

БИНОЛАРНИНГ КУЧЛАНГАНЛИК-ДЕФОРМАЦИЯЛАНГАНЛИК ҲОЛАТИГА СЕЙСМИК ҲИМОЯЛАРНИНГ ТАЪСИРИ

А.С.Ювмитов¹, С.Р.Ҳакимов²

¹ЎзР ФА Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти

²Наманган муҳандислик-қурилиш институти

E-mail: ¹anvar.sayfullaevich@mail.ru, ²xakimov.sodiqjon@mail.ru

Аннотация - Ушбу мақолада кўп қаватли бинонинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатига сейсмик ҳимояларнинг таъсири тадқиқ қилинган. Мисол сифатида пойдевори бикр маҳкамланган ва кўп қатламли резина-металл кўринишидаги бўлган сейсмик ҳимоясини ҳисобга олган ҳолда беш қаватли бино тадқиқ қилинган. Бинонинг фазовий моделини ҳисоблаш орқали кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатининг сонли натижалари олинган.

Калит сўзлар - Динамик кўрсаткичлар, сейсмик ҳимоя, кучланиш, деформация, кўчиш, резина металл таянч, модел, юк кўтарувчи конструкциялар, кўчишлар изополяси, кучланишлар изополяси.

INFLUENCE OF SEISMIC ISOLATION ON THE STRESS-STRAIN STATE OF BUILDINGS

A.S. Yuvmitov¹, S.R. Hakimov²

¹Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures AS RUz

²Namangan Engineering Construction Institute

E-mail: ¹anvar.sayfullaevich@mail.ru, ²xakimov.sodiqjon@mail.ru

Abstract - In this article, the effect of seismic isolation on the stress-strain state of the multi-story building was studied. As an example five-story building on the rigidly fixed foundation, taking into account seismic isolation in the form of the rubber bearing support has been investigated. The numerical results of the stress-strain state with the solution of the spatial model of the building were obtained.

Key words - Dynamic characteristics, seismic isolation, stress, deformation, displacement, rubber bearing support, model, load-bearing structures, isofield of displacements, isofield of stresses.



ВЛИЯНИЕ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗДАНИЙ

А.С.Ювмитов¹, С.П.Хакимов²

¹Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз

²Наманганский инженерно-строительный институт

¹Email: anvar.sayfullaevich@mail.ru

²Email: hakimov.sodiqjon@mail.ru

Аннотация—В данной статье исследован вопрос влияния сейсмоизоляции на напряженно-деформированное состояние многоэтажного здания. В качестве примера исследовано пятиэтажное здание на жестко заделанном фундаменте и с учетом сейсмоизоляции в виде многослойной резинометаллической опоры. Получены численные результаты напряженно-деформированного состояния с решением пространственной модели здания.

Ключевые слова—Динамические характеристики, сейсмоизоляция, напряжение, деформация, перемещение, резинометаллическая опора, модель, несущие конструкции, изополя перемещений, изополя напряжений.

I Введение

Одним из наиболее перспективных методов активной сейсмозащиты является сейсмоизоляция сооружений, существенно снижающая сейсмическое воздействие на часть сооружения, расположенную выше фундамента, путем установки каких-либо систем или элементов между наземной частью сооружения и фундаментом [1-2].

Одним из направлений сейсмоизоляции, получившим широкое распространение в странах мира, является использование резинометаллических опор [3, 4], устанавливаемых между несущими конструкциями здания и фундамента. Первоначально такие опоры нашли широкое применение при конструировании сейсмостойких опор мостов, а затем и для сейсмоизоляции зданий [5]. Слоистые опоры состоят из попеременно чередующихся стальных листов и полимера. Для предотвращения чрезмерной осадки зданий под нагрузкой от собственного веса опоры вы-

полняют жесткими в вертикальной плоскости. В то же время они обладают малой жесткостью в горизонтальной плоскости (в 100 раз меньше ее жесткости в вертикальной плоскости), чтобы обеспечить возможность упругого бокового перемещения. Опоры обладают высокой прочностью при сжатии, растяжении и кручении благодаря упругим свойствам полимера (неопрен, фторопласт и др.). Срок службы опор, по данным авторов этой конструкции, достигает приблизительно 50 лет [6].

