

ИМАРАТТАРДЫН ЖАНА КУРУЛУШТАРДЫН НЕГИЗИН ИЗОЛЯЦИЯЛООНУН СИСТЕМАСЫН ИЗИЛДӨӨ

Энсебеков А.Э.⁽¹⁾, Исиев Т.Ж.⁽²⁾

⁽¹⁾ PhD., доцент, Н.Исанов атындагы Кыргыз Мамлекеттик Курулуш, Транспорт жана Архитектура Университети, Бишкек, Кыргыз Республикасы, altykg@gmail.com

⁽²⁾ Магистрант, Н.Исанов атындагы Кыргыз Мамлекеттик Курулуш, Транспорт жана Архитектура Университети, Бишкек, Кыргыз Республикасы, tilek.isiev@mail.ru

Изоляцияланган структуранын эффективдүүлүгү максатында, негизин изоляциялоо системасынын иш-аракеттерин жана иштөө принциптерин, ошондой эле негизин изоляциялоонун түрлөрү жана мүнөздөмөлөрү изилденет. Салттуу сейсмокурулушка туруктуу структураларга салыштырмалуу, негизин изоляциялоонун түзүмдөрү сейсмикалык реакцияны төмөндөтөт: жалпы структуралык сейсмикалык мааниси 1/4-1/32 чейин төмөндөйт, ал эми жогорку структурада сейсмикалык жылышуу чыңалуусу 1/14-1/23 чейин төмөндөйт [8]. Чоң сейсмикалык түзүмү менен курамы ачык сейсмикалык таасир этиши мүмкүн.

Жарандык курулуштар жана архитектура жаатында «сейсмикалык изоляторлор» термини имараттардын жана курулмалардын жер титирөөнүн кесепеттеринен ажыратуу үчүн колдонулган бардык шаймандарды билдирет.

Ачык сөздөр: Негизин изоляциялоо, спектрдин жообу, сейсмикалык кучтөр, период, орун которуштуруу.

ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ БАЗОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Энсебеков А.Э.⁽¹⁾, Исиев Т.Ж.⁽²⁾

⁽¹⁾ PhD., доцент, Кыргызский Государственный Университет Строительства, Транспорта и Архитектуры им. Н.Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика, altykg@gmail.com

⁽²⁾ Магистрант, Кыргызский Государственный Университет Строительства, Транспорта и Архитектуры им. Н.Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика, tilek.isiev@mail.ru

Чтобы улучшить эффект структуры изоляции, изучаются принципы и поведение системы базовой изоляции, а также типы и характеристики базовой изоляции. По сравнению с традиционными сейсмостойкими конструкциями базовые изолирующие конструкции явно снижают сейсмический отклик: общая структурная сейсмическая величина уменьшается до 1/4-1/32, а сейсмическое напряжение сдвига в верхней структуре уменьшается до 1/14-1/23 [8]. При огромном сейсмическом строении структура может иметь очевидный сейсмический эффект.

В области гражданского строительства и архитектуры под термином «сейсмоизоляторы» понимают все те устройства, которые используются для изоляции несущей конструкции зданий и сооружений от последствий землетрясения.

Ключевые слова: базовая изоляция, спектр реакций, сейсмические силы, период, перемещение.

STUDY OF BASE-ISOLATION SYSTEM BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

Ensebekov A.E.⁽¹⁾, Isiev T.Zh.⁽²⁾

⁽¹⁾ PhD., docent, Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov, Bishkek, Kyrgyz Republic, altykg@gmail.com

⁽²⁾ Master, Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov, Bishkek, Kyrgyz Republic, tilek.isiev@mail.ru

In order to improve the effect of isolation structure, the principles and behaviors of the base-isolation system are studied, and the types and characteristics of the base-isolation are also discussed. Compared to the traditional aseismic structures, the base isolation structures decrease the seismic response obviously: the total structural aseismic value decreases to 1/4-1/32 and the seismic shear stress in the upper structure decreases to 1/14-1/23 [8]. In the huge seism, the structure can have an obvious seismic effect.

