



[Seismic construction. Building safety]. 2006. № 4. P. 33–38.

10. Castellano M. G. et al. 2001. Viscoelastic Dampers for Seismic Protection of Buildings: an Application to an Existing Building. Proceedings of the 5th World Congress on Joints, Bearings and Seismic Systems for Concrete Structures, Rome, Italy, 2001. October 7–11. P. 12.

11. MAURER Seismic Isolation Systems. Products and Technical Information. 02.05.2003/VTE – P. 1–18.

12. SP 14.13330.2018. Stroitelstvo v seymicheskikh rayonakh [Construction in seismic areas]. Svod pravil: izd. ofitsialnoe: utverzhdyon i vved. v deystvie prikazom Min-va stroit. i zhilishchno-kommun. khoz-va RF ot 24 maya 2018 g. № 309/pr : aktualizirovannaya red. SNiP II-7-81*: data vved. 25 noyabrya 2018 g. : redaktsiya ot 01. yanvarya 2021. – Moscow : FGUP Standartinform, 2018 g. – 115 p.

13. Khazov P. A., Tsvetnova L. Yu. Dinamicheskiy analiz izgibno-krutilnykh kolebaniy karkasnogo zdaniya s neravnomernym raspredeleniem zhyostkostey pri seymicheskikh vozdeystviyakh [Dynamic analysis of flexion-torsional vibrations of a frame building with unequal distribution of rigidity under seismic impact]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021. – № 3(59). – P. 24–38.

© П. А. Хазов, Е. Н. Григорьева, А. К. Ситникова, 2022

Получено: 14.03.2022 г.

УДК 699.841:624.15

П. А. ХАЗОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; **Н. М. ДЕУЛИНА**, магистрант кафедры теории сооружений и технической механики; **М. Л. ПОЗДЕЕВ**, студент; **Е. С. БОРИСКИНА**, студент

МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО ФУНДАМЕНТА С ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫМ АРМИРОВАНИЕМ: КОНЦЕПЦИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96;
эл. почта: khazov.ngasu@mail.ru, nataliadeul98@gmail.com, maksim.leon.pz@yandex.ru,
catherineboriskina@yandex.ru

Ключевые слова: адаптивный фундамент, сейсмостойкость, динамический коэффициент.

Рассмотрены современные адаптивные системы сейсмозащиты зданий и сооружений. Приводится концепция модели адаптивного фундамента. Рассмотрен принцип работы адаптивного фундамента и его влияние на динамический коэффициент при сейсмических колебаниях.

Сейсмическая активность – широко изученное явление, позволившее человечеству копнуть глубже в геологических и геофизических исследованиях. Однако несмотря на это, землетрясения носят разрушительный характер, что вынуждает жителей соответствующих регионов бороться за сохранность своих домов и строений посредством их конструктивных видоизменений.

Под конструктивными видоизменениями понимаются корректировки стандартной системы «основание-фундамент-здание» таким образом, чтобы в каждом из взаимодействий были обеспечены устойчивость и надежность конструкции в



момент подземных толчков и вибраций. За весь многовековой опыт борьбы с землетрясениями было предложено более 100 запатентованных конструктивных решений [1–4], которые, в свою очередь, не раз классифицировались по различным характеристикам [5]. В большинстве случаев (традиционные системы) методы сейсмозащиты зданий предусматривают обособление основания, фундамента или здания друг от друга, что нарушает однородность системы и нередко приводит к удорожанию строительства. Однако в современном мире все большую популярность набирают системы, где новейшие демпфирующие устройства, как правило, являются неконструктивными, т. е. дополнительными элементами. Они укрепляют цельность всей системы и выполняют ряд конструктивных и эксплуатационных функций как при наличии, так и отсутствии сеймики [1].

Отдельного внимания заслуживают так называемые адаптивные системы. Суть этих систем отражена в самом названии: они «адаптируются» под внешние воздействия, изменяя свои динамические характеристики. Меняя собственные частоты здания, такие системы воспринимают энергию от землетрясений, избегая при этом эффект резонанса, который может быть вызван преобладающими частотами колебаний земной поверхности. Данные системы сейсмозащиты начали разрабатываться в СССР с начала 60-х годов XX века [6] и завоевали популярность среди зарубежных ученых тоже [6–9]. Они классифицируются (подразделяются) на системы с включающимися и выключающимися связями.