II Решение задачи

В данной статье рассмотрен вопрос влияния сейсмоизоляции на напряженно-деформированное состояние многоэтажного здания. В расчетах для исследования динамических характеристик с учетом эффекта гашения сейсмоизоляции составлена система уравнений колебаний на основе расчетной схемы в виде консольного упругого стержня со сосредоточенными массами, как показаны на рисунках 1-2.

В исследованиях проведены численные расчеты по решению задачи вынужденных колебаний плоской модели здания с учетом системы сейсмоизоляции при сейсмических воздействиях. Для решения задачи сначала были изучены влияния учета сейсмоизоляции на динамические характеристики здания по традиционной расчетной схеме, указанной на рисунках 1-2.

Система уравнений колебаний для пятиэтажного здания по расчетной схеме, указанной на рисунках 1 и 2 без учета и с учетом сейсмоизоляции, а также с учетом сейсмических внешних воздействий имеет

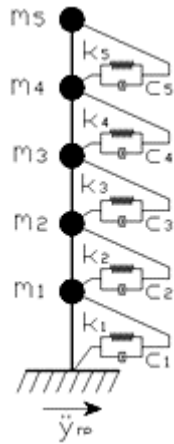


Рис. 1: Расчетная схема здания при жестком заземлении опоры

следующий вид [7]:

$$\begin{cases} m_n \ddot{y}_n + C_n (\dot{y}_n - \dot{y}_{n-1}) + k_n (y_n + y_{n-1}) = -m_n (\ddot{y}_{гр} + \ddot{S}) \\ m_{n-1} \ddot{y}_{n-1} - C_n (\dot{y}_n - \dot{y}_{n-1}) + C_{n-1} (\dot{y}_{n-1} - \dot{y}_{n-2}) - \\ - k_n (y_n - y_{n-1}) + k_{n-1} (y_{n-1} - y_{n-2}) = -m_{n-1} (\ddot{y}_{гр} + \ddot{S}) \\ \dots\dots\dots \\ m_2 \ddot{y}_2 - C_3 (\dot{y}_3 - \dot{y}_2) + C_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - \\ - k_3 (y_3 - y_2) + k_2 (y_2 - y_1) = -m_2 (\ddot{y}_{гр} + \ddot{S}) \\ m_1 \ddot{y}_1 - C_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + C_1 (\dot{y}_1 - \dot{y}_0) - \\ - k_2 (y_2 - y_1) + k_1 (y_1 - y_0) = -m_1 (\ddot{y}_{гр} + \ddot{S}) \\ M_{об} \ddot{S} = -M_{об} \ddot{y}_{гр} - F_{тр} - \sum_{i=1}^n m_i \ddot{y}_i \end{cases} \quad (1)$$

где: y_i - прогибы этажей; \dot{y}_i - скорости этажей; \ddot{y}_i - ускорения этажей; $y_{гр}$ - ускорения грунта основания; $k_i (i = 1, 2, 3, \dots, n - 1, n)$ - жесткости этажей на сдвиг; S - прогиб ростверка; m_i - массы этажей; $M_{об}$ - сумма масс этажей и ростверка; m_s - масса ростверка; C_i - коэффициенты вязкости этажей.

В системе уравнений сила сопротивления сейсмоизоляции принято по вязкоупругой модели Кельвина-Фойгта, которая приведена в [8].

Выражение для опоры с вязкоупругим свойством принимает следующий вид:

$$F_{тр} = c \cdot \dot{S} + k \cdot S \quad (2)$$

где: c - коэффициент сопротивления резинометаллической опоры, \dot{S} - скорость опоры, k - коэффициент жесткости упругого элемента сейсмоизоляции, S - смещение опоры.

III Исходные параметры здания

Для решения задачи в статье для численного решения системы уравнений (1) был составлен алгоритм и программы расчета на среде Borland Delphi 7 и решением системы получены численные результаты с учетом сейсмоизоляции по модели, указанной в (2).