The term «seismic isolators» understands all those devices that are used to isolate the supporting structures of buildings and structures from the effects of earthquakes.

Key words: basic isolation, response spectrum, seismic forces, period, displacement.

Введение

Посредством помещения сейсмоизоляторов (базовая изоляция) между фундаментами и высотными конструкциями, частоты землетрясений отделены от частот высотной структуры, и, таким образом, предотвращается возникновение резонансных явлений. Для получения этого результата система изоляции должна быть спроектирована таким образом, чтобы изолированная структура имела фундаментальный период (обратный частоте) более 2,0-2,5 сек и, по крайней мере, в три раза больше периода той же неизолированной структуры [2,10]. Таким образом, изолированная структура ведет себя во время землетрясения почти как твердое тело, которое имеет тенденцию оставаться неподвижной по отношению к колебаниям грунта. В дополнение к уменьшению горизонтальных сил из-за увеличения фундаментального (основного) периода (и следовательно, внутренних напряжений в конструкции), также может быть дальнейшее сокращение сил, если система изоляции также характеризуется высокими относительными значениями демпфирования.

Используя сейсмоизоляторы, проектируется структура, которая остается в диапазоне упругости даже во время самых сильных землетрясений и сохраняет нетронутыми диссипативные энергетические возможности, предлагаемые пластичностью. Эта техника включает в себя защиту от землетрясения во всей ее полноте: ожидается, что не только здание не должно разрушиться (спасая жизни), а также остаются нетронутыми конструкции, заполнения, оборудование и т. д. Эффективность этих устройств подтверждается многочисленными исследованиями и экспериментами в реальном масштабе времени на виброплатформах [6].

Виды изоляторов

Могут быть рассмотрены три категории изоляторов и разные типы для каждой категории. Различные устройства также могут использоваться в одной и той же структуре.

Эластомерные изоляторы. Они имеют высокую вертикальную жесткость и низкую горизонтальную жесткость, что позволяет вывести нужный период изолированной конструкции из диапазона частот землетрясения. Есть разные типы.

Самые простые и наиболее проверенные из них изготовлены из эластомера (с низким или высоким демпфированием), усиленного металлическими пластинами [7]. Есть также эластомерные изоляторы, внутрь которых вставили свинцовый блокирующим устройством, обеспечивающее дополнительную способность рассеивания энергии.

Скользящие изоляторы. Они позволяют ограничить на фиксированную величину (очень низкую) суммарную горизонтальную силу динамического характера, которая воздействует на конструкцию во время землетрясения (общий сдвиг в основании). Существуют также разные типы данной группы.

Скользящие изоляторы (сталь-тефлон) на плоских поверхностях с сухим трением со смазкой или без нее; эти изоляторы требуют эластичной системы перецентрирования после землетрясения и могут сочетаться с упругими эластомерными изоляторами, которые выполняют эту функцию.

Скользящие маятниковые изоляторы, простые, двойные или тройные, всегда скользящие (сталь-тефлон), как и предыдущие, но скольжение происходит на сферических поверхностях, что позволяет конструкции самоцентрироваться после землетрясения.

Прокатные металлические изоляторы. Они позволяют изолировать даже легкие и гибкие конструкции, используя низкое значение трения качения. В Японии уже есть многочисленные применения с использованием рециркулирующих шариковых или роликовых металлических изоляторов [5].

Снижение горизонтального сейсмического отклика, независимо от типа и конструкционных материалов конструкции, может быть достигнуто посредством одной из следующих стратегий изоляции или их соответствующей комбинацией:

- а) увеличивая фундаментальный (основной) период конструкции, чтобы привести его в область незначительных ускорений отклика;
- б) ограничивая максимальную передаваемую горизонтальную силу.

