

УДК 624.042

DOI: 10.38054/iaeee-202303

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ ФУНДАМЕНТ С КОМПЛЕКСНЫМ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ НАКАТНЫМ УПРУГО-ДЕМПФЕРНЫМ ОГРАНИЧИТЕЛЕМ

Габиров Ф.Г., *Азербайджанский Научно-Исследовательский Институт Строительства и Архитектуры, г.Баку, Азербайджан, E-mail: farchad@yandex.ru*

Шокбаров Е.М., *Казахский Научно-Исследовательский Институт Строительства и Архитектуры, г.Алматы, Казахстан, E-mail: eralykarakat@mail.ru*

Аннотация. При разработке новой конструкции сейсмоизоляционного фундамента была поставлена цель соединить в конструкции эффективные качества технической резины, металлической тарельчатой пружины и элемента качения шара. Разработан новый сейсмоизоляционный фундамент здания, который включает верхнюю и нижнюю опорные части, в которых образованы цилиндрические стаканы с наклонными днищами, промежуточный элемент в виде шара и упругий вкладыш. Упругий вкладыш располагается на днищах верхнего и нижнего цилиндрических стаканов, причем на поверхности дна стакана и каждого вкладыша расположена и скреплена с ними стальная тарельчатая пружина толщиной 5 мм. В каждом стакане упругий вкладыш образует вокруг промежуточного элемента сложную нелинейную поверхность, которая в разрезе образует восходящие половины синусоиды, являющейся спутницей циклоиды, построенной кругом диаметром равным половине диаметра промежуточного элемента. При этом между торцевыми поверхностями стенок стаканов имеется зазор равный 10 мм.

Ключевые слова: сейсмоизоляция, фундамент, здание, шар, резина, пружина, опора, сооружение, металлическая пластина.

KINEMATIC FOUNDATION WITH INTEGRATED RUBBER-METAL ROLLING ELASTIC-DAMPER LIMIT

Gabibov F.G., *Azerbaijan Research Institute of Construction and Architecture, Baku, Azerbaijan, E-mail: farchad@yandex.ru*

Shokbarov E.M., *Kazakh Research Institute of Construction and Architecture, Almaty, Kazakhstan, E-mail: eralykarakat@mail.ru*

Abstract. When developing a new design of a seismic isolation foundation, the goal was to combine the effective qualities of technical rubber, a metal belleville spring and a ball rolling element in the design. A new seismic isolation foundation of the building has been developed, which includes the upper and lower supporting parts, in which cylindrical sleeves with inclined bottoms are formed, an intermediate element in the form of a ball and an elastic insert. The elastic insert is located on the bottoms of the upper and lower cylindrical sleeves, and on the surface of the bottom of the sleeve and each insert, a steel Belleville spring 5 mm thick is located and fastened to them. In each cup, the elastic liner forms a complex non-linear surface around the intermediate element, which in the section forms ascending halves of a sinusoid, which is a companion of the cycloid built in a circle with a diameter equal to half the diameter of the intermediate element. In this case, there is a gap of 10 mm between the end surfaces of the walls of the glasses.

Key words: seismic isolation, foundation, building, ball, rubber, spring, support, structure, metal plate.

1. Введение

Обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений является комплексной инженерной проблемой. Оно основывается на специальных знаниях в области инженерной сейсмологии, геотехники, теории колебаний и динамики сооружений, строительной механики, механики материалов и надежности сооружений. Исследованиям указанной проблемы посвящены многочисленные научные труды, среди которых можно отметить монографии С.В.Медведева [1], С.В.Полякова [2], Ч.Ф.Рихтера [3], К.Касахара [4], К.Рититакэ [5], М.А.Клячко [6], А.И.Мартемьянова [7], S. Okamoto [8], Т.Ж.Жунусова [9], Н.Ньюмарк и Э.Розенблюэм [10], Ю.И.Немчинова [11], Ф.Г.Габибова, Е.М.Шокбарова и Х.Р.Баят [12] и другие.