Для дальнейших численных исследований здания с учетом сейсмоизоляции было выбрано пятиэтажное кирпичное здание при жестком заземлении и с учетом сейсмоизоляции. Подсчитанные массы и жесткости существующего кирпичного здания по проектным данным следующие: $m_1=698000$; $m_2=495000$; $m_3=495000$; $m_4=495000$; $m_5=368000$ Н·с²/м; $k_1=242,6 \cdot 10^8$; $k_2=16,08 \cdot 10^8$; $k_3=16,08 \cdot 10^8$; $k_4=16,08 \cdot 10^8$; $k_5=16,08 \cdot 10^8$ Н/м, $C_1=124,3 \cdot 10^5$ Н·с/м, $C_2=C_3=C_4=26,9 \cdot 10^5$ Нс/м, $C_5=23,24 \cdot 10^5$ Н·с/м.

При учете сейсмоизоляции параметры опоры были выбраны следующие: $m_s=237800$ Н·с²/м; $k=10^8$ Н/м,

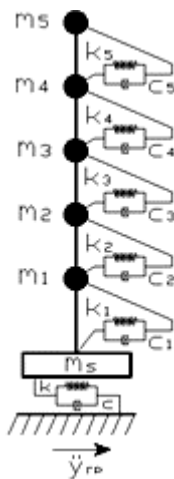


Рис. 2: Расчетная схема здания с учетом сейсмоизоляции по вязкоупругой модели



Рис. 3: Зависимость между смещением ростверка и интенсивностью землетрясений при низкочастотном колебании



Рис. 4: Зависимость между смещением ростверка и интенсивностью землетрясений при высокочастотном колебании

$\eta=0,5$ с. (здесь $\eta=\frac{\xi}{k}$ - коэффициент вязкости опоры, - коэффициент сопротивления опоры, k - коэффициент жесткости опоры). В расчетах сейсмические воздействия принято в виде затухающего ускорения [9]

$$\ddot{y}(t) = Ae^{-\alpha t} \sin \frac{2\pi}{T} t \quad (3)$$

где: A амплитуда ускорения грунта основания, которая в расчетах принята для интенсивности 9 баллов - $0,4g$, 8 баллов - $0,2g$ и 7 баллов - $0,1g$ ($g = 9,81$ м/с²), α - затухание грунта, в расчетах принято значения $\alpha=0,15$; T - период колебания грунта, в расчетах для низкочастотных колебаний принято значение $T=0,5$ с, а для высокочастотных колебаний принято значение $T=0,2$ с.

IV Результаты расчета

На основании проведенных численных расчетов здания при наличии и отсутствии сейсмоизоляции в зависимости от частоты колебаний грунта построены зависимости между смещением ростверка и интенсивностью сейсмического воздействия (см. рисунок 3-4).

При сопоставлении численных результатов расчетов пятиэтажного кирпичного здания при сейсмических воздействиях различного частотного спектра и интенсивности колебаний грунта основания установлено, что смещение здания с учетом сейсмоизоляции при низкочастотном колебании грунта относительно жесткого основания уменьшается незначительно, в при высокочастотном колебании уменьшается в несколько раз по сравнению с жестким основанием.

В результате расчета установлено, что при низкочастотном колебании сейсмоизоляция уменьшает ин-

тенсивность $0,25$ балл, а при высокочастотном колебании на $1,5$ балла и выше.

Для исследования влияния сейсмоизоляции на напряженное состояние пространственной модели здания использован пакет программы Лира Софт 9.6. В исходные данные при расчете здания эффект сейсмоизоляции был учтен через коэффициента сейсмичности строительной площадки. Зависимость коэффициента сейсмичности строительной площадки с ускорением грунта основания в нормативном документе [9] указана в таблице 2.7.

