

УДК 624.042.7

Ж.Б. Байнатов, Н.О. Жиренбаева

(Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева,
Алматы, Республика Казахстан, naz_zh@list.ru)

КОМПЛЕКСНАЯ СЕЙСМОЗАЩИТА СООРУЖЕНИЙ И УСИЛЕНИЕ УЯЗВИМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. В статье рассматриваются новые конструкции активных сейсмогасителей фундамента и подвального этажа. Гашение колебания осуществляется сухим трением и от того элементы фундамента и стены выполнены из штучных кольцевых железобетонных элементов и установлены штабелями по высоте.

Усиление лестничной клетки осуществляется фермой-рамой установленной между щелями лестничных маршей.

Приведены расчеты на сейсмику и на устойчивость.

Ключевые слова: сейсмозащита, сейсмоусиленный фундамент, подвальный этаж, упругие связи, сухое трение, диафрагма, расчет на сейсмику, расчет на устойчивость, критическая сила, характеристические уравнения.

Уроки разрушительных землетрясений и нанесенные ими ущербы показывают, что традиционные методы проектирования зданий и сооружений, за счет увеличения количества арматуры, класс бетона и размеры сечения конструкции могут оказаться экономически не приемлемым. В этих условиях целесообразно применение комплексных мероприятий по сейсмозащите сооружений.

В настоящее время в различных странах мира (Франция, Великобритания, США и др.) на ответственных сооружениях применяют сейсмоизолирующие фундаменты разной конструкции с целью защиты людей при землетрясениях.

Сущность методики сейсмозащиты заключается в снижении сейсмических нагрузок на сооружение путем регулирования их динамических характеристик. При землетрясении это достигается оснащением зданий защитными мероприятиями, которые компенсируют опасные резонансные колебания. Снижение сейсмических нагрузок достигается изменением динамических характеристик, частотных состав и диссипационных свойств системы, которые способствуют регулированию сейсмической реакции сооружения.

К специальным сейсмозащитным мероприятиям относятся: программные элементы, сейсмоамортизаторы, скользящие пояса, выключающиеся элементы, гасящие устройства, системы и диафрагмы жесткости, податливые прослойки и др.

Каждый метод сейсмозащиты имеет свои преимущества и недостатки. Выбор варианта оптимального проектирования защитных мероприятий зависит от многих факторов: сейсмических событий в зданиях, грунтовых условий, категории ответственности сооружений, экономической и экологической обстановки региона и т.д.

В настоящее время в КазНИТУ им. К.И. Сатпаева совершенствуются методы разработки комплексной защиты с учетом усиления уязвимых элементов.

В этой статье рассматриваются комплексно новые конструкции сейсмоизолирующего фундамента, из штучных элементов сейсмоизолирующей стены на сухом трении и сейсмоусилении лестничных клеток.

Сейсмоизоляция. Сейсмоизолирующий фундамент состоит из отдельных железобетонных колец с двусторонними конусообразными уширениями. Кольца устанавливаются один над другим с образованием вертикальных каналов, для размещения в них арматурного каркаса и демпфирующего материала. Соединения арматуры с элементами здания осуществляются при помощи упругого шарнира (рис. 1). Снижение сейсмического воздействия достигается за счет комплексных мероприятий,

т.е. подвижности фундаментных конструкций, сухого трения, вязкости и гибкости составляющих элементов.