2. Основы сейсмоизоляции зданий и сооружений

Самым старым и одним из наиболее перспективных методов активной сейсмозащиты является сейсмоизоляция. Сейсмоизоляцией называется существенное снижение сейсмического воздействия на часть сооружения, расположенную выше фундамента, путем установки каких либо систем или элементов между верхней частью сооружения и фундаментом. Сейсмоизоляция разъединяет колебания грунтового основания и сооружения, вводя скачкообразный разрыв в продольную и поперечную жесткости по высоте сооружения.

Еще в древности в некоторых случаях строители с целью ослабить действие землетрясений на сооружение пытались изолировать здания от их основания путем устройства мягких прокладок на уровне подошвы фундамента. Н.М.Бачинский [13], изучая памятники Средней Азии отмечал: «Убеждение старых зодчих в том, что нет в руках человека средств, которые можно было бы по силе противопоставить мощи землетрясений, привело их к той точке зрения, что только эластичные строительные материалы и конструкции являются действенными антисейсмическими факторами в руках архитектора». Почти все монументальные сооружения Средней Азии возведены на фундаментах, основанием для которых служат подушки из чистой гончарной глины, толщиной от 0,6 до 0,8 м.

В настоящее время самыми простыми и самыми распространенными во всем мире являются многослойные сейсмоизоляторы в виде резинометаллических опор, которые устанавливаются между несущими конструкциями здания и фундамента. Первоначально такие опоры нашли широкое распространение при конструировании опор мостов, а затем с некоторой доработкой стали применяться и для сейсмоизоляции зданий. На рис.1,б показана опора системы GAPEC (Франция), которая имеет слоистую конструкцию и состоит из попеременно чередующихся стальных листов и неопрена. Похожие опоры разработаны специалистами Новой Зеландии. Конструктивная схема этой опоры показана на рис.1,в. Опора состоит из слоев резины, разделенных тонкими металлическими пластинами, а в центре располагается свинцовый сердечник [14]. Существует много модификаций этого сейсмоизолятора, для увеличения затухания сейсмических колебаний применяется резина с пластичными свойствами (американский вариант). Если заложить между алюминиевыми пластинами специальную пластмассу, то получится армянский вариант. Если учесть, что многослойные изоляторы хорошо деформируются в горизонтальном и плохо в вертикальном направлении, а сейсмическое воздействие ударяет по зданию не только сбоку, но и снизу вверх, то надо применять японский вариант, состоящий не только из резинометаллических опор, но и из воздушной подушки высокого давления, которая и смягчает вертикальный удар [15].

Подробно о методах расчета и проектирования сейсмоизолирующих резинометаллических опор изложено в монографиях Я.М.Айзенберга, Э.Н.Кодыша, И.К.Никитина, В.И.Смирнова и Н.Н.Трекина [16], Е.Н.Курбацкого, Е.А.Петряковой и И.И.Зернова [17], О.В.Мкртычева и А.А.Бунова [18] и других. Ф.Г.Габибовым, Е.М.Шокбаровым и Л.Ф.Габибовой [19-22] разработаны многочисленные конструкции

сейсмоизоляционных опор и матов, в которых использованы различные обрезки утилизированных металлокордных автопокрышек.