Известно, что для грунтов II категории по сейсмическим свойствам (таблица 1.4) фиксированные ускорения по каждому баллу составляют: 7 баллов - 1 м/с² ($0,1g$); 8 баллов - 2 м/с² ($0,2g$); 9 баллов - 4 м/с² ($0,4g$); >9 баллов - $5,6$ м/с² ($0,56g$); 9* баллов - 8 м/с² ($0,8g$). Таблица 1. Зависимость коэффициента сейсмичности строительной площадки с ускорением грунта основания

Коэффициент сейсмичности строительной площадки при интенсивности 9 балл составляет $\alpha=1$ по таблице 2.7 КМК 2.01.03-2019. При учете уменьшения интенсивности после установки сейсмоизоляции коэффициент сейсмичности строительной площадки будет равен на $\alpha=0,15g/0,4g=0,375$. В результате расчета системы уравнений (1) установлено, что декремент затухания колебания без учета сейсмоизоляции составляет $\beta=0,121$, а с учетом сейсмоизоляции: $\beta=0,154$.

Остальные исходные данные здания и строительной площадки по КМК 2.01.03-2019 приведены в таблице 2.

При строительстве здания использован кирпич марки М 75 и раствор марки М 50. Категория кладки на основе прочностных характеристик кладки по

Сейсмичность площадки строительства, баллов	7	8	9	>9	9*
Коэффициент сейсмичности по КМК 2.01.03-2019	0,25	0,5	1	1,4	2
$a=\alpha \cdot 0,4g$, где a – ускорение грунта основания	0,1g	0,2g	0,4g	0,56g	0,8g

Таблица. 1: Зависимость коэффициента сейсмичности строительной площадки с ускорением грунта основания

№	Наименование расчетных показателей	Коэффициент
1.	Количество учитываемых форм колебаний	10
2.	Матрица масс	Диагональная
3.	Поправочный коэффициент для сейсмических сил	1
4.	Коэффициент ответственности сооружения, (КМК 2.01.03-2019, табл. 2.3)	1
5.	Коэффициент учета повторяемости землетрясений, (КМК 2.01.03-2019, табл.2.4)	1
6.	Коэффициент этажности сооружения, (КМК 2.01.03-2019, табл.2.10)	1
7.	Коэффициент регулярности, п.2.25 (КМК 2.01.03-2019, табл. 2.12)	1
8.	Индекс региона, (КМК 2.01.03-2019, табл. 2.2)	II
9.	Категория грунта, табл. 1.1 (КМК 2.01.03-2019, табл.1.1)	II

Таблица. 2: Исходные данные здания

КМК 2.01.03-2019 составляла II с временным расчетным сопротивлением на осевое растяжение по неперевязанным швам (нормальное сцепление): $1,2 \text{ кгс/см}^2$ $R_{tb} < 1,8 \text{ кгс/см}^2$.

В результате расчета по полученным коэффициентам кирпичной кладки модуль упругости составляет $E_0 = 1000 \cdot 2 \cdot 13 = 26000 \text{ кгс/см}^2$, коэффициент Пуассона кирпичной кладки составляет $\mu = 0,25$, а также удельный вес кирпичной кладки составляет $\gamma = 1800 \text{ кгс/м}^3$. Для бетонных изделий получены следующие механические свойства $E = 300000 \text{ кгс/см}^2$, коэффициент Пуассона составляет $\mu = 0,2$, а также удельный вес бетонного изделия составляет $\gamma = 2500 \text{ кгс/м}^3$. Сбор нагрузок для исследуемого здания с учетом всех требований нормативного документа [9] осуществляется в следующем порядке.

При сборе внешних нагрузок получены всего 6 нагрузений, в том числе два сейсмические, соответствующие в поперечном X и продольном Y направлении.

Поверочный расчет здания выполнен на основное и особое сочетание нагрузок.

Загрузка 1. Постоянные нагрузки (собственный вес здания задается автоматически с коэффициентом надежности $\gamma_f = 1,1$)

Загрузка 2. Постоянные нагрузки, круглые многослойные плиты, покрытия, перекрытия, утеплитель, пол, перегородка, волнистый асбестовый шифер, сплошные прогоны (см. табл. 2).