Принцип работы систем с включающимися связями основан на изменении жесткости здания в момент околорезонансных собственных частот за счет включения в работу ранее неактивных специальных конструкций. Они (эти конструкции, связи) в состоянии покоя (без сейсмической активности) находятся в ненапряженном (неактивном, бездействующем) «выключенном» состоянии и необходимы исключительно во время землетрясения при достижении перемещений несущих конструкций зданий заданных предельных значений. Данные связи (обычно односторонние) могут быть реализованы специальными упорами-ограничителями, установленными с зазорами, или, например, провисающими растяжками [6, 11–13]. Подобные системы были широко изучены, проработаны и введены в эксплуатацию как отечественными, так и зарубежными учеными [2, 3, 5, 12–15], однако большую популярность набирают системы с выключающимися связями.

В отличие от вышеописанных, системы с выключающимися связями участвуют в работе здания с момента его постройки. Основная идея таких конструкций заключается в том, что при исключении их действия в системе несущих конструкций в момент наиболее интенсивных сейсмических воздействий, у здания резко уменьшается частота собственных колебаний, которые не допускают фатальных разрушений здания. Выключающиеся связи представляют из себя конструктивные элементы малой жесткости, такие как контрфорс, раскосы, связевые панели, бетонные или сварные стальные шпонки, которые при землетрясении разрушаются. Считается, что область применения системы с выключающимися связями – это здания с периодом собственных колебаний не более 0,5–0,7 с [15]. При низкочастотном воздействии период свободных колебаний здания с выключающимися связями значительно ниже величин преобладающих периодов грунта, поэтому резонансные явления проявляются слабо [16]. В зависимости от конструктивной схемы и высоты здания выключающиеся связи могут быть установлены горизонтально либо по высоте.

Таким образом, наряду с тем, что применимость адаптивных систем широко изучена и доказана на практике [4, 18], интерес к подобного рода конструкциям

не утихает ввиду их валидности. В местах, где вероятность сейсмической активности повышена, а также уверенно прогнозируется ее частотный состав, система с выключающимися связями наиболее эффективна [15]. По мнению профессора Айзенберга, оптимальная адаптивная сейсмоизолирующая система должна включать в себя три главных элемента: значительную гибкость в предельном состоянии, значительную начальную прочность и способность к поглощению значительной энергии [18].

Основываясь на вышеупомянутых аспектах, предлагается следующая конструкция адаптивного фундамента: отдельно стоящие фундаменты стягиваются предварительно натянутыми тросами, а в месте стыкового соединения (фундамент с фундаментом при деформационных швах или фундамент с балкой в остальных случаях) укладываются резинометаллические пластины с прокладкой из фторопласта (рис. 1) [20]. Применение резинометаллических пластин совместно со фторопластом особенно оправданно в случае с деформационным швом, так как они позволяют фундаментам перемещаться относительно друг друга по вертикали в пределах максимально допустимых осадочных значений.

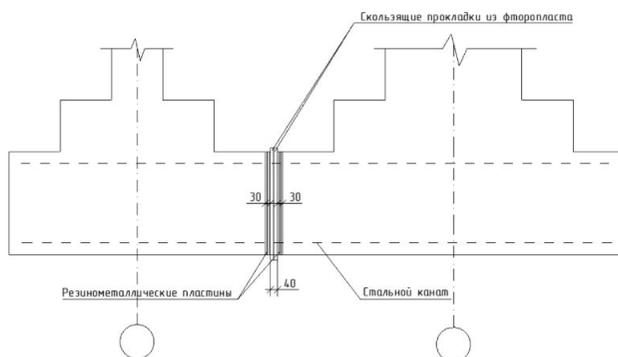


Рис. 1. Фундаменты с адаптивными фрикционными сейсмоизолирующими пластинами

Из преимуществ фторопласта-4 над аналогичными материалами можно выделить тот факт, что он является самым стойким из всех известных металлов: пластмасс, металлов, стекол, эмалей, сплавов – и уже не раз предлагался исследователями в аналогичных целях [11, 20, 21]. Данный синтетический материал обладает низким значением коэффициента трения (по стали 0,04–0,1), он не горит, не стареет, обладает чрезвычайно высокой химической стойкостью; не реагирует с концентрированными кислотами и щелочами, не гниет. Испытания показали, что независимо от материала опорных элементов (были изготовлены образцы из бетона и металла) коэффициент трения скольжения фторопластовой пары имеет минимальную величину порядка 0,016–0,03 при уровне обжатия более 20–30 МПа. Значение коэффициента трения не изменяется и при динамическом нагружении в интервале скоростей смещения 0,4–19 м/с [20].