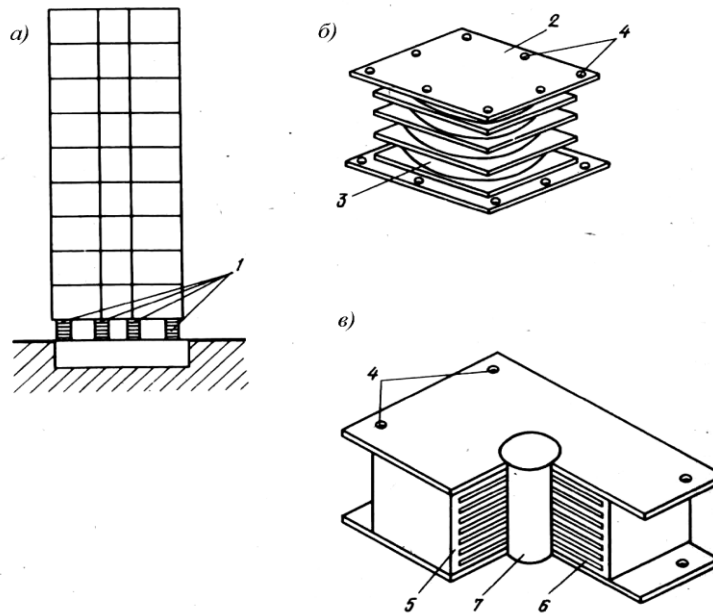


Рис.1. Сейсмоизоляция здания с помощью резинометаллических опор: *а* – схема установки опоры; *б* – схема конструкции опоры GAPEC; *в* – схема конструкции опоры, разработанной в Новой Зеландии; 1 – опора; 2 – стальная плита; 3 – слой неопрена; 4 – отверстия для анкерных болтов; 5 – резина; 6 – сталь; 7 – свинец

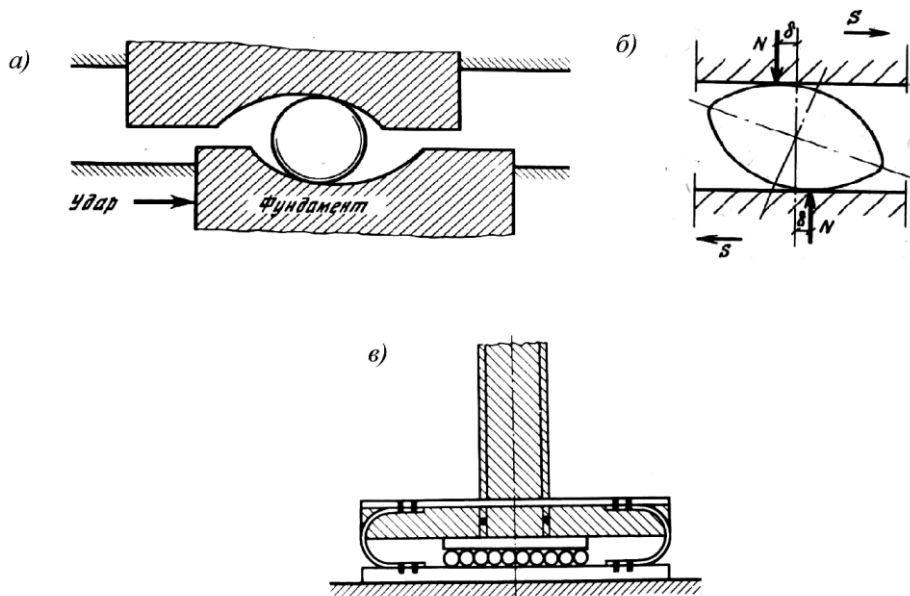


Рис.2. Сейсмоизоляционные кинематические опоры качения: *а* – шаровая опора качения; *б* – опора качения с эллипсоидом вращения; *в* – катковая опора качения

С целью снижения трения между верхним строением сооружения и фундаментом используют кинематические сейсмоизоляторы, в которых трение устраняется трением качения (рис.2). Здесь используются чугунные или стальные шары (рис.2,*а*) и различные эллипсоиды вращения (рис.2,*б*). для упрощения технологии изготовления в Канаде устраивают просто катковые опоры, в которых в исходное положение элементы качения возвращают при помощи упругих пружин (рис.2,*в*).

3. Разработка новой конструкции кинематического фундамента с резинометаллическим упруго-демпферным гасителем

В настоящий период развития сейсмоизоляционных конструкций исследователи начали разрабатывать опоры совмещающие эффекты качения и эластомеров. О.Н.Хегай, А.О.Хегай, М.О.Хегай, Е.О.Хегай и Т.С.Хегай [23] разработали конструкцию сейсмостойкого здания и сооружения, в которой между верхней и нижней частями с плоскими опорными поверхностями расположены на расстоянии друг от друга и в разных направлениях как минимум три шара в качестве подвижной шаровой связи, контактирующие с частями опоры, которые установлены с возможностью возвращения при их смещении от деформации грунта к начальному положению. Пространство между верхней и нижней частями опоры заполнено упругой массой, предназначенной для возвращения смещаемых частей опоры и упругой массы при деформации грунта. В качестве упругой массы использована пористая резина в монолитной форме или упругие прокладки в виде столбиков, набранных из полос утилизированной транспортной ленты.