Загрузка 3. Длительная – полезная нагрузка (с

коэффициентом надежности $\gamma_f = 1,3$ по [9] см. пункт 3.10-3.11).

Загрузка 4. Кратковременная нагрузка – снег (с коэффициентом надежности $\gamma_f = 1,4$ по [9] см. пункт 5.7).

Загрузки 5 и 6. Сейсмическая интенсивность колебания по X и Y соответственно – 9 баллов.

Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния здания с помощью программы Лира Софт в поперечном направлении сейсмического воздействия без учета и с учетом влияния сейсмоизоляции приведены ниже в виде изополии (см. рисунок 5-10). Построены и сопоставлены изополии перемещений, эквивалентных растягивающих и сжимающих напряжений в стенах кирпичного здания без учета и с учетом сейсмоизоляции.

V Анализ результатов и заключения

Анализ полученных численных результатов показывает, что установка сейсмоизоляции в основании здания существенно влияет на характер его колебания при сейсмических воздействиях в зависимости от их частотного спектра. При низкочастотном колебании грунта сейсмоизоляция уменьшает сейсмическое воздействие до одного балла, а при высокочастотном воздействии уменьшает его в несколько раз по сравнению с жестким основанием.

По расчетным схемам при установке сейсмоизоляция

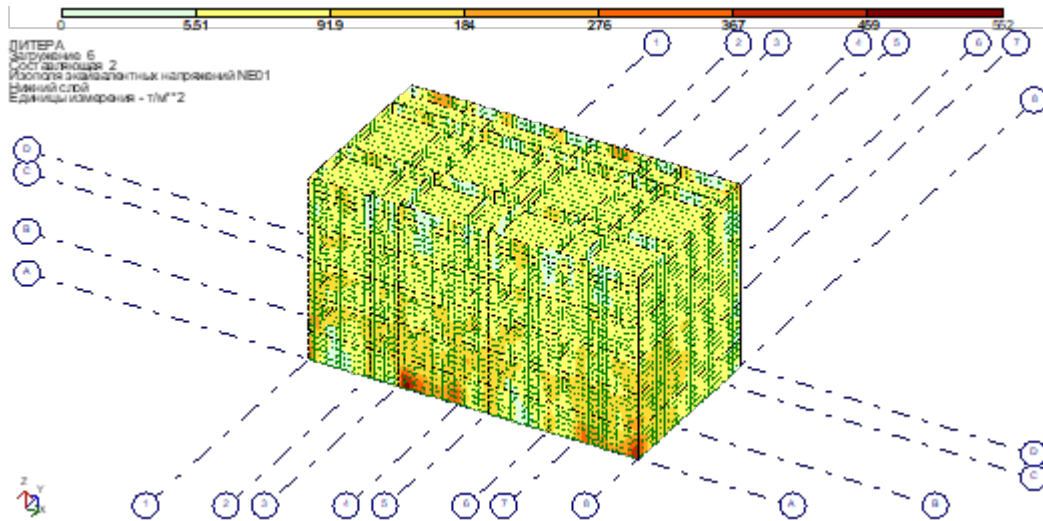


Рис. 5: Изополю эквивалентных напряжений при растяжении стен здания с жестким защемлением основания