Наиболее уязвимым местом с точки зрения защиты от сейсмических разрушений является деформационный шов. Наиболее важным вопросом является проработка конструкции данного шва в фундаментной части. Следует учитывать то, что части здания должны быть связаны между собой, но такая связь должна не допускать разрушение объекта при землетрясениях, а, наоборот, гасить колебания.

На основании этого убеждения проведем анализ предложенного фундамента при его расположении в деформационном осадочном шве.

Работа данного типа фундамента основывается на том, что до определенных предельных значений сдвиговых сил он работает как монолитная конструкция, а при околорезонансных нагрузках начинает работать как два отдельных фундамента, сдвигающихся относительно друг друга, что изменяет собственные частоты здания и позволяет избежать резонанса. Поэтому критически важным для данного типа фундамента является контролирование сил трения по поверхности контакта за счет применения фторопластовых прокладок с заданным коэффициентом трения и определенного натяжения в тросах, обжимающих две части фундамента с заданной силой.

Зависимость между силой обжатия N и силой трения T по поверхности контакта принята линейной по закону Амонтона – Кулона

$T = \mu N$, в интегральном виде:

$$T = \int_A \tau(x, y) \cdot dA = \int_A \mu(\sigma(x, y)) \cdot \sigma(x, y) \cdot dA, \quad (1)$$

где $\tau(x, y)$ – функция, описывающая распределение касательных напряжений по поверхности контакта между фундаментами;

$\sigma(x, y)$ – функция, описывающая распределение нормальных напряжений обжатия в сечении поверхности контакта между фундаментами;

$\mu(\sigma)$ – функция, описывающая распределение коэффициентов трения по поверхности контакта фторопласт-сталь в зависимости от $\sigma(x, y)$.

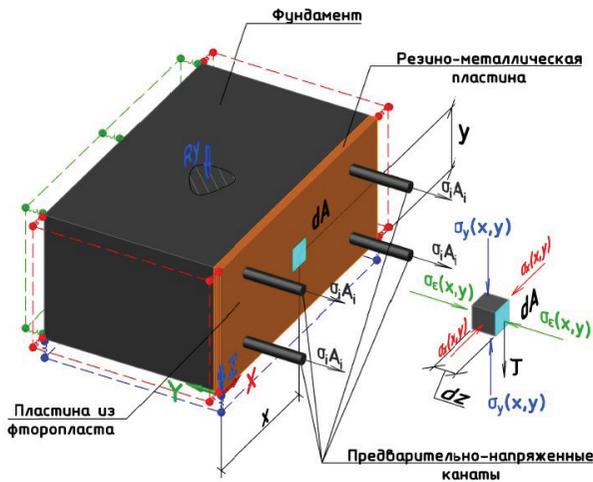


Рис. 2. К расчету усилия обжатия стальных канатов

Напряжения $\tau(x, y)$ и $\sigma(x, y)$ определяются численным методом и при расчете представляются в виде полей напряжений. В первом приближении считаем распределение касательных напряжений равномерным, а коэффициент трения постоянным, не зависящим от величины нормальных напряжений. Тогда закон Амонтона – Кулона запишется в виде:

$$T = \tau A = \mu \sum_{i=1}^n \sigma_i A_i, \quad (2)$$

где τ – усредненное значение касательных напряжений;

- A – площадь поверхности трения;
- σ_i – нормальные напряжения в i -м тросе;
- A_i – площадь сечения i -го троса;
- $\sigma_i A_i = N_i$ – продольное усилие натяжения i -го троса (см. рис. 2).

При достижении во время резонанса сдвигающей силы $T = \tau A$, превышающей значение силы трения покоя $T_{\text{п}}$, произойдет сдвиг фундаментов относительно друг друга и переход силы трения покоя $T_{\text{п}}$ в силу трения скольжения $T_{\text{с}}$ (см. рис. 3).