Общие требования и критерии их удовлетворения

Система изоляции состоит из устройств изоляции, каждое из которых выполняет одну или несколько из следующих функций: поддержка вертикальных нагрузок с высокой жесткостью в вертикальном направлении и низкой жесткостью или сопротивлением в горизонтальном направлении, что допускает значительные горизонтальные смещения; рассеивание энергии с помощью гистерезисных и / или вязких механизмов; рицентровка системы; боковое ограничение, с соответствующей жесткостью, при горизонтальных рабочих нагрузках (не сейсмических) [5].

Защита при помощи сейсмической изоляцией

Противосейсмическое проектирование конструкций основано, как и для других условий нагружения, на удовлетворении неравенства [1]:

МОЩНОСТЬ \geq ТРЕБОВАНИЕ

- требование = *движение земли*;
- мощность = *сопротивление и деформируемость в нелинейном поле структуры*.

Философия дизайна, основанная на *увеличении мощности*, приводит к: увеличению сопротивления структуры; повышению глобальной пластичности.

В настоящее время разрабатываются техники *пассивной сейсмической защиты структур* для снижения требования.

Эти методы основаны на двух принципах: сильное рассеяние энергии, сконцентрированной в определенных устройствах; сейсмоизоляция: значительно снижает энергию, передаваемую от земли к структуре (строению);

Сейсмоизоляция состоит в том, чтобы отделить движение грунта от движения строения, вводя разъединение по высоте строения: в основании, в зданиях; между сваями и каркасом, в мостах.

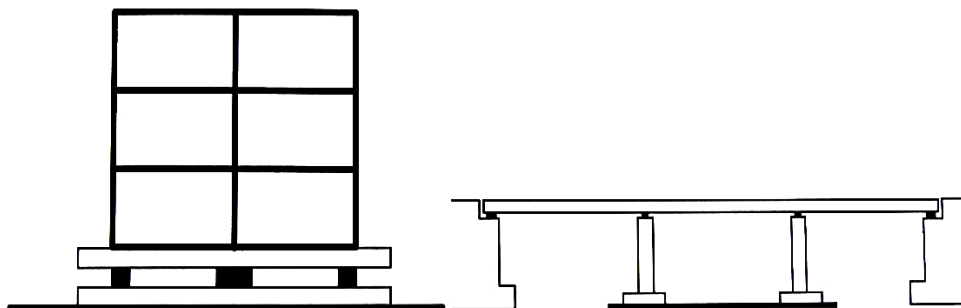


Рисунок 1: Система базовой изоляции зданий и мостов

Нижнее строение, с жестким креплением, соединенное с землей, и надстройка соединены через специальные опорные устройства - ИЗОЛЯТОРЫ - оснащенные:

- значительной жесткостью в вертикальном направлении;
- высокой деформируемостью и / или низким сопротивлением движению в горизонтальном направлении.

Как правило, присущий период нормальных структур находится в диапазоне 0,2-0,8 сек. В этом диапазоне спектры реакций с точки зрения ускорения большинства землетрясений представляют максимум усиления [3,4].

Для зданий, снабженных изоляторами, нижнее строение, как правило, очень твердое, поэтому оно испытывает примерно такое же ускорение грунта. Благодаря наличию изолирующих устройств, надстройка является гораздо более деформируемой, поэтому соответствующий период попадает в область спектра с более низким усилением [1,5].

