагрузка увеличивается. Это влияние особенно заметно на песчаных грунтах. Установлено, что наиболее уязвимы здания условно «гибкой» конструкции, находящиеся в системе городской застройки, состоящей из условно «жестких» зданий, если при этом расстояние между объектами менее 9 м. По мере увеличения расстояния между зданиями независимо от конструктивных решений взаимное влияние уменьшается. **Практическая значимость:** На основании расчетно-теоретических исследований разработаны практические рекомендации по обеспечению сейсмостойкости зданий, находящихся в системе городской застройки. Предлагается повышать сейсмостойкость с помощью специальных демпфирующих элементов, например, в виде демпферов сухого трения. Эти устройства устанавливаются между зданиями относительно «гибких» конструктивных решений и относительно «жестких» либо между «гибким» зданием и жестким склоном. На предложенные конструктивные решения получены патенты. Введение демпфирующих элементов между зданиями повысит их надежность при сейсмических воздействиях.

Сейсмостойкость, городская застройка, стоящие рядом друг с другом здания, демпферы сухого трения.

Tatyana A. Belash, D. Eng., professor, Belashta@mail.ru (Petersburg State Transport University)
STUDY OF INFLUENCE OF SEVERAL BUILDINGS WITH DIFFERENT STRUCTURAL SCHEMES
STANDING SIDE BY SIDE ON THEIR SEISMIC STABILITY

Objective: To ensure seismic stability of buildings with different structure schemes in the urban development system. **Methods:** The study deployed calculation mechanism of vibration theory. A group of spatial models of buildings with varying structural schemes was considered. Wave-like properties of buildings' interaction with foundations was taken into account. The study varied buildings' spring characteristics, distances between buildings, different soil conditions. **Results:** It was established that at certain distances between buildings influence of one type of a building on another becomes significant during earthquakes. This influence depends on buildings' dynamic properties and their relative positions. If the distance between buildings is less than 10 metres, seismic load increases. This influence is particularly

noticeable on sandy soils. It was established that most vulnerable are buildings of conditionally “flexible” structure located in the urban development system that consists of conditionally “stiff” buildings, if distances between separate objects is less than nine metres. Mutual influence decreases as distances between buildings increase, without regard for structural schemes. **Practical importance:** Practical recommendations for ensuring seismic stability of buildings that form a part of urban developments are developed on the basis of calculations and theoretical studies. The study proposes to increase seismic stability by using specialised damping elements, such as dry friction dampers. These devices are installed between buildings of relatively “flexible” and relatively “stiff” structural schemes, or between a “flexible” building and a stiff slope. Patents were issued for construction solutions proposed. Introducing damping elements between buildings would increase their indestructibility in cases of seismic impact.

Seismic stability, urban development, buildings located in close proximity, dry friction dampers.

Планировочная структура многих городов, расположенных в сейсмических районах, весьма многообразна, что связано с историческими, национальными, природно-климатическими особенностями, а также с другими факторами.

Структуру многих городов формирует застройка зданий, различных по функциональному назначению, по времени возведения, по этажности, конструктивным и планировочным решениям. Во многих случаях городская застройка ведется в стесненных условиях, обусловленных высокой плотностью жилых кварталов, сложным рельефом, гидрогеологическими и другими условиями строительства. Ситуация осложняется, если приходится переоценивать сейсмичность территории в сторону ее увеличения. В результате в части старой застройки не предусмотрены антисейсмические меры, а в части зданий новой застройки они есть. В таких условиях сложно обеспечить сейсмическую безопасность поведения как отдельных зданий, так и группы объектов в одном комплексе городской стесненной застройки во время сильных землетрясений, о чем свидетельствуют разрушительные землетрясения в нашей стране и за рубежом. Эти землетрясения привели к большому количеству жертв и практически полностью разрушили городские кварталы (рис. 1 [7, 8]).