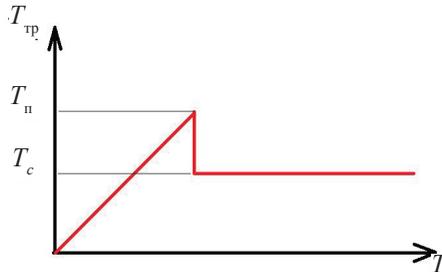


Рис. 3. Зависимость силы трения $T_{\text{тр}}$ от сдвигающего усилия T

Задание конкретного значения натяжения стальных канатов внутри фундамента способствует контролируемому переходу работы фундаментов из упругого состояния в податливое и переходу силы трения покоя в силу трения скольжения. То есть после достижения конкретной частоты колебания фундаменты работают отдельно друг от друга.

Рассмотрим влияние принятой конструкции фундаментов на значение динамического коэффициента. Зависимость динамического коэффициента для двух типов фундамента (с классическим осадочным швом и швом в составе адаптивной системы) от частоты колебаний грунта представлена на рис. 4.

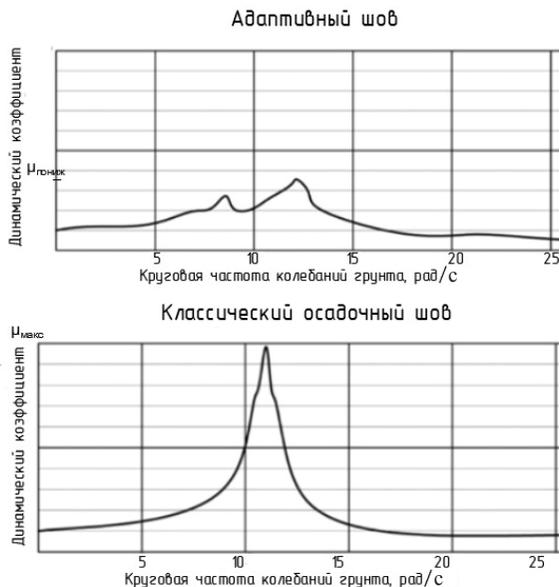


Рис. 4. Графики зависимости динамического коэффициента от частоты колебаний грунта для двух типов фундамента



Таким образом, при организации антисейсмического шва между фундаментами с адаптивными фрикционными сейсмоизолирующими пластинами динамический коэффициент снижается примерно в 3 раза по сравнению с классическим осадочным швом. Следовательно, уменьшаются значения собственной частоты колебания конструкции, абсолютные ускорения, а также инерционные сейсмические нагрузки, что приводит к гашению колебаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Литвинова, Э. В. Инновационные системы сейсмозащиты зданий и сооружений за рубежом / Э. В. Литвинова, Б. А. Литвинов // *Строительство и техногенная безопасность* / КФУ им. В. И. Вернадского. – 2013. – № 47. – С. 70–79. – Текст : непосредственный.
2. Патент № 2535567 С2. Российская Федерация. Сейсмостойкое здание : заявл. 20.07.2012 : опубл. 20.12.2014 / Ф. А. Жарков, А. Ф. Жарков, В. М. Соболев [и др.]. – Текст : непосредственный.
3. Патент № 2200810 С2 Российская Федерация. Адаптивная сейсмозащита зданий и сооружений : заявл. 06.04.2001 : опубл. 20.03.2003 / А. К. Юсупов, Р. А. Юсупов. – Текст : непосредственный.
4. Патент № 2023817 С1 Российская Федерация. Сейсмоизолирующий фундамент : заявл. 11.09.1992 : опубл. 30.11.1994 / С. Б. Смирнов, В. Л. Водолазский. – Текст : непосредственный.
5. Прикладные задачи сейсродинамики сооружений. Книга 1. Действие сейсмических волн на подземный трубопровод и фундаменты сооружений, взаимодействующих с грунтовой средой / Т. Р. Рашидов, С. В. Кузнецов, Б. М. Мардонов, И. Мирзаев. – Текст : непосредственный // Ташкент : Navro'z, 2019. – 268 с.
6. Системы сейсмоизоляции / В. А. Тарасов, М. Ю. Барановский, А. В. Редькин, Е. А. Соколов, А. С. Степанов. – Текст : непосредственный // *Строительство уникальных зданий и сооружений* / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург. – 2016. – № 4. – С. 117–140.
7. Mishra, P. Innovative foundations design for seismic area (zone) / P. Mishra, G. P. Khare // *Materials Today: Proceedings* / Elsevier Science Publishing Company, Inc. – 2021 – V. 46, № 17.
8. Gavin H. Behavior and response of auto-adaptive seismic isolation / H. Gavin, U Aldemir // *Proc. 3rd US-Japan Workshop in Urban Earthquake Disaster Mitigation*. – 2001. – Т. 15. – С. 16.
9. Peng, Z. Cyclic behavior of an adaptive seismic isolation system combining a double friction pendulum bearing and shape memory alloy cables / Z. Peng, W. Wei, L. Yibo, H. Miao // *Smart Materials and Structures*. – 2021. – Vol. 30. – № 7. – С. 075003.
10. Madden, G. J. Adaptive seismic isolation systems for structures subjected to disparate earthquake ground motions / G. J. Madden, M. D. Symans, N. Wongprasert // *Advanced Technology in Structural Engineering / Structures Congress 2000, Philadelphia*. – 2000. – С. 1–8.
11. Lapin, V. A. Monitoring of a Seismic Isolation Object on Fluoroplastic Gaskets / V. A. Lapin, S. E. Yerzhanov // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing. – 2021. – Vol. 1079. – № 2. – С. 022071.
12. Мещерякова, А. М. К эффективности односторонних связей как средства сейсмозащиты зданий / А. М. Мещерякова, А. Д. Ловцов. – Текст : непосредственный // *Новые идеи нового века : материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Тихоокеанский государственный университет*. – 2012. – Том 2. – С. 233–238.
13. Новиков, В. Л. Экспериментальные исследования энергоемкости связевых панелей сейсмостойких стальных каркасов / В. Л. Новиков, Г. М. Остриков. – Текст : непосредственный // *Сейсмостойкое строительство : реферативный сборник / ЦИНИС ; Серия 14*. – 1979. – Выпуск 12. – С. 11–17.
14. Карнаухова, М. Ю. Оценка сейсмического воздействия и конструктивные методы защиты зданий / М. Ю. Карнаухова, В. А. Кашеварова, Ю. А. Кузнецова, К. С. Лезина,