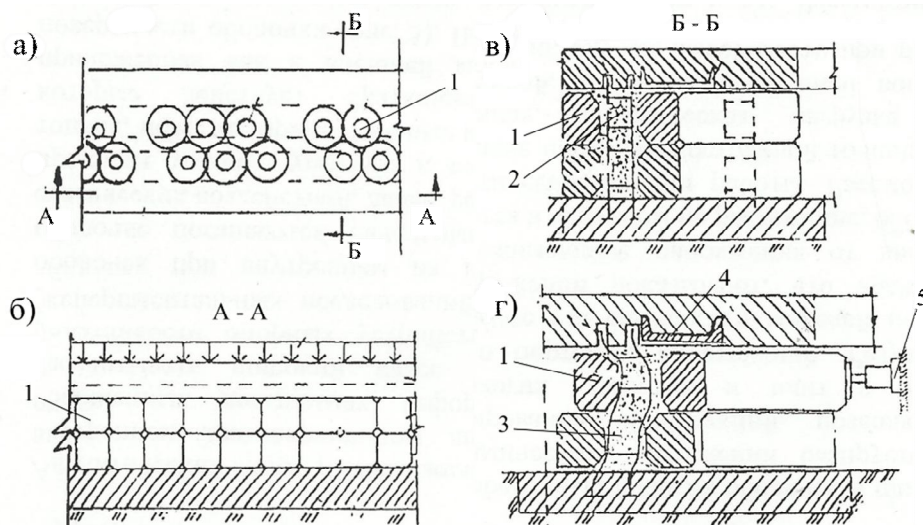


Рис. 1. Сборные конструкции сейсмоизолирующего фундамента. а - общий вид – план; б – разрез А-А; в – разрез Б-Б; г – деформированное состояние фундамента и схемы восстановления, 1 – железобетонные кольца; 2 – упругие связи; 3 – арматурный каркас; 4 – жесткая арматура – швеллер; 5 - домкрат

Разработанная конструкция фундамента одинаково работает по любому направлению сейсмического воздействия и воспринимает как вертикальные так горизонтальные составляющие колебания земли. В зависимости от массы и категорий ценности сооружений можно регулировать гибкость опорных частей. Работоспособность конструкции после землетрясения восстанавливается быстро за счет работы упругих шарниров и домкратов.

Использование предложенного технического решения (патент РК № 5318) позволяет снизить энергию сейсмического воздействия до 60%.

Сейсмогаситель – гибкий цокольный этаж

Разработана конструкция сейсмоизоляции, которая состоит из кольцеобразных железобетонных шайб, установленных штабелями по высоте между ростверком и фундаментом. Внутри шайб установлены несущие колонны (или сваи), жестко соединенные с ростверком и фундаментом. Между цокольными колоннами и шайбой оставлена круглая щель на 10-15 см. К кольцевым элементам шайбам прикреплена наружная ограждающая конструкция – «стенная панель», которая непосредственно соприкасается с грунтом (рис. 2).

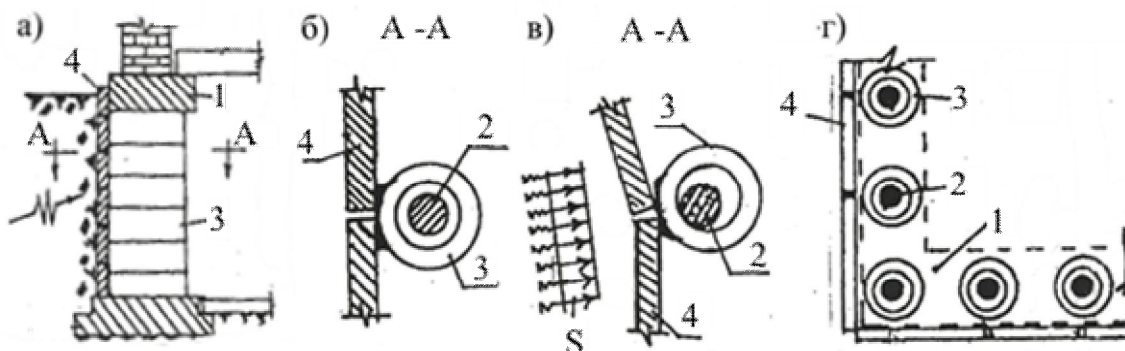


Рис. 2. Комплексные конструкции сейсмоизолируемых стен. а – общий вид фундамента с сейсмоизолирующими элементами (фрагмент); б – разрез по А-А, до деформации, в – разрез по А-А, после деформации; г – план расположения ростверка (пунктирная линия) и колонн с шайбой (фрагмент); 1 – ростверк; 2 – фундаментная колонна; 3 – опорная шайба; 4 – ограждающая стена

Горизонтальные толчки сейсмического воздействия воспринимается сначала ограждающими панелями и передается на стойки, образованные из кольцеобразных шайб, за счет скачкообразных сдвигов шайб через трение происходит гашение сейсмического воздействия. В результате остаются не тронутыми несущие колонны зданий или получаются небольшие смещения безопасные для зданий и людей.