Одним из подходов к решению этой сложной задачи является использование специальных методов сейсмозащиты. Наиболее эффек-

тивны здесь конструкции с высокими диссипативными свойствами, например, демпферы вязкого или сухого трения, вводимые не только непосредственно внутри или снаружи здания, но и между зданиями. В этом случае одно из зданий, обладающих большей сейсмостойкостью, выступает опорным объектом. Кроме того, таким объектом может служить и недеформируемый скалистый склон или другое массивное сооружение. Приведем результаты исследования сейсмостойкости рядом стоящих зданий с различными конструктивными решениями и представим энергопоглотители в виде демпферов сухого трения.

Методология исследования

Для оценки эффективности применения элементов демпфирования и повышения сейсмостойкости зданий в условиях стесненной городской застройки проведены комплексные исследования.

На первом этапе предварительно оценили влияние стесненных условий на сейсмостойкость зданий городской застройки и проверили необходимость повышения их сейсмостойкости. Исследование выполняли на плоской упругой конечно-элементной модели (рис. 2). Периоды собственных колебаний зданий, с помощью которых варьировали конструктивные решения, изменяли в пределах 0,1–1 с. В качестве фрагмента застройки рассматрива-



Рис. 1. Примеры разрушений зданий разных конструктивных схем:
 а) Кобе (Япония, 1995 г.); б) жилой дом с первым «гибким» этажом в Измите (Турция, 1999 г.);
 в) жилой дом в Измите (Турция, 1999 г.); г) соударение 4-этажных зданий
 (Турция, провинция Ван, 2011 г.)

ли три здания, расположенные друг от друга на расстоянии 0,3–15 м.

В исследовании учитывали взаимодействие зданий с грунтовым основанием, мощность которого была принята около 100 м. Рассматривали волновой характер взаимодействия сейсмических волн со зданиями. Расчеты выполнены под руководством автора статьи совместно с аспиранткой кафедры «Здания» К. В. Блинковой [3].

Результаты и обсуждение

Установлено, что здания, находящиеся в стесненных условиях городской застройки,

при сейсмических воздействиях могут взаимно влиять друг на друга. Характер этого влияния зависит от динамических характеристик зданий, от их взаимного расположения, а также от расстояния между ними. Наиболее существенно это влияние проявляется при расстоянии между зданиями менее 9 м. При этом в наиболее неблагоприятных условиях оказываются здания с периодом собственных колебаний, близким к 1 с, в системе застройки соседних зданий – с периодами колебаний, близкими к 0,2 с. По мере увеличения расстояния между зданиями независимо от их конструктивных решений взаимное влияние снижается. Взаимное влияние зависит также