О. А. Маковецкий, И. И. Хусаинов. – Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2018. – № 2. – С. 27–37.

15. Выскребенцева, М. А. Методы сейсмогашения и сейсмоизоляции с применением специальных устройств / М. А. Выскребенцева, В. Л. Куен. – Текст : непосредственный // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 1 (52). – С. 148.

16. Ушаков, А. С. Методы сейсмоизоляции фундаментов сооружений / А. С. Ушаков. – Текст : непосредственный // Технические науки: проблемы и перспективы : материалы Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 20–23 марта 2011 года. – Санкт-Петербург : Реноме, 2011. – С. 180–186.

17. Смирнов, В. И. Сейсмоизоляция – современная антисейсмическая защита зданий в России / В. И. Смирнов. – Текст : непосредственный // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2013. – № 4. – С. 41–54.

18. Aizenberg, Y. M. Seismic-insulating adaptive foundation systems / Y. M. Aizenberg // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 1992. – Vol. 29. – № 6. – С. 197–202.

19. Борискина, Е. С. Проектирование конструкции адаптивного фундамента в сейсмически опасных районах / Е. С. Борискина, Н. М. Деулина. – Текст : непосредственный // X Всероссийский фестиваль науки. – 2020. – С. 227–232.

20. Чэнь, С. Сейсмоизолированное здание со скользящим фторопластным поясом : диссертация на соискание квалификации «магистр техники и технологии» по направлению «Строительство» / Чэнь Сятин ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – Санкт-Петербург, 2011. – 86 с. – Текст : непосредственный.

21. Кузнецов, В. Д. Скользящий пояс с фторопластом сейсмостойкого здания / В. Д. Кузнецов, С. Чэнь. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 3. – С. 53–58.

KHAZOV Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; DEULINA Natalya Mikhaylovna, undergraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics; POZDEEV Maksim Leonidovich, student; BORISKINA Ekaterina Sergeevna, student

THE MODEL OF THE ADAPTIVE FOUNDATION WITH A PRESTRESSED REINFORCEMENT: CONCEPT AND DESIGN

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96;
e-mail: khazov.nngasu@mail.ru, nataliadeul98@gmail.com, maksim.leon.pz@yandex.ru
catherineboriskina@yandex.ru

Key words: adaptive foundation, seismic resistance, dynamic coefficient.