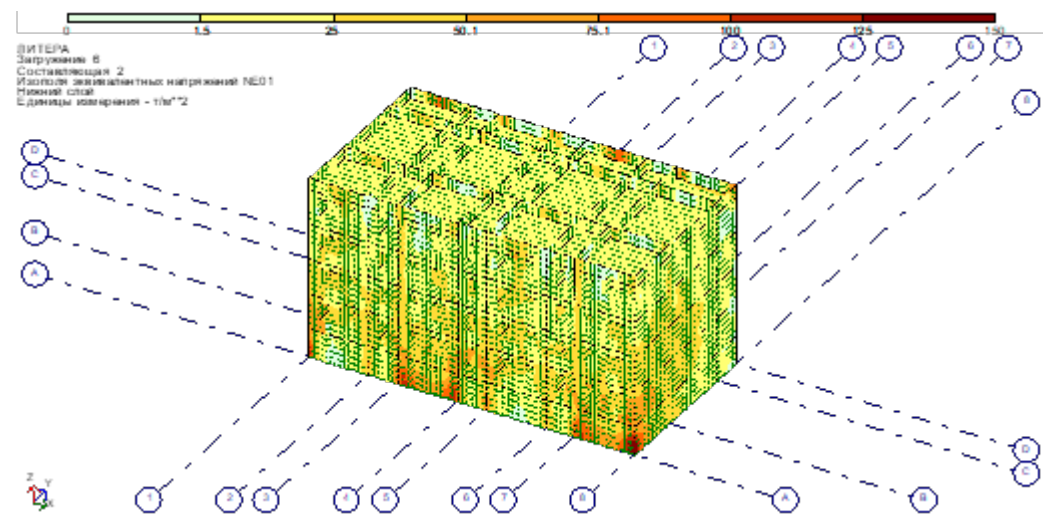


Рис. 6: Изополю эквивалентных напряжений при растяжении стен здания с учетом сейсмоизоляции основания

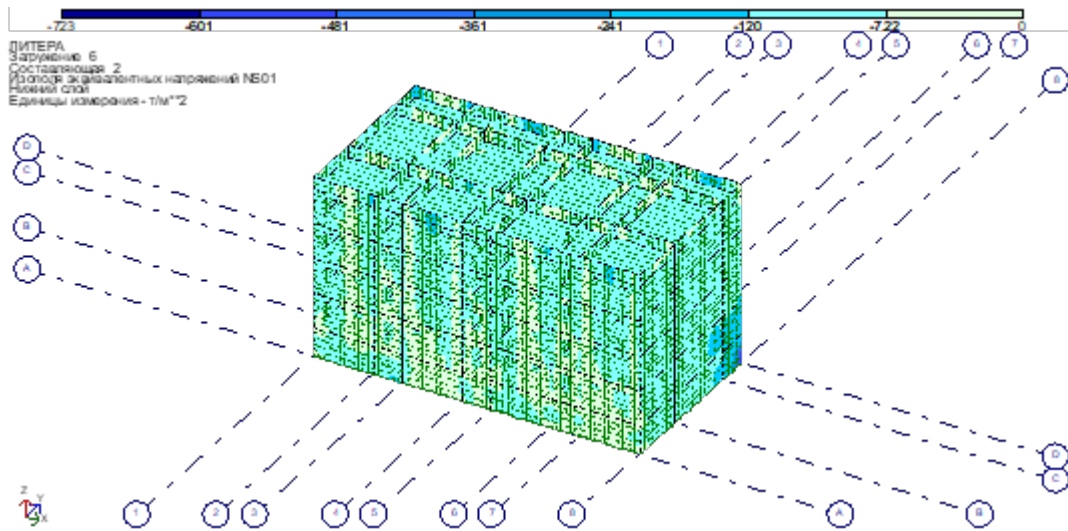


Рис. 7: Изополюс эквивалентных напряжений при сжатии стен здания с жестким защемлением основания