Такие несущие колонны устанавливаются по периметру здания под фундаментом. Разработанная конструкция может по любому направлению одинаково воспринимать сейсмические воздействия. *Повышение сейсмостойкости лестничных клеток зданий (патенты РК № 7792; № 9536).*

Во время землетрясения на лестничных клетках происходит большое скопление людей и их конструкции испытывают значительные перегрузки. Скоротечность и динамичность стихийного перемещения людей приводит к разрушению лестничных площадок и складированию лестничных маршей с трагическими последствиями.

Сущность предложенного способа состоит в том, что обеспечение сейсмической безопасности существующего здания осуществляется не путем дополнительного увеличения его размеров, как при традиционных способах усиления, а путем изменения его конструктивного решения: достигается тем, что в щели между лестничными маршами и поперек лестничных площадок устанавливается вертикальная сквозная однопролетная металлическая ферма – диафрагма жесткости, состоящая из стоек, наклонных раскосов и анкерных тяжей.

Стойки между лестничными маршами выполняются цельными на всю высоту здания и опираются они на отдельные фундаменты. Раскосы соединяющие стойки расположены под косоурами и соединяются продольными стенами клетки анкерными тягами. Расчетная схема лестничной клетки представляется в виде рамно-связевой системы. Указанная технология повышения безопасности эвакуации людей, и надежность лестницы не имеет мировых аналогов: во-первых, дешевые и надежные, во-вторых, более простые и технологичные, в-третьих, во время усиления исключается процесс эвакуации жильцов из своих квартир и после ремонтных работ. Стоимость сейсмоусиления одного подъезда пятиэтажного крупнопанельного здания составляет не более 50 тыс. тенге на одну квартиру.

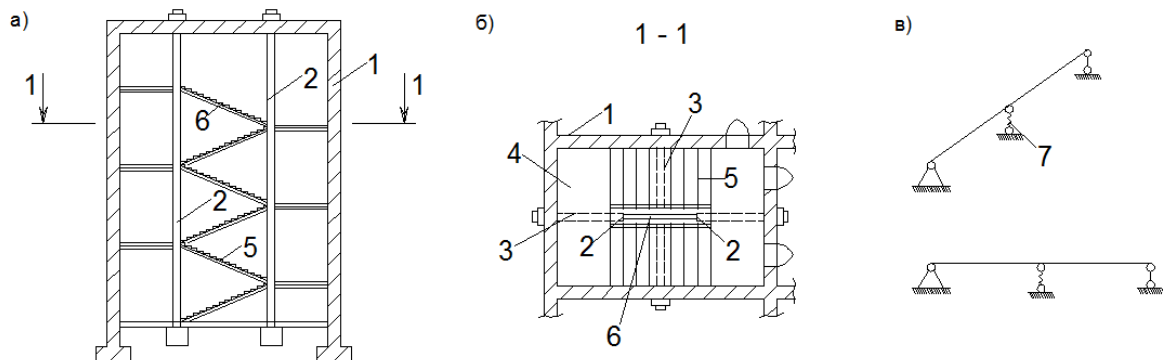


Рис. 3. Сейсмоусиление лестничной клетки решетчатой диафрагмой жесткости. а - общий вид разреза усиленной лестничной клетки; б – план лестничной клетки по 1-1; в – расчетные схемы лестничных маршей и площадок; 1 – стена клетки; 2 – стойки усиления; 3 – анкерные тяги; 4 – площадка; 5 – лестницы; 6 – раскос фермы; 7 – упругие опоры

При использовании фундаментов из штучных колец на сухом трении необходимо установить перерезывающие силы в основании зданий. Для этого используем методику приведенное в работе [3].

Для определения сейсмических поперечных сил F_b в основании здания применяется упрощенная формула:

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m\lambda, \quad (1)$$

где $S_d(T_1)$ - ордината проектного спектра по формулам (2)-(6) при периоде T_1 .