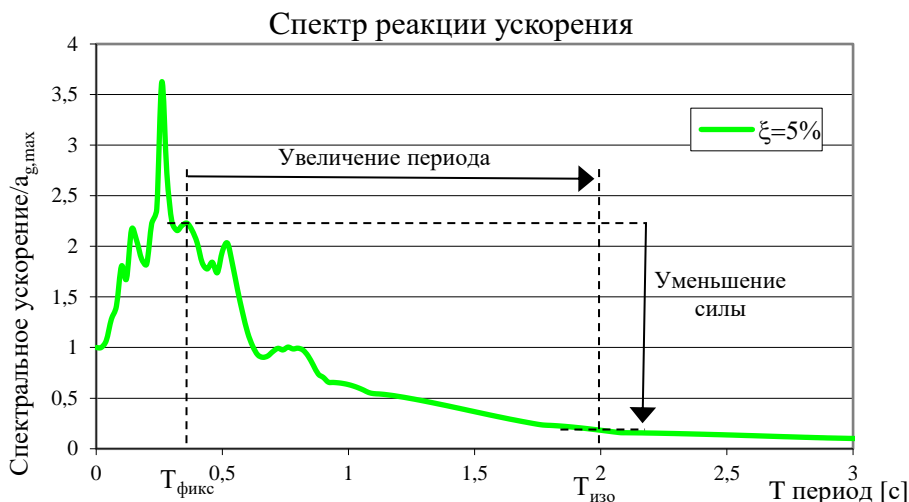


Рисунок 2: Влияние сейсмоизоляции на силы

Следовательно, ускорения, вызванные землетрясением на изолированной структуре, оказываются намного сокращенными, структура может быть спроектирована так, чтобы противостоять сильным землетрясениям, без повреждений структурных частей (проектирование в эластичном поле).

Надстройка ведет себя почти как твердое тело, с малым смещением лестничных площадок или сокращением повреждений неструктурных элементов.

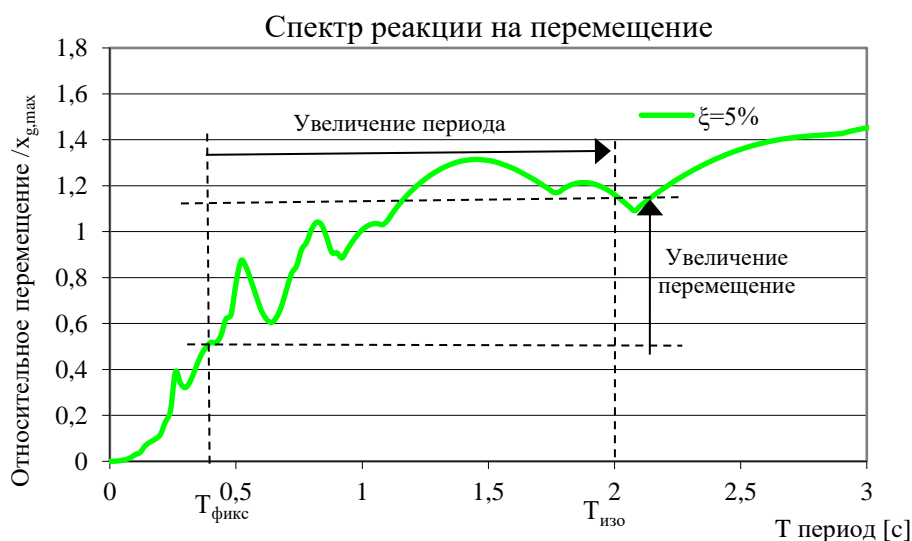


Рисунок 3: Влияние сейсмоизоляции на перемещение

Увеличение периода включает также увеличение смещений, которые, однако, сосредоточены в системе изоляции.