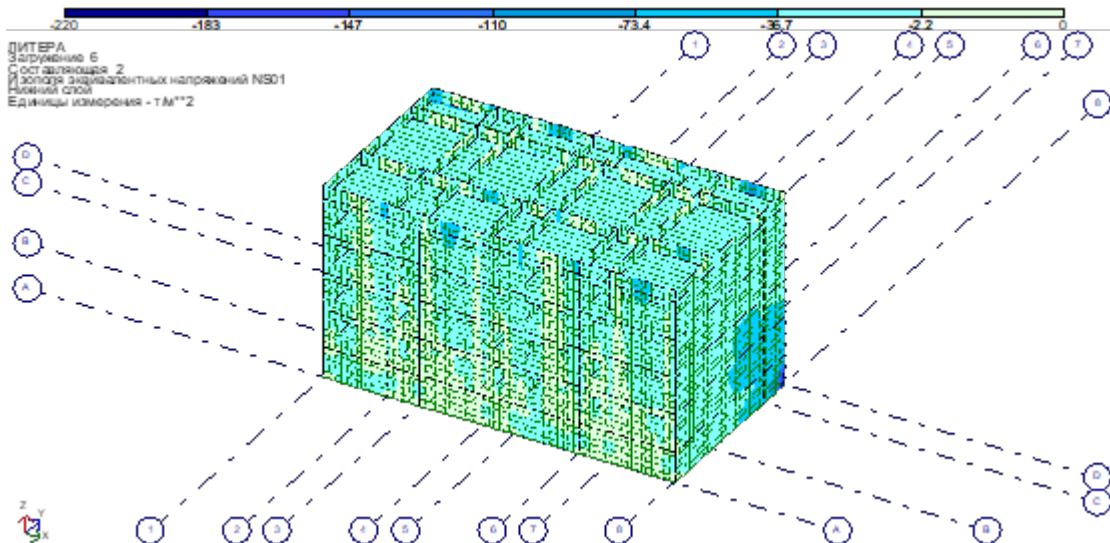


Рис. 8: Изополюс эквивалентных напряжений при сжатии стен здания с учетом сейсмоизоляции основания

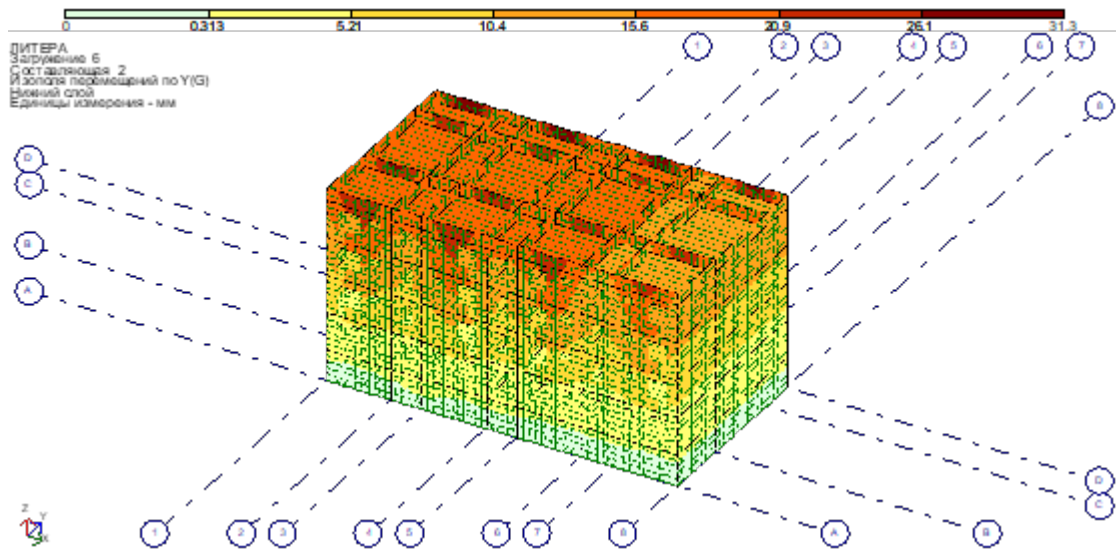


Рис. 9: Изополюса перемещений стен здания по направлению Y при жестком защемлении основания