Спектр упругой реакции перемещения $S_{DE}(T)$ может быть получен прямым преобразованием спектра упругой реакции ускорения $S_e(T)$, используя следующее выражение в пределах $T \leq 4,0$ с.

$$S_{DE}(T) = S_e(T) [T/2\pi]^2. \quad (2)$$

Вертикальная компонента сейсмического воздействия $S_{ve}(T)$ в соответствии с описанной спектральной теорией может быть представлена выражениями:

$$S_{ve}(T) = a_{vg} [1 + T(3\eta - 1)/T_B] \quad \text{при } 0 \leq T \leq T_B; \quad (3)$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot 3\eta \quad \text{при } T_B \leq T \leq T_C; \quad (4)$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot 3\eta [T_C/T] \quad \text{при } T_C \leq T \leq T_D \quad (5)$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot 3\eta \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \quad \text{при } T_D \leq T \leq 4s \quad (6)$$

Значения показателя коррекции величины затухания η могут быть вычислены по формуле

$$\eta = [10/(5 + \xi)]^{1/2} \geq 0,55, \quad (7)$$

ξ – коэффициент вязкого затухания конструкции, в %.

T_1 – период основного тона колебаний здания для поперечных колебаний в рассматриваемом направлении;

m – общая масса здания выше фундамента или выше верха жесткого основания, вычисленная с учетом коэффициентов сочетания;

λ – корректирующий коэффициент, значение которого равно: $\lambda = 0,85$, если $T_1 \leq 2T_C$ и здание имеет более двух этажей, и $\lambda = 1,0$ в других случаях.

Примечание. Коэффициент λ соответствует, по крайней мере, трехэтажным зданиям и поступательным колебаниям в каждом горизонтальном направлении с эффективной (основной) массой принятой меньше в среднем на 15%, чем общая масса здания.

В соответствии с установившейся практикой, для определения периода основного тона собственных колебаний зданий T_1 в методе поперечных сил допускается использоваться подходы, основанные на приближенных методах динамики строительных конструкций (например, метод Рэлея).

Для зданий высотой до 40 м значение T_1 (с) рекомендуется определять по приближенной формуле:

$$T_1 = C_t \cdot H^{3/4}, \quad (8)$$

где: $C_t = 0,085$ для стального каркаса, сопротивляющегося действию изгибающего момента (рамная система);

$C_t = 0,075$ для железобетонных рамных систем (рамного каркаса) и для эксцентрично расположенных связей стальных каркасов (рамно-связевая система);

$C_t = 0,050$ для всех других конструкций;

H – высота здания, в метрах, от фундамента или от верха жесткого основания.

Для конструкций железобетонных стен и стен каменной кладки, работающих на сдвиг, значение C_t в (8) определяется по формуле:

$$C_t = 0,075 / \sqrt{A_c} \quad (9)$$

где:

$$A_c = \sum [A_i \cdot (0,2 + (l_{wi}/H))^2], \quad (10)$$

и A_c – общая эффективная площадь стен, работающих на сдвиг, на первом этаже здания, в м²;

A_i – эффективная площадь поперечного сечения стены i , работающей на сдвиг, в рассматриваемом направлении на первом этаже здания, в м²;

H – как указано выше, не должна превышать 40 м;

l_{wi} – длина i -ой стены, работающей на сдвиг, на первом этаже в направлении, параллельном приложенным силам, в м, с ограничением, что l_{wi}/H не превышает величины равной 0,9.

С другой стороны, оценка T_1 (в секундах) может быть сделана с использованием следующего выражения:

$$T_1 = \sqrt{d}, \quad (11)$$

где d – значение поперечного упругого перемещения верха здания, в м, вследствие гравитационных нагрузок, приложенных в горизонтальном направлении.

После определения поперечных сил на фундаменты уточняют их сопротивляемость на сдвиг и глубину заложения.

При использовании предложенного варианта усиления лестничных клеток, необходимо выполнить расчет рамы на устойчивость. Рассмотрим более нагруженную часть рамы – это первый этаж (рис. 4,а).