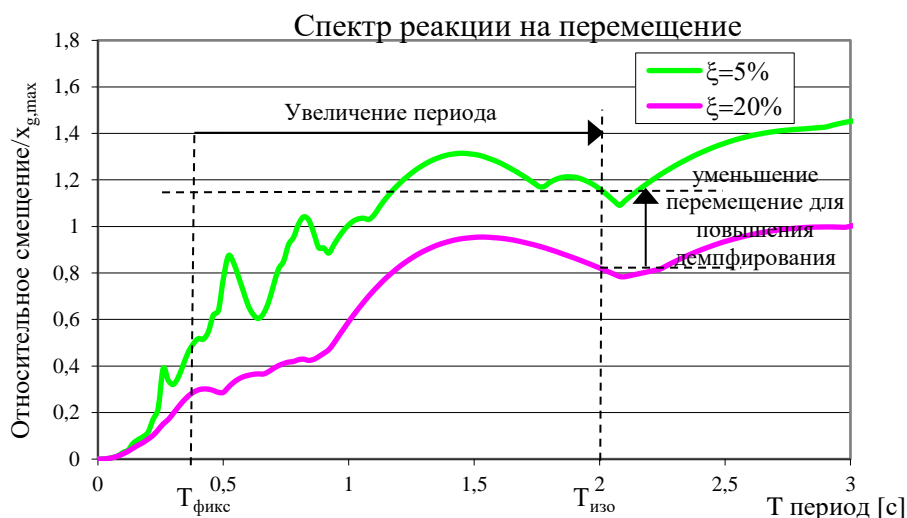


Рисунок 4: Влияние сейсмоизоляции на перемещение из-за увеличения демпфирования

Во избежание чрезмерных смещений системы изоляции, которые могут быть обусловлены в проектировании наземных систем или стыковочных соединений, система изоляции может быть оснащена высокой рассеивающей способностью: коэффициенты демпфирования 10-30%.

Преимущества изолированных зданий:

- уменьшение сил инерции и, следовательно, нагрузок;
- уменьшение смещений лестничных площадок, отсутствие повреждений неструктурных элементов, полная функциональность даже после землетрясения;
- высокая защита контента;
- низкое восприятие землетрясения жителями.

С экономической точки зрения, возможная более высокая стоимость (максимум + 10%) компенсируется отменой затрат на ремонт.

Теоретические основы сейсмической изоляции

Ниже приводится краткое резюме динамического поведения двухмассовой модели, представленное Kelly и Naeim [1]. Поведение изолированного здания можно получить с помощью простой модели с двумя степенями свободы, в которой масса m представляет надстройку, и масса m_b представляют массу на уровне плоскости изоляции. Предполагается, что все структурные элементы являются линейно упругими с линейным вязким демпфированием. Поскольку большинство систем изоляции по своей природе нелинейны, этот анализ будет приближением, в котором жесткость и

эффективное демпфирование должны будут оцениваться из эквивалентного процесса линеаризации. Параметры модели показаны на рисунке 5.

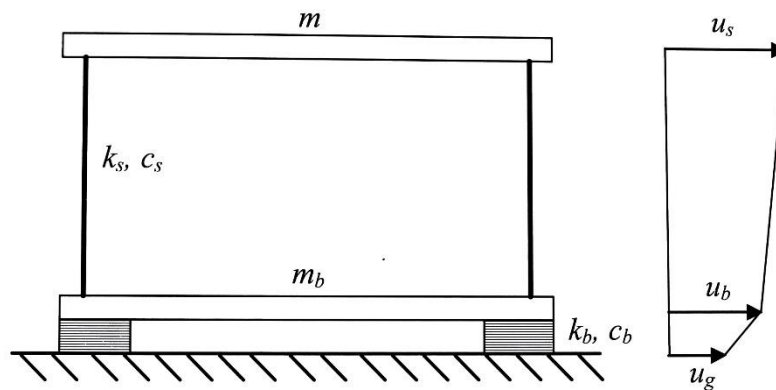


Рисунок 5: Модель с двумя степенями свободы структуры, изолированной в основании

Структурная система: линейная упругая система,

- Жесткость и демпфирование:
 - k_b, c_b - сейсмоизоляции;
 - k_s, c_s - надстройки.
- Масса:
 - m_b - основания строения, непосредственно соединенного с землей через систему изоляции;
 - m - надстройки (без учета базовой массы).