The article considers modern adaptive systems of seismic resistance of buildings and structures. A conception of a model of an adaptive foundation is suggested. The principle of operation of the adaptive foundation and its influence on the dynamic coefficient during seismic vibrations are considered.

REFERENCES

1. Litvinova E. V., Litvinov B. A. Innovatsionnye sistemy seysmozashchity zdaniy i sooruzheniy za rubezhom [Innovation seismic resistant systems for buildings and structures abroad]. Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost [Construction and industrial safety]. Krymsky fed. un-t im. V. I. Vernadskogo. – 2013. – № 47. – P. 70–79.

2. Patent № 2535567 C2. Rossiyskaya Federatsiya. Seysmostoykoe zdanie [Quakeproof



building] : zayavl. 20.07.2012 : opubl.: 20.12.2014 / F. A. Zharkov, A. F. Zharkov, V. M. Sobolev, et al.

3. Patent № 2200810 C2. Rossiyskaya Federatsiya. Adaptivnaya seysmozaschita zdaniy i sooruzheniy [Adaptive seismoprotection of buildings and structures]: zayavl. 06.04.2001 : opubl.: 20.03.2003 / A. K. Yusupov, R. A. Yusupov.

4. Patent № 2023817 C1. Rossiyskaya Federatsiya. Seysmoizoliruyuschiy fundament [Earthquakeproof foundation]. Zayavl. 11.09.1992 : opubl. 30.11.1994 / S. B. Smirnov, V. L. Vodolazskiy.

5. Rashidov T. R., Kuznetsov S. V., Mardonov B. M., Mirzaev I. Prikladnye zadachi seysmodinamiki sooruzheniy. Kniga 1. Deystvie seysmicheskikh voln na podzemnyy truboprovod i fundamenty sooruzheniy, vzaimodeystvuyuschikh s gruntovoy sredoy [Applied problems of seismodynamics of structures. Book 1. The effect of seismic waves on the underground pipeline and the foundations of structures connecting with the ground environment]. Tashkent : Navro'z, 2019, 268 p.

6. Tarasov V. A., Baranovsky M. Yu., Redkin A. V., Sokolov E. A., Stepanov A. S. Sistemy seysmoizolyatsii [Seismic isolation systems]. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of Unique Buildings and Structures]. – Sankt-Peterburg. politekh. un-tet Petra Velikogo. – Saint-Petersburg. – 2016. – № 4. – P. 117–140.

7. Mishra P., Khare G. P. Innovative foundations design for seismic area (zone) Materials Today: Proceedings – Elsevier Science Publishing Company, Inc – 2021 – Vol. 46, № 17.

8. Gavin H., Aldemir U. Behavior and response of auto-adaptive seismic isolation – Proc. 3rd US-Japan Workshop in Urban Earthquake Disaster Mitigation. – 2001. – Vol. 15. – P. 16.

9. Peng Z., Wei W., Yibo L., Miao H. Cyclic behavior of an adaptive seismic isolation system combining a double friction pendulum bearing and shape memory alloy cables – Smart Materials and Structures. – 2021. – Vol. 30. – № 7. – C. 075003.

10. Madden G. J., Symans M. D., Wongprasert N. Adaptive seismic isolation systems for structures subjected to disparate earthquake ground motions – Advanced Technology in Structural Engineering – Structures Congress 2000, Philadelphia – 2000. – P. 1–8.

11. Lapin V. A., Yerzhanov S. E. Monitoring of a Seismic Isolation Object on Fluoroplastic Gaskets – IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2021. – Vol. 1079. – № 2. – P. 022071.

12. Mescheryakova A. M., Lovtsov A. D. K effektivnosti odnostonnikh svyazey kak sredstva seysmozaschity zdaniy [To efficiency of unilateral communications as the means of earthquake protection of buildings]. Novye idei novogo veka [New ideas of new century] : materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii FAD TOGU: Tikhookeanskiy gos. un-t. – 2012. – Vol. 2. – P. 233–238.

13. Novikov V. L., Ostrikov G. M. Eksperimentalnye issledovaniya energoyomkosti svyazevykh paneley seysmostoykikh stalnykh karkasov [Experimental study of the energy intensity of earthquake-resistant steel frames connection panels]. Seysmostoykoe stroitelstvo [Earthquake resistant construction]: ref. sbornik / TsINIS. S. 14. – 1979. – Vol. 12. – P. 11–17.