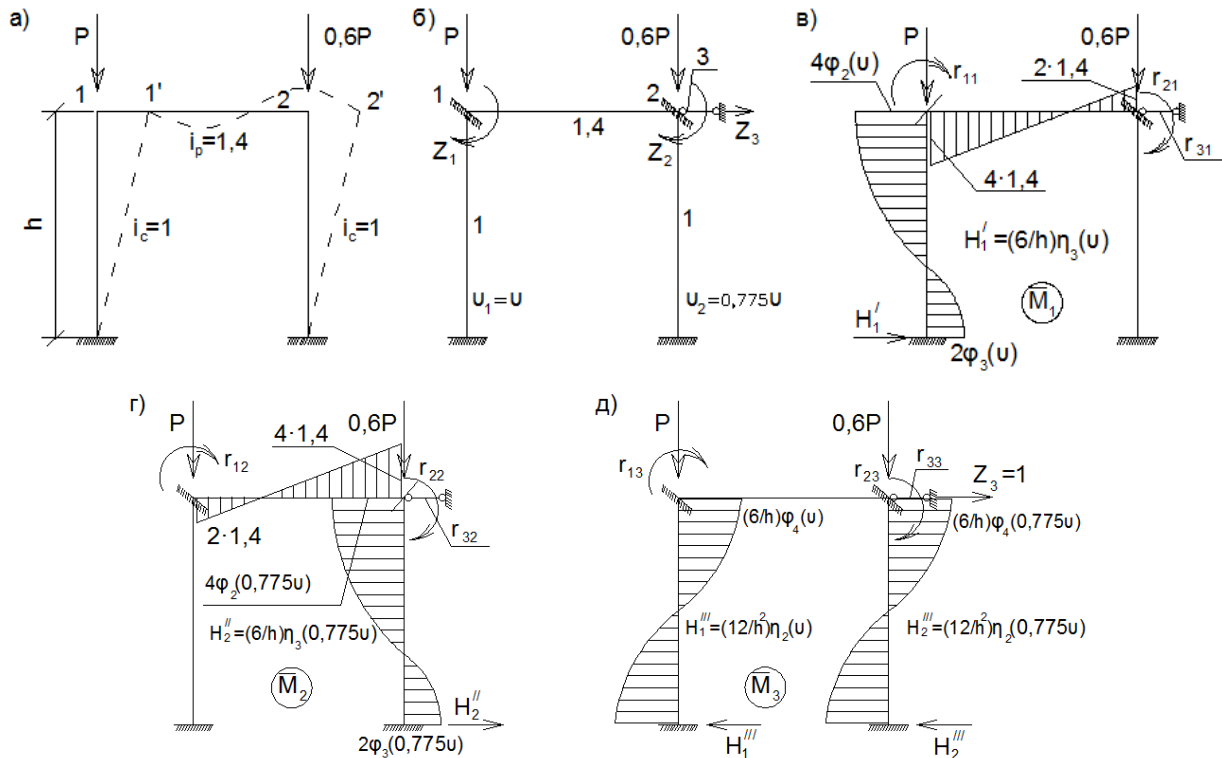


Рис. 4. Этапы расчета. а – схема рамы; б – расчетная схема; в, г, д – единичные эпюры \bar{M}_1 , \bar{M}_2 и \bar{M}_3

Ставим задачу найти критическую нагрузку или определяющее ее характеристическое уравнение и покажем возможные формы потери устойчивости.

Неизвестные методы перемещений – углы поворота узлов Z_1 , Z_2 и их линейное смещение Z_3 (рис. 4,б).

Параметр ν для узловых нагрузок

$$\nu_1 = h \sqrt{\frac{P_1}{EI_1}} = \sqrt{\frac{Ph}{i}} = \nu; \quad \nu_2 = h \sqrt{\frac{P_2}{EI_2}} = \sqrt{\frac{0,6Ph}{i}} = 0,775\nu.$$

На рис. 4, в, г и д показаны единичные эпюры \bar{M}_1 , \bar{M}_2 и \bar{M}_3 и концевые поперечные реакции от единичных перемещений. По этим рисункам находим

$$r_{11} = 4\varphi_2(\nu) + 4 \cdot 1,4; \quad r_{21} = r_{12} = 2 \cdot 1,4; \quad r_{31} = r_{13} = -\frac{6}{h}\eta_3(\nu);$$

$$r_{22} = 4\varphi_2(0,775\nu) + 4 \cdot 1,4; \quad r_{32} = r_{23} = -\frac{6}{h}\eta_3(0,775\nu);$$

$$r_{33} = \frac{12}{h^2} \eta_2(\nu) + \frac{12}{h^2} \eta_2(0,775\nu) = \frac{24}{h^2} [\eta_2(\nu) + \eta_2(0,775\nu)].$$