Модель с двумя динамическими степенями свободы:

горизонтальные смещения двух масс u_s, u_b

- u_g - движение земли;

мы изучаем в терминах относительных смещений:

- изоляторов v_b $v_b = u_b - u_g$
- лестничных площадок v_s $v_s = u_s - u_b$

Уравнения движения системы:

$$\begin{cases} (m + m_b) \cdot \ddot{v}_b + m \cdot \ddot{v}_s + c_b \cdot \dot{v}_b + k_b \cdot v_b = -(m + m_b) \cdot \ddot{u}_g \\ m \cdot \ddot{v}_b + m \cdot \ddot{v}_s + c_s \cdot \dot{v}_s + k_s \cdot v_s = -m \cdot \ddot{u}_g \end{cases} \quad (1)$$

Эти выражения также могут быть переписаны в матричной форме:

$$M\ddot{v} + C\dot{v} + Kv = -Mr\ddot{u}_g \quad (2)$$

соотношение массы:

$$\gamma = \frac{m}{m + m_b} \quad (3)$$

соотношение импульсов:

$$\varepsilon = \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} = \frac{k_b \cdot m}{(m + m_b) \cdot k_s} = \left(\frac{T_s}{T_b} \right)^2 \quad (4)$$

$$\left[\begin{array}{l} \omega_b = \frac{k_b}{m + m_b} \\ \omega_s = \frac{k_s}{m} \end{array} \right. \quad (5)$$

критические коэффициенты демпфирования:

$$2 \cdot \omega_b \cdot \xi_b = \frac{c_b}{(m + m_b)} \quad 2 \cdot \omega_s \cdot \xi_s = \frac{c_s}{m} \quad (6)$$

Уравнения движения системы:

$$\ddot{v}_b + \gamma \cdot \ddot{v}_s + 2 \cdot \omega_b \cdot \xi_b \cdot \dot{v}_b + \omega_b^2 \cdot v_b = -\ddot{u}_g \quad \ddot{v}_b + \ddot{v}_s + 2 \cdot \omega_s \cdot \xi_s \cdot \dot{v}_s + \omega_s^2 \cdot v_s = -\ddot{u}_g \quad (7)$$

- ω_s, T_b, ξ_b простой осциллятор, состоящий из всей массы, ограниченной системой изоляции;
- ω_s, T_s, ξ_s простой осциллятор, состоящий из единственной надстройки, предполагаемой как закрепленной на основании.

коэффициент изоляции:

$$\frac{T_b}{T_s} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}} \quad (8)$$

Для решения системы, примем $\varepsilon \ll 1$, то есть надстройка, гораздо более жесткая, чем изоляторы, решая проблему для собственных значений, получим:

$$\omega_1^2 = \omega_b^2 \cdot (1 - \gamma \cdot \varepsilon)$$

$$\omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{(1 - \gamma)} \cdot (1 + \gamma \cdot \varepsilon) \quad (9)$$

модальные формы:

$$\phi_1^T = \{1, \varepsilon\}$$

$$\phi_2^T = \left\{ 1, -\frac{1}{\gamma} \cdot [1 - (1 - \gamma) \cdot \varepsilon] \right\} \quad (10)$$

После определения режимов вибрации конструкции, отклик системы выражается в виде линейной комбинации модальных форм ϕ_1 и ϕ_2 через два коэффициента (q_1 и q_2), являющихся функцией времени:

$$\begin{aligned} v_b &= q_1 \cdot \phi_{11} + q_2 \cdot \phi_{12} \\ v_s &= q_1 \cdot \phi_{21} + q_2 \cdot \phi_{22} \end{aligned} \quad (11)$$

Введенные в уравнения движения, они позволяют разделить систему:

$$\begin{aligned} \ddot{q}_1 + 2 \cdot \omega_1 \cdot \xi_1 \cdot \dot{q}_1 + \omega_1^2 \cdot q_1 &= -\pi_1 \ddot{u}_g \\ \ddot{q}_2 + 2 \cdot \omega_2 \cdot \xi_2 \cdot \dot{q}_2 + \omega_2^2 \cdot q_2 &= -\pi_2 \cdot \ddot{u}_g \end{aligned} \quad (12)$$