При разработке новой конструкции сейсмоизоляционного фундамента была поставлена цель соединить в конструкции эффективные качества технической резины, металлической тарельчатой пружины и элемента качения шара.

Авторами разработан сейсмоизоляционный фундамент, включающий верхнюю и нижнюю опорные части, в которых образованы цилиндрические стаканы с наклонными днищами, промежуточный элемент в виде шара и упругий вкладыш. Упругий вкладыш располагается на днищах верхнего и нижнего цилиндрических стаканов, которые имеют внутренний диаметр 38 см, причем на поверхности каждого дна стакана и вкладыша расположена и скреплена с ними стальная тарельчатая пружина толщиной 5 мм и диаметром в плане 34 см. В каждом стакане упругий вкладыш образует вокруг промежуточного элемента диаметром 24 см сложную нелинейную поверхность, которая в разрезе образует восходящие половины синусоиды, являющейся спутницей циклоиды, построенной кругом диаметром равным половине диаметра промежуточного элемента, при этом между торцевыми поверхностями стенок стаканов имеется зазор, равный 10 мм.

На рис.3,а изображен сейсмоизляционный фундамент здания, общий вид, поперечный разрез. На рис.3,б показано сечение А-А, вид сверху вниз на нижнюю опорную часть фундамента.

Сейсмоизоляционный фундамент здания состоит из закрепленной на бетонной конструкции 1 нижней опорной части 2, закрепленной на бетонной конструкции надземной части 3 здания верхней опорной части 4, промежуточного элемента 5 в виде шара, упругого вкладыша 6 нижней опорной части 2 и упругого вкладыша 7 верхней опорной части 4, цилиндрических стенок 8 опорных частей, в которых располагаются упругие вкладыши 6 и 7 и промежуточный элемент 5. Нижняя опорная часть 2 закреплена на бетонной конструкции 1, а верхняя опорная часть 4 закреплена на бетонной конструкции надземной части 3 с помощью анкерных болтов 9. Между стенками 8 опорных частей 2 и 4 имеется зазор 10. На поверхностях упругих резиновых вкладышей 6 и 7 расположены и скрепленные с ними, стальные тарельчатые пружины 11 и 12, которые имеют небольшие зазоры 13 и 14 с вертикальными цилиндрическими стенками 8 стаканов опорных частей 2 и 4 фундамента.