При этом условии критического состояния рамы примет вид

$$\begin{vmatrix} 4\varphi_2(\nu) + 5,6 & 2,8 & -\frac{6}{h}\eta_3(\nu) \\ 2,8 & 4\varphi_2(0,775\nu) + 5,6 & -\frac{6}{h}\eta_3(0,775\nu) \\ -\frac{6}{h}\eta_3(\nu) & -\frac{6}{h}\eta_3(0,775\nu) & \frac{24}{h^2}[\eta_2(\nu) + \eta_2(0,775\nu)] \end{vmatrix} = 0.$$

Раскрывая определитель, получим сложное трансцендентное уравнение относительно искомого параметра ν . Решая это уравнение путем подбора с помощью табл. 1 приложения [7], получим наименьшее значение критического параметра $\nu_{кр} = \nu_{1кр} = 3,14$.

$$\text{Тогда } \nu_{2кр} = 0,775\nu_{1кр} = 0,775 \cdot 3,14 = 2,43.$$

Находим критическую нагрузку

$$P_{кр} = \nu_{2кр}^2 \frac{EI_2}{h^2} = 5,9 \frac{EI_2}{h^2}.$$

При симметричном нагружении рамы и при симметричной форме потери устойчивости $\nu_{кр} = 5,02$, а при обратно симметричной форме потери устойчивости критический параметр равен $\nu_{кр} = 2,72$. Это означает, что потеря устойчивости происходит при обратно симметричной форме. Для расчета принимаем наименьшее значение.

Вариант усиления лестничной клетки позволяет людям при землетрясении безопасно покинуть здания и экономически выгодно, т.к. жители подъезда дома за счет своих средств могут установить предложенный вариант усиления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Байнатов Ж.Б., Байнатов У.Ж. Устройство для усиления лестничной клетки многоэтажного здания. А.С. №7792, Бюл. №7 от 15.07.1999.
- [2] Байнатов Ж.Б., Тулебаев К.Р., Базанова И.А. Инженерная геология и защита горных дорог от опасных природных явлений. – Алматы: КазАТК им. М.Тынышбаева, 2010 – 436 с.
- [3] Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость высотных зданий и сооружений. – Киев: изд. Гудименко С.В., 2015. – 584 с.
- [4] Байнатов Ж.Б., Нурмаганбетов Е.К. Расчет и проектирование сейсмостойких зданий и сооружений. – Алматы: КазГАСА КазНИТИ, 1997. – 140 с.
- [5] Аубакиров А.Т. Новые методы защиты зданий от землетрясений. – Алматы: изд. АНТЕЙ, 1999. – 400 с.
- [6] Корчинский И.Л., Быховский В.А., Поляков С.В. и др. Основы проектирования зданий в сейсмических районах. – М.: Стройиздат, 1970. – 316 с.
- [7] Раевский А.Н. Основы расчета сооружений на устойчивость. – М.: Высшая школа, 1962. – 160 с.

REFERENCES

- [1] Bainatov Zh.B., Bainatov U.Zh. Ustroistvo dlya usileniya lestnichnoi kletki mnogoetazhnogo zdaniya. A.S. №7792, Byul. №7 ot 15.07.1999.
- [2] Bainatov Zh.B., Tulebaev K.R., Bazanova I.A. Inzhenernaya geologiya i zashchita gornyx dorog ot opasnykh priridnykh yavleniy. – Almaty: KazATK im. M.Tynyshbaeva, 2010 – 436 s.
- [3] Nemchinov Yu.I. Seismostoičnost vysotnykh zdaniy i sooruzheniy. – K.: Gudimenko S.B., 2015. – 584 s.
- [4] Bainatov Zh.B., Nurmaganbetov E.K. Raschet i proektirovanie seismostoičikikh zdaniy i sooruzheniy. – Almaty: KazGASA KazNITI, 1997. – 140 s.
- [5] Aubakirov A.T. Novye metody zashchity zdaniy ot zemletryaseniya. – Almaty: izd. ANTEI, 1999. – 400 s.
- [6] Korchinskiy I.L., Bykhovskiy V.A., Polyakov S.V. i dr. Osnovy proektirovaniya zdaniy v seismicheskikh raionakh. – M.: Stroiizdat, 1970. – 316 s.
- [7] Raevskiy A.N. Osnovy rascheta sooruzheniy na ustoichivost. – M.: Vysshaya shkola, 1962. – 160 s.