модальные коэффициенты участия:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= 1 - \gamma \cdot \varepsilon \\ \pi_2 &= \gamma \cdot \varepsilon \end{aligned} \quad (13)$$

отношения демпфирования, связанные с двумя режимами вибрации:

$$\begin{aligned} \xi_1 &= \xi_b \cdot (1 - 1,5 \cdot \gamma \cdot \varepsilon) \\ \xi_2 &= \frac{\xi_s + \gamma \cdot \xi_b \cdot \sqrt{\varepsilon}}{\sqrt{1 - \gamma}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma \cdot \varepsilon}{2}\right) \end{aligned} \quad (14)$$

Исходя из общего спектра отклика, с точки зрения смещения, $S_d(\omega, \xi)$ или ускорения, $S_a(\omega, \xi)$, можно рассчитать модальные максимумы отклика структуры (строения):

$$\begin{aligned} q_{1\max} &= \pi_1 \cdot S_d(\omega_1, \xi_1) \\ q_{2\max} &= \pi_2 \cdot S_d(\omega_2, \xi_2) \end{aligned} \quad (15)$$

используя, например, закон комбинирования SRSS, получаем максимальное значение смещения изоляторов:

$$v_{b\max} = \sqrt{(q_{1\max} \cdot \phi_{11})^2 + (q_{2\max} \cdot \phi_{12})^2} \quad (16)$$

и максимальное значение межэтажного дрейфа:

$$v_{s\max} = \sqrt{(q_{1\max} \cdot \phi_{21})^2 + (q_{2\max} \cdot \phi_{22})^2} \quad (17)$$

Вы можете написать:

$$v_{b\max} = \sqrt{(1 - \gamma \cdot \varepsilon)^2 \cdot [S_d(\omega_1, \xi_1)]^2 + \gamma^2 \cdot \varepsilon^2 \cdot [S_d(\omega_2, \xi_2)]^2} \quad (18)$$

$$v_{s\max} = \varepsilon \cdot \sqrt{(1 - 2 \cdot \gamma \cdot \varepsilon)^2 \cdot [S_d(\omega_1, \xi_1)]^2 + [1 - 2 \cdot (1 - \gamma) \cdot \varepsilon]^2 \cdot [S_d(\omega_2, \xi_2)]^2} \quad (19)$$

для обычных спектров отклика это приводит к $S_d(\omega_2, \xi) \ll S_d(\omega_1, \xi)$, и конец

$$\varepsilon^2 \cdot [S_d(\omega_2, \xi_2)] \quad (20)$$

можно не принимать в расчет, поэтому:

$$v_{b\max} = (1 - \gamma \cdot \varepsilon) \cdot [S_d(\omega_1, \xi_1)] \quad (21)$$

$$v_{s\max} = \varepsilon \cdot \sqrt{[S_d(\omega_1, \xi_1)]^2 + [S_d(\omega_2, \xi_2)]^2} \quad (22)$$

коэффициент сдвига (значение ускорения, умноженное на массу, дает значение сдвига у основания надстройки):

$$C_s = \max \left| \frac{k_s \cdot v_s}{m} \right| = \omega_s^2 \cdot v_{s \max} \quad \left(\varepsilon = \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} \right) \quad (23)$$

соотношение импульсов:

$$C_s = \sqrt{[S_a(\omega_1, \xi_1)]^2 + \varepsilon^2 \cdot [S_a(\omega_2, \xi_2)]^2} \quad (24)$$

предполагая, что $\varepsilon \ll 1$, имеем:

$$\omega_1 \cong \omega_b \quad \pi_1 \cong 1 \quad \xi_1 \cong \xi_b$$

$$v_{b \max} = S_d(\omega_b, \xi_b) \quad (25)$$

$$v_{s \max} = \varepsilon \cdot S_d(\omega_b, \xi_b) \quad (26)$$

$$C_s = S_a(\omega_b, \xi_b) \quad (27)$$

Для малых значений ε и для обычных спектров отклика:

- система изоляции может быть рассчитана на максимальное смещение, равное $S_d(\omega_b, \xi_b)$,
- и надстройка для коэффициента сдвига, равного $S_a(\omega_b, \xi_b)$,
- межэтажное смещение пропорционально и к максимальному смещению у основания $S_d(\omega_b, \xi_b)$; следовательно, оно сводится к уменьшению соотношения между периодом неподвижной базовой и изолированной структуры и к увеличению демпфирования системы изоляции [9].