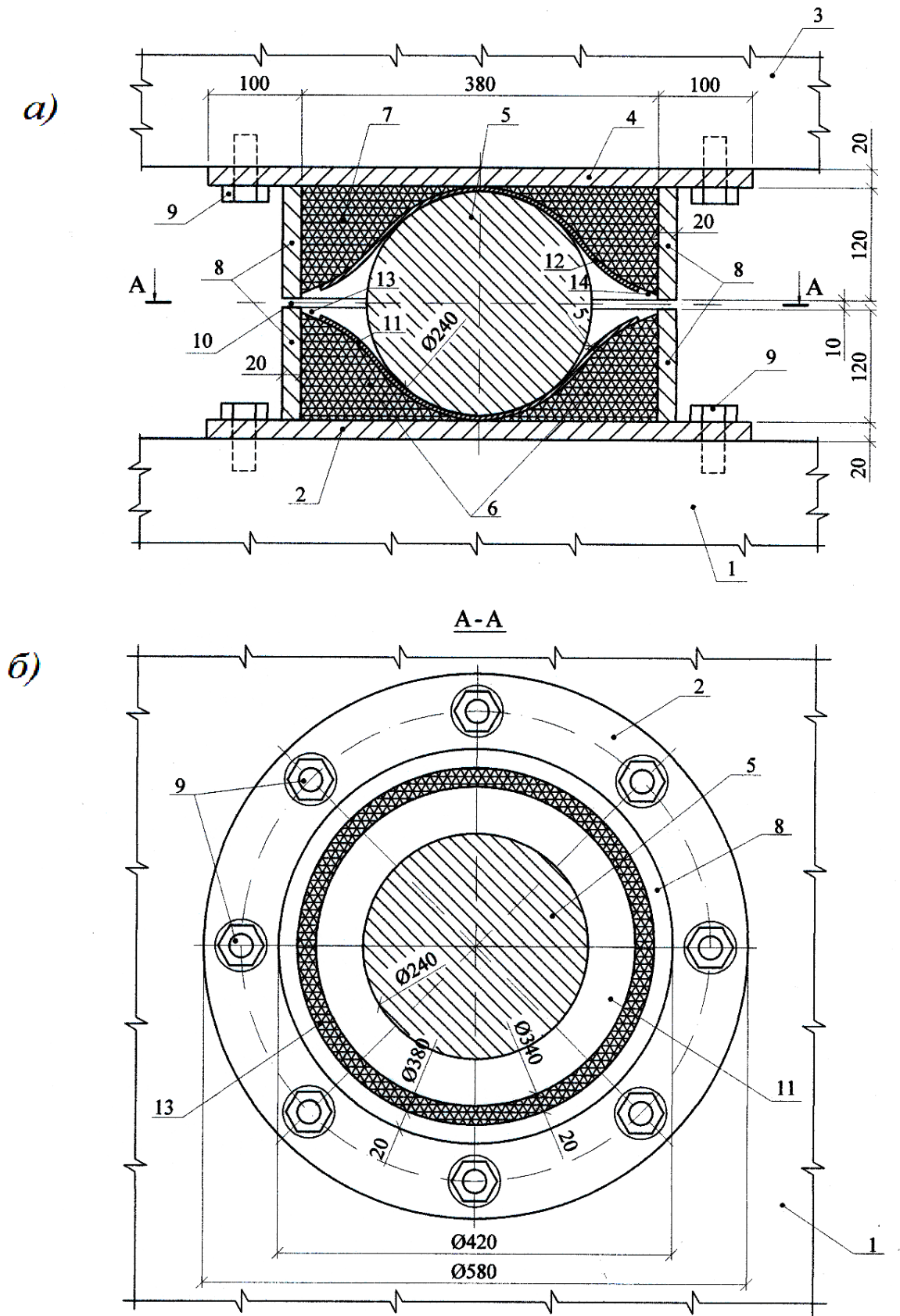


Рис.3. Сейсмоизоляционный фундамент с элементами качения и резинометаллическим упруго-демпферным ограничителем: а – общий вид, поперечный разрез; б – вид сверху вниз на нижнюю опорную часть, сечение А-А

То, что упругий вкладыш располагается на днищах верхнего и нижнего цилиндрических стаканов, которые имеют внутренний диаметр 38 см, позволяет добиться того, что упругий вкладыш располагается симметрично в верхнем и нижнем стаканах, что позволяет при горизонтальных смещениях стаканов относительно друг друга не только выводить сооружение из резонанса но и осуществлять этот процесс в вязко-упругом гасительном режиме в любой точке качения промежуточного элемента, при этом размер цилиндрических стаканов выбран оптимальным для фундаментов зданий от 3 до 5 этажей.

Расположение на поверхности каждого дна стакана и вкладыша и скрепление с ними стальной тарельчатой пружины толщиной 5 мм и диаметром в плане 34 см, позволяет добиться того, что стальная тарельчатая пружина в каждом из стаканов фундамента защищает упругий вкладыш сложного очертания от воздействия стального шарового промежуточного элемента выбранного размера, при его качении при сейсмических сложных горизонтальных колебаниях. При этом тарельчатые пружины выполняют роль дополнительных упругих гасителей сложных сейсмических напряжений, возникающих в сложном фундаменте с подвижными элементами. Толщина тарелок и их диаметр в плане выбраны оптимальными на основе экспериментальных стендовых испытаний, это позволяет предотвратить их поломку и обеспечить им свободное упругое раскрытие при максимальных сейсмическом горизонтальных перемещениях фундамента.

То, что в каждом стакане упругий вкладыш образует вокруг промежуточного элемента диаметром 24 см сложную нелинейную поверхность, которая в разрезе образует восходящие половины синусоиды, являющейся спутницей циклоиды, построенной кругом диаметром равным половине диаметра промежуточного элемента [24], позволяет добиться того, что именно при указанных геометрических параметрах отдельных элементов конструкции сейсмоизоляционного фундамента достигается сейсмостойкость фундамента, при этом предотвращаются колебания 3-5 этажного здания при сильных порывах ветра.