Байнатов Ж.Б., Жиренбаева Н.О.

Ғимараттарды сейсмикадан кешенді қорғау және әлсіз элементтерді күшейту

Түйіндеме. Арматура ауданын, бетон класын және элемент қимасының өлшемдерін ұлғайту арқылы ғимараттардың сейсмикаға төзімділігін арттырудың белгілі әдістері әрқашанда күткен нәтиже бере бермейді. Кейбір жағдайларда күшейту қосымша лоджиялар мен терассалар, сондай-ақ көлденең және тік қоршау жасайтын мансард салу арқылы жүзеге асырылады.

Мақала авторларының ойынша, ең сенімдісі сейсмикалық әсердің энергиясын азайту болып табылады. Бұл ойларын негіздеу үшін олар сейсмөшірудің екі нұсқасын ойлап тапты:

- бірінші нұсқада – энергияны азайту іргетас қалауының жеке элементтері арасындағы құрғақ үйкелудің арқасында жүзеге асады;

- екінші нұсқада – қабырға мен ғимараттың қысқа көтеруші ұстындарына орнатылған шайба арасындағы қозғалыс кезіндегі үйкелісі арқасында.

Жергілікті күшейту үшін авторлар ғимараттың баспалдақ алаңын торлы элемент – фермалардан жасалған ядро қаттылығына айналдыруды ұсынып отыр. Келтірілген техникалық шешімдер сәйкес есептермен расталған.

Мақала сейсмикаға қауіпті аймақ үшін өзекті тақырыпқа жазылған. Есептер қатесіз орындалған.

Негізгі сөздер: сейсмикадан қорғау, сейсмикаға күшейтілген іргетас, жертөле қабаты, серпімді байланыстар, құрғақ үйкеліс, диафрагма, сейсмикаға есептеу, тұрақтылыққа есеп, шектік күш, сипаттамалық теңдеуі.

Bainatov Zh.B., Zhirenbayeva N.O.

Complex seismic defence building and strengthening of vulnerable elements

Summary. Well-known methods of increase of seismic proof of building due to the increase of area of armature, class of concrete and sizes of section of element not always give the expected results. On occasion strengthening comes true by means of their annex by the attached loggias and terraces, and also building on of mansards with formation of horizontal and vertical reinforce-concrete holders.

The authors of the article consider that more reliable is reduction of energy of seismic influence. For the ground of these ideas they worked out two variants of seismic extinguishing:

- in the first variant - reduction of energy comes true due to a dry friction between the piece elements of laying of foundation;

- in the second variant - due to a friction at a change between a wall and puck beaded on short bearing columns building.

For the local strengthening authors offer the stair cage of building to convert into a kernel inflexibilities from the latticed elements-farms. The brought technical decisions over are confirmed with corresponding calculations.

The article is written on an actual theme for a seismic dangerous district. Calculations are executed without errors.

Keywords: seismic defence, seismic strengthening foundation, basement floor, resilient connections, dry friction, diaphragm, calculation on seismic, calculation on stability, critical force, characteristic equalizations.

УДК 622.24.063

А. Мусанов, А. А. Кабдушев, Ж.С. Сәлеметханов

(Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Республика Казахстан, e-mail: Zhandos_9222@mail.ru)

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ НА ПРОДУКТИВНЫЙ ПЛАСТ И ПРИМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы воздействия промывочной жидкости на продуктивный пласт и применение химических добавок. Основной целью является определить факторы, способствующие проникновению промывочной жидкости в продуктивный пласт и образованию зоны кольматации. Также рассматриваются вопросы устранения колматаций с помощью добавок в промывочную жидкость.

Ключевые слова. Супердрилл, супермикс, клейстэб, суперплаг, промывочная жидкость, химические добавки, коллектор, кольматация, бентонитовые глины.