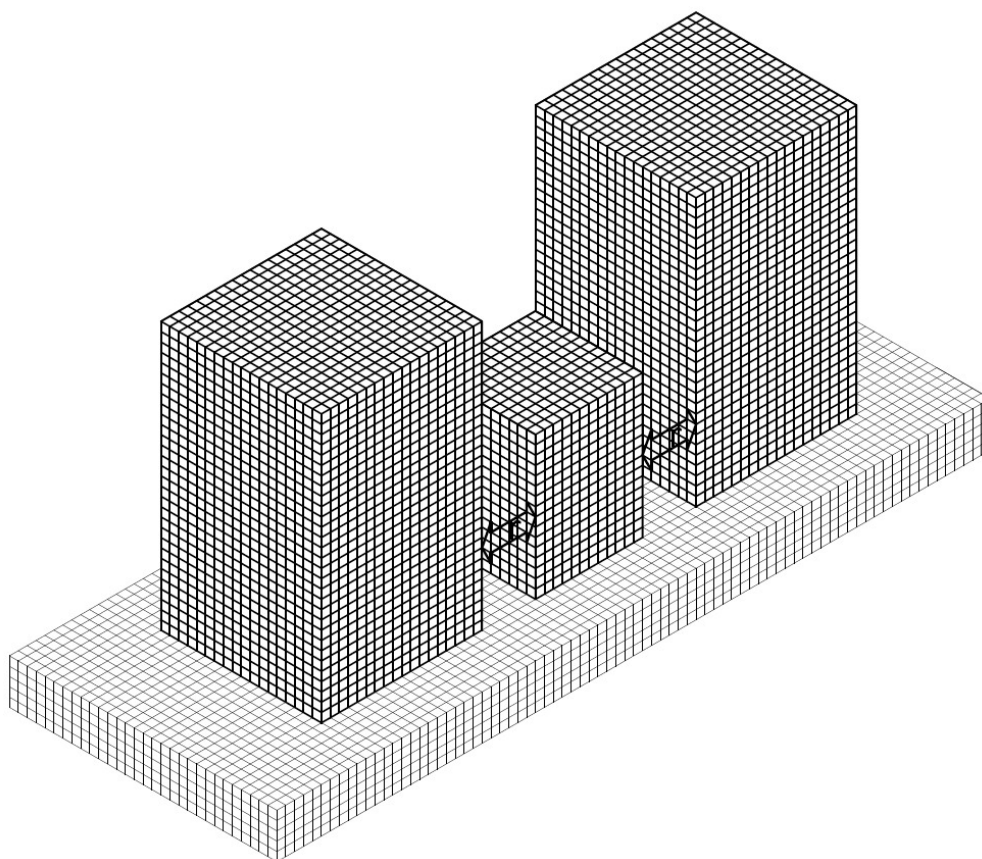


Рис. 2. Расчётная схема, принимаемая в исследовании:
 r – расстояние между зданиями

от грунтовых условий строительной площадки. В ходе исследований установлено, что степень влияния существенно повышается при наличии слабых, водонасыщенных грунтов, например, песков.

Предлагается ограничить негативное влияние грунта на сейсмическую безопасность путем введения между зданиями энергопоглощающих элементов, например, демпферов сухого трения.

На рис. 3 показаны два здания в системе городской застройки, отличающиеся друг от друга конструктивными решениями (1 и 2). Одно из зданий является абсолютно жестким, другое имеет значительную податливость. На уровне перекрытий объекты связаны горизонтальными связями 3 в виде опор конечной жесткости. Одним концом опоры жестко соединены с одним объектом в зоне наибольших динамических перемещений, а

другим – с другим объектом через демпферы сухого трения 4 [2].

Непосредственно ландшафт также может быть включен в систему сейсмозащиты. На рис. 4 показана конструкция здания, которое соединено с рядом стоящим недеформируемым склоном с помощью горизонтальных галерей.

В фундаментную часть горизонтальных пешеходных галерей вводятся демпфирующие элементы в виде демпферов сухого трения, которые представляют собой трущуюся пару, выполненную из железобетонной плиты на сыпучем основании. Фундамент галерей – монолитный железобетонный короб, заполненный прокаленным песком средней крупности. На поверхность песчаного слоя устанавливается монолитная железобетонная плита, на которую через опорную пластину опирается галерея. Предлагаемая