То, что между торцевыми поверхностями стенок стаканов имеется зазор, равный 10 мм, позволяет добиться того, что предотвращается возможность повреждения и разрушения стенок стаканов опорных частей фундамента здания при их перемещениях относительно друг друга при сейсмических воздействиях.

Разработанный сейсмоизоляционный фундамент работает следующим образом [25].

При горизонтальных смещениях фундамента от сейсмических воздействий на здание верхняя опорная часть 4 и нижняя опорная часть 2, смещаясь относительно друг друга приводят к качению промежуточного элемента (шара) 5. Шар 5 наезжает на восходящую часть тарельчатой пружины 11 и находящийся под ней упругий вкладыш 6 нижней опорной части 2 фундамента. Одновременно с этим на шар 5 въезжает восходящая часть тарельчатой пружины 12 с находящимся над ней и скрепленной с ней упругим вкладышем 7. Комплексное использование тарельчатых пружин 11 и 12 совместно с упругими вкладышами 6 и 7 заданных геометрических конфигураций при наезде на них шарового промежуточного элемента 5 выбранного геометрического размера позволяют вывести здание из резонанса в режиме вязко-упругого гашения. Использование тарельчатых пружин 11 и 12 диаметрами в плане меньшими чем внутренний диаметр цилиндрических стаканов позволяет предотвратить их негативное воздействие при их упругих деформациях раскрытия на стенки 8 стаканов опорных частей 2 и 4 фундамента и сохранять их эффективную пружинную и защитную функцию. Выбранная толщина тарельчатых пружин (5 мм) также позволяет в исходном состоянии сформировать зазор между стенками стаканов. Выполнение в каждом стакане опорных частей 2 и 4 упругих вкладышей 6 и 7 из плотной резины с тарельчатыми пружинами 11 и 12 с заявленными геометрическими параметрами позволяет при работе промежуточного элемента (шара) выбранного диаметра предотвратить колебания 3-5 этажных зданий при воздействии порывов сильного ветра (т.е. при максимальной скорости 41 м/сек). При прекращении сейсмических колебаний промежуточный элемент 5 и опорные части 2 и 4 снова

фиксируются в исходных положениях. Все указанные размеры и геометрические формы конструктивных частей предложенного сейсмостойкого фундамента установлены в результате исследований, проведенных на моделях в лабораторных условиях и на натуральных конструкциях в испытательных полигонах.

Выводы:

1. Самым старым и одним из наиболее перспективных методов активной сейсмозащиты является сейсмоизоляция;
2. В настоящее время самыми простыми и самыми распространенными во всем мире являются многослойные сейсмоизоляторы в виде резинометаллических опор, которые устанавливаются между несущими конструкциями здания и фундамента;
3. С целью снижения трения между верхним строением сооружения и фундаментом используют кинематические сейсмоизоляторы, в которых трение устраняется трением качения;
4. При разработке новой конструкции сейсмоизоляционного фундамента была поставлена цель соединить в конструкции эффективные качества технической резины, металлической тарельчатой пружины и элемента качения шара;
5. Разработан новый сейсмоизоляционный фундамент здания, который включает верхнюю и нижнюю опорные части, в которых образованы цилиндрические стаканы с наклонными днищами, промежуточный элемент в виде шара и упругий вкладыш. Упругий вкладыш располагается на днищах верхнего и нижнего цилиндрических стаканов, причем на поверхности дна стакана и каждого вкладыша расположена и скреплена с ними стальная тарельчатая пружина толщиной 5 мм. В каждом стакане упругий вкладыш образует вокруг промежуточного элемента сложную нелинейную поверхность, которая в разрезе образует восходящие половины синусоиды, являющейся спутницей циклоиды, построенной кругом диаметром равным половине диаметра промежуточного элемента. При этом между торцевыми поверхностями стенок стаканов имеется зазор равный 10 мм.