Спектры реакции могут быть использованы непосредственно для проектирования как структуры, так и системы изоляции.

Заключение

По сравнению с традиционной системой сейсмоизоляции, система базовой изоляции имеет явно более низкую горизонтальную сейсмический ответ. Вибрационный режим многослойная структура изоляции — это общий перевод. После сейсмоизоляции, межслойное смещение мало и может быть рассчитана как единая система масс. Под ветровой нагрузкой и небольшим землетрясением эффект изоляции структуры не является очевидным. Тем не менее, под умеренным и сильное землетрясение, система имеет очевидную изоляцию эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **M. Dolce, F.C. Ponzio, A. Di Cesare, G. Arleo, (2010) «Progetto di edifici con isolamento sismico» IUSS Press, Pavia, Italy; [М. Долче, Ф.Ч. Понзо, А. Ди Чесаре, Ж. Арлео (2010) «Проектирование зданий с сейсмоизоляцией» Издательство IUSS, Павиа, Италия].**
2. **D.M. 14.01.2008, «Nuove norme tecniche per le costruzioni» Norme d'Italia;**

[D.M. 14.01.2008, «Новые технические стандарты для строительства» Стандарт, Италия]

3. **Circolare Ministeriale 617 del 2009, Norme d'Italia;** [Министерский циркуляр 617 в 2009, Стандарт, Италия]

4. **CNR – DT 200/2004, «Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati»;**

[CNR – DT 200/2004, «Инструкции по проектированию, выполнению и контролю мероприятий по статической консолидации с использованием композитов, армированных волокном»]

5. **A. Biondi, «Progettazione antisismica degli edifici» (2004)** [А. Бионди, «Антисейсмическое проектирование зданий» (2004)]

6. **A. Ensebekov, La tesi «Proposta di intervento per l'adeguamento sismico dell'edificio storico della facoltà di ingegneria dell'Aquila» (2016), L'Aquila, Italy.** [А. Энсебеков, «Предлагаемое вмешательство для сейсмической адаптации исторического здания инженерного факультета Аквилы» (2016), Аквила, Италия].

7. **A. Dusi, M. Mezzi, K. Fuller «The largest base-isolation project in the world» (2008) World conference on earthquake engineering, Beijing, China.** [А. Дуси, М. Меззи, К. Фуллер «Крупнейший проект базовой изоляции в мире» (2008) Всемирная конференция по инженерной сейсмологии, Пекин, Китай]

8. **G. W. Ni, Y. M. Zhang, D. L. Jiang, J. N. Chen, B. Liu «Study of Base-isolation building system» (2010), World Academy of Science, Engineering and Technology.** [Дж. В. Ни, У. М. Жанг, Д. Л. Джуанг, Дж. Н. Чен, Б. Лию «Изучение системы базовой изоляции зданий» (2010) Всемирная академия наук, инженерии и технологий].

9. **NTC-2018 «Norme tecniche per le costruzioni» Capitolo 3.2, Azione sismico, Norme d'Italia;** [NTC-2018 «Технические нормы для строительства» Глава 3.2 Сейсмическое воздействие, Стандарт, Италия].

10. **NTC-2018 «Norme tecniche per le costruzioni» Capitolo 7, Progettazione per azioni sismiche, Norme d'Italia;** [NTC-2018 «Технические нормы для строительства» Глава 7, Проектирование для сейсмических воздействий, Стандарт, Италия].