14. Karnaukhova M. Yu., Kashevarova V. A., Kuznetsova Yu. A., Lezina K. S., Makovetsky O. A., Khusainov I. I. Otsenka seysmicheskogo vozdeystviya k konstruktivnye metody zaschity zdaniy [Evaluation of seismic load and constructive methods for buildings protection] Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya [Transport. Transport facilities. Ecology]. – 2018. – № 2. – P. 27–37.

15. Vyskrebentseva M. A., Kuen V. L. Metody seysmogasheniya i seysmoizolyatsii s primeneniem spetsialnykh ustroystv [Seismic suppression and seismic isolation methods using special devices]. Inzhenerny vestnik Dona [Engineering journal of Don]. – 2019. – № 1 (52). – P. 148.

16. Ushakov A. S. Metody seysmoizolyatsii fundamentov sooruzheniy [Methods of seismic isolation of the foundations of structures]. Tekhnicheskie nauki: problemy i perspektivy [Technical sciences: problems and prospects]. Materialy Mezhdunarodnoy nauch. konferentsii. – Saint-Petersburg : Renome, 2011. – P. 180–186.

17. Smirnov V. I. Seysmoizolyatsiya – sovremennaya antiseysmicheskaya zaschita zdaniy v Rossii [Seismic isolation – modern anti-seismic protection of buildings in Russia]. Seysmostoykoe



stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy [Earthquake engineering. Constructions safety]. – 2013. – № 4. – P. 41–54.

18. Aizenberg Y. M. Seismic-insulating adaptive foundation systems – Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 1992. – Vol. 29. – № 6. – P. 197–202.

19. Boriskina E. S., Deulina N. M. Proektirovanie konstruktсий adaptivnogo fundamenta v seismicheski opasnykh rayonakh [Design of an adaptive foundation structure in seismically hazardous areas]. X Vserossiyskiy festival nauki. – 2020. – P. 227–232.

20. Chen S. Seismoizolirovannoe zdaniye so skolzyaschim ftoroplastnym poyasom [Seismically insulated building with sliding PTFE belt]: dissertatsiya na soisk. kvalif. “magistr tekhniki i tekhnologii” po napravleniyu “Stroitelstvo” / Sankt-Peter. gos. politekh. un-t. Saint-Petersburg, 2011, 86 p.

21. Kuznetsov V. D., Chen S. Skolzyaschiy poyas s ftoroplastom seismostoykogo zdaniya [Sliding girt with fluoroplastic for earthquake-proof building]. Inzhenerno-stroitelny zhurnal [Magazine of civil engineering]. – 2011. – № 3. – P. 53–58.

© П. А. Хазов, Н. М. Деулина, М. Л. Поздеев, Е. С. Борискина, 2022

Получено: 30.03.2022 г.

УДК 624.074.2+624.042.12

И. В. ШКОДА, аспирант¹, асс. кафедры теории сооружений и технической механики²; **Б. Б. ЛАМПСИ**², канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; **Е. П. ИСАЕВА**², студент

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ФЛАНЦЕВЫХ УЗЛОВ РЕБРИСТО-КОЛЬЦЕВОЙ КУПОЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

¹Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»

Россия, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85. Тел.: (831) 432-05-76; эл. почта: erof.vi@yandex.ru

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: ShkodaIrinaVasil@yandex.ru, boris-lampsi@yandex.ru, isvrina@yandex.ru

Ключевые слова: фланцевый узел, ребристо-кольцевой купол, напряженно-деформированное состояние.

Приводится краткий обзор фланцевых соединений. Производится расчет фланцевых узлов в программе IDEA StatiCa: непрорезной и прорезной фланцевые узлы без ребер жесткости; непрорезной и прорезной фланцевые узлы с ребрами жесткости. Выполняется сравнение результатов расчета.

Фланцевое соединение представляет собой систему, которая состоит из совместно работающих пластин фланцев, болтов, сварных швов и соединяемых элементов в непосредственной близости от фланца либо между ними (рис. 1) [1]. В данном соединении внешние растягивающие усилия передаются через предварительно натянутые пакеты «фланец-болт», а сжимающие – через плотное касание фланца.