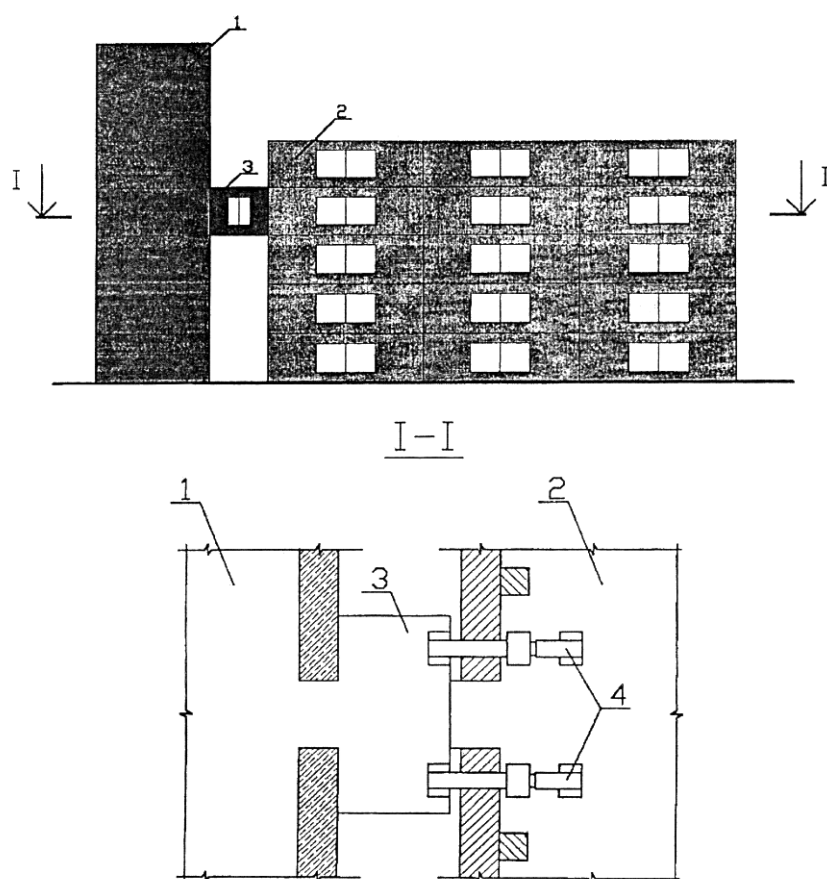


Рис. 3. Пример демпфера сухого трения между зданиями с разными конструктивными схемами

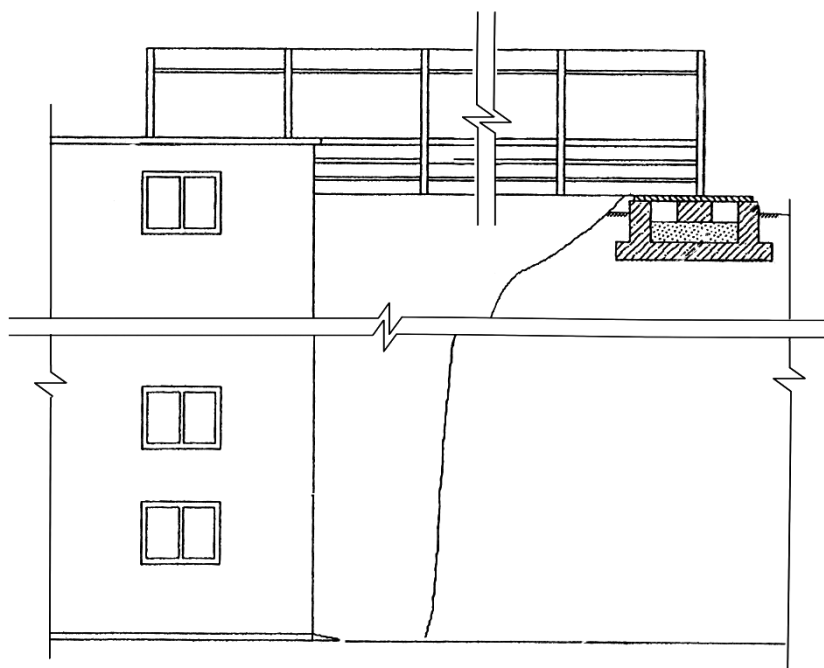


Рис. 4. Пример демпфера сухого трения между зданием и примыкающим к нему склоном

конструкция разработана на кафедре «Здания» ПГУПС [5]. Предварительные расчетные исследования предлагаемых решений подтвердили их положительный эффект [1, 4, 6].

Заключение

Исследования показали необходимость оценивать степень влияния рядом стоящих зданий разных конструктивных решений на их сейсмостойкость. Это влияние наиболее ощутимо при расстояниях между зданиями менее 9 м. При этом в наиболее неблагоприятных условиях находятся объекты, период собственных колебаний которых 0,5 и более с в системе застройки соседних зданий с периодами колебаний, близкими к 0,2 с. Влияние грунтовых условий на сейсмостойкость рядом стоящих зданий существенно на площадках с обводненными песчаными грунтами. Однако учитывая, что грунтовые основания городской застройки весьма разнообразны, степень их влияния на сейсмостойкость зданий, находящихся в стесненных условиях, требует дополнительных исследований.

Комплекс предлагаемых конструктивных решений по реализации энергопоглотителей в виде демпферов сухого трения дает возможность существенно снизить влияние сейсмических воздействий не только в рамках одного здания, но и системы зданий, находящихся в городской застройке. Причем, учитывая разный архитектурный облик зданий, ландшафт местности, можно не только решать задачи сейсмостойкости застройки, но и повышать архитектурно-эстетические возможности сложившихся городских кварталов.