Литература

1. Медведев С.В. (1962). Инженерная сейсмология. М.: Госстройиздат, 284 с.
2. Поляков С.В. (1983). Сейсмостойкие конструкции зданий. М.: Высшая школа, 304 с.
3. Рихтер Ч.Ф. (1963). Элементарная сейсмология. М.: Издательство иностранной литературы, 670 с.
4. Касахара К. (1985). Механика землетрясений. М.: Мир, 264 с.
5. Рититаке К. (1979). Предсказание землетрясений. М.: Мир, 390 с.
6. Клячко М.А. (1999). Землетрясения и МЫ. Санкт-Петербург: РИФ «Интеграф», 236 с.
7. Мартемьянов А.И. (1985). Проектирование и строительство зданий и сооружений в сейсмических районах. М.: Стройиздат, 255 с.
8. Okamoto S. (1973). Introduction to Earthquake Engineering. Tokyo: University of Tokyo, 571 p.
9. Жунусов Т.Ж. (1990). Основы сейсмостойкости сооружений. Алма-Ата: Рауан, 270 с.
10. Ньюмарк Н., Розенблюэт Э. (1980). Основы сейсмостойкого строительства. М.: Стройиздат, 344 с.
11. Немчинов Ю.И. (2008). Сейсмостойкость зданий и сооружений. Киев, 480 с.
12. Габибов Ф.Г., Шокбаров Е.М., Баят Х.Р. (2022). Обеспечение безопасности при катастрофических землетрясениях в Иранской Республике с учетом инноваций Азербайджана и Казахстана. Алматы-Баку: Издательство КазНИИСА, 270 с.
13. Бачинский Н.М. (1949). Антисейсмика в архитектурных памятниках Средней Азии. М., Л.: Издательство АН СССР.

14. Поляков В.С., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. (1988). Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 320 с.
15. Кириков Б.А. (1990). Древнейшие и новейшие сейсмостойкие конструкции. М.: Наука, 72 с.
16. Айзенберг Я.М., Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Смирнов В.И., Трескин Н.Н. (2012). М.: издательство АСВ, 264 с.
17. Курбацкий Е.Н., Петрякова Е.А., Зернов И.И. (2021). Сейсмостойкость мостов. Теория и приложения. М.: Издательство АСВ, 276 с.
18. Мкртычев О.В., Бунов А.А. (2016). Надежность железобетонных зданий с системой сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор при землетрясении. М.: Издательство АСВ, 122 с.
19. Габибов Ф.Г., Шокбаров Е.М. (2018). Разработка инновационных резинометаллических сейсмоизоляторов из утилизированных отходов. «Вестник Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству», №1/2018(2), Бишкек, с.49-52.
20. Gabibov F.G., Shokbarov Y.M., Gabibova L.F. (2017-2019). Using utilited metal-cord tires in geotechnics. Science without borders. Transactions of the International Academy of Science N&E, Volume 4, Innsbruok, p.689-700.
21. Габибов Ф.Г., Шокбаров Е.М., Габибова Л.Ф. (2021). Об использовании утилизированных резиновых металлокордных отходов для сейсмозащиты сооружений. «Архитектура и строительство в Азербайджане», №1, Баку, с.6-20.
22. Габибов Ф.Г., Шокбаров Е.М., Габибова Л.Ф. (2021). «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», №3, с.28-40.
23. Хегай О.Н., Хегай А.О., Хегай М.О., Хегай Е.О., Хегай Т.С. (2020). Опора сейсмостойкого здания, сооружения. Патент Российской Федерации на изобретение №2714422.
24. Берман Г.Н. (1980). Циклоида. М.: Наука, 112 с.
25. Габибов Ф.Г., Рзаев Р.А., Шокбаров Е.М. (2021). Сейсмостойкий фундамент. Евразийский патент на изобретение №038830.
26. Абдыкалыков Д.Б. Методика проведения динамических испытаний зданий со стенами комплексной конструкции. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2021. – № 1 (11). – С. 16-28.
27. Жороев Н. Моделирование распространения усилий в конструкциях малоэтажного здания. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2020. – № 1 (9). – С.59-71.
28. Бесимбаев Е.Т. Разработка инновационного способа усиления фундаментов существующих зданий и сооружений. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2020. – № 2 (10). – С.55-61.
29. Габибов Ф.Г., Шокбаров Е.М., Габибова Л.Ф. Сейсмозащита грунтовых плотин путем использования утилизированных отходов. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2020. – № 1 (9). – С.4-11.