Библиографический список

1. Белаш Т. А. Исследования систем сейсмогашения в конструкциях сейсмозащиты зданий и сооружений / Т. А. Белаш // Вестн. ПГУПС. – 2003. – Вып. 1. – С. 97–101.

2. Белаш Т. А., Блинкова К. В. Многоэтажное сейсмостойкое здание. Пат. на полезную модель RUS 104602, 20.12.2010. МПК E04 H 9/02.

3. Белаш Т. А. Оценка степени влияния рядом стоящих зданий различных конструктивных решений при сейсмических воздействиях / Т. А. Белаш, К. В. Блинкова, С. М. Капустянский // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2011. – № 6.

4. Белаш Т. А. Оценка эффективности сейсмоизолирующего фундамента многоэтажного здания с гибким каркасом и системой поэтажного демпфирования / Т. А. Белаш, И. У. Альберт, Мсалам Маджед // Изв. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 1999. – Т. 234. – С. 158–164.

5. Белаш Т. А., Блинкова К. В. Устройство для повышения сейсмостойкости сооружения. Пат. на полезную модель RUS 95010, 09.03.2010. МПК E04G 23/04.

6. Белаш Т. А. Эффективность сейсмозащиты здания на сейсмоизолированном фундаменте при опирании поэтажно расположенных энергопоглотителей на невращающийся массив / Т. А. Белаш, И. У. Альберт, Мсалам Маджед // Сейсмостойкое строительство. – 1999. – № 3.

7. Немчинов Ю. И. Проектирование зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости / Ю. И. Немчинов, Н. Г. Марьенков, А. К. Хавкин, К. Н. Бабик ; под ред. Ю. И. Немчинова. – Киев : Гудименко С. В., 2012. – 384 с.

8. Немчинов Ю. И. Сейсмостойкость зданий и сооружений : в 2-х ч. / Ю. И. Немчинов. – Киев, 2008. – 480 с.

References

1. Belash T. A. *Vestnik PGUPS – Bull. of Petersburg Transp. Univ.*, 2003, Is. 1, pp. 97-101.

2. Belash T. A., Blinkova K. V. *Mnogoetazhnoye seysmostoykoye zdaniye* [Multi-storey Aseismic Building]. Utility Model Certificate RUS 104602, 20.12.2010. MPK E04H 9/02.

3. Belash T. A., Blinkova K. V. & Kapustyanskiy S. M. *Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy – Aseismic Construction. Structure Safety.*, 2011, no. 6.

4. Belash T.A., Albert I.U. & Msalom Madzhed. *Izvestiya VNIIG im. B. Ye. Vedeneyeva – Proceedings of the B. E. Vedenev All Russia Institute of Hydraulic Engineering*, 1999, T. 234, pp. 158-164.
 5. Belash T.A., Blinkova K. V. *Ustroystvo dlya povysheniya seysmostoykosti sooruzheniya* [Device for Increasing Structure's Seismic Stability]. Utility Model Certificate RUS 95010, 09.03.2010. MPK E04G 23/04.
 6. Belash T.A., Albert I.U. & Msalom Madzhed. *Seysmostoykoye stroitelstvo – Aseismic Constr.*, 1999, no 3.
 7. Nemchinov Yu. I., Maryenkov N. G., Khavkin A. K. & Babik K. N. *Proyektirovaniye zdaniy s zadannym urovnem obespecheniya seysmostoykosti* [Designing Buildings with Specified Level of Ensuring Seismic Stability]; ed. Yu. I. Nemchinov. Kyiv, Gudimenko S. V., 2012. 384 p.
 8. Nemchinov Yu. I. *Seysmostoykost zdaniy i sooruzheniy* [Seismic Stability of Buildings and Structures]; two parts. Kyiv, 2008. 480 p.
- БЕЛАШ Татьяна Александровна – докт. техн. наук, профессор, Belashta@mail.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).