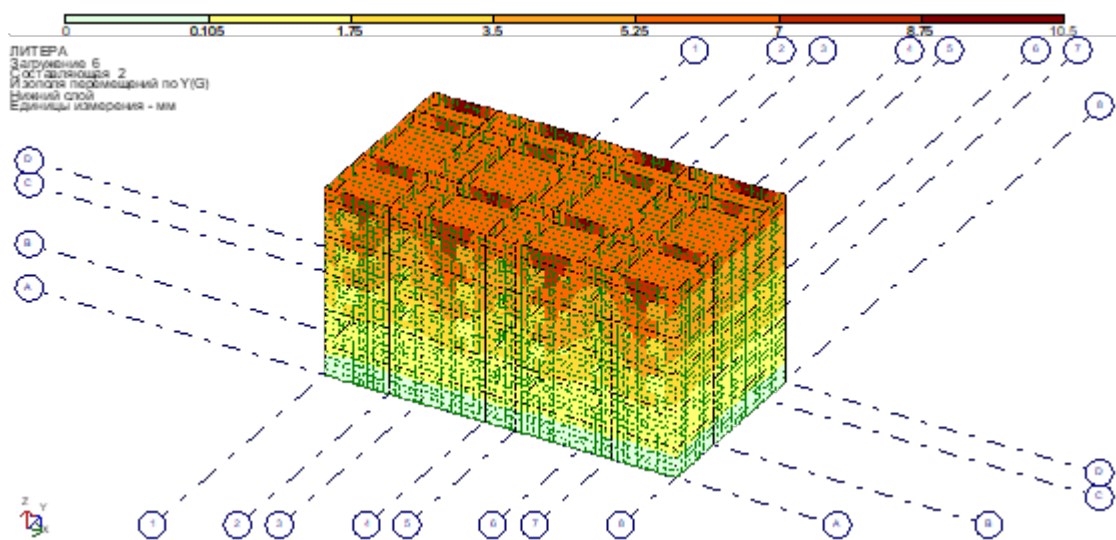


Рис. 10: Изополюса перемещений стен здания по направлению Y с учетом сейсмоизоляции основания

ции, ростверка служит основанием для верхних этажей, а при жестком защемлении здания, фундамент с грунтом служат основанием и имеют одинаковое смещение. В расчетах эффект сейсмоизоляции был оценен при вязкоупругой модели основания здания в зависимости от изменения значений смещения грунтового основания по шкале сейсмической интенсивности колебания грунта при землетрясениях.

Изменение коэффициента вязкости от 0 до 1 при постоянном значении коэффициента жесткости $k=10^8$ Н/м показал, что самое рациональное значение смещения ростверка здания со сейсмоизоляцией получилось при учете коэффициента вязкости равным $\eta=0.5$ по сравнению остальных значений.

В результате расчетов установлено, что наибольшее растягивающее напряжение в стенах здания на жестком основании при сейсмическом воздействии в поперечном направлении интенсивностью 9 баллов достигалось до $55,2 \cdot 10^5$ Н/м². При учете сейсмоизоляции здания максимальное значение напряжения уменьшалось до $15 \cdot 10^5$ Н/м².

Значение наибольшего напряжения при сжатии стен здания при жестком защемлении фундамента с грунтом основания достигалось до $72,3 \cdot 10^5$ Н/м², а при учете сейсмоизоляции наибольшее значение напряжения уменьшалось до $22 \cdot 10^5$ Н/м².

Значение наибольшего значения перемещения этажей здания в поперечном направлении при жестком защемлении фундамента с грунтом основания достигалось до 31,3 мм, а при учете сейсмоизоляции здания наибольшее значение перемещения уменьшалось до 10,5 мм.

В результате анализа исследований установлено, что применение сейсмоизоляции существенно влияет на напряженно-деформированное состояние здания, которое требует перед применением глубокого анализа динамических характеристик здания и подбора соответствующих параметров сейсмоизоляции с учетом сейсмических воздействий различного частотного спектра и интенсивности колебаний грунта.

Список литературы

- [1] Anil K. Chopra. Dynamics of structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering. Fourth Edition. Prentice Hall. - 980 pp.
- [2] Ayzenberg Ya.M. Seismoizolyatsiya i adaptivnye sistemy seysmozashchity. - M.: Nauka, 1983. -139 c.
- [3] Rashidov T.R., Shamsiev U.Sh., Musheev R.N., Bovshover A.Z. Seysmodinamika prostranstvennykh sistem. Tashkent:Fan, 1992, - 152 s.
- [4] Andrew Ciesielski. An Introduction to Rubber Technology. Rapra Technology Ltd. Printed Redwood Books Limited. 2000. - 177 pp.
- [5] Jonathan. W. Martin. Long Term Performance of Rubber in Seismic and Non-Seismic Bearings: A Literature Review. U.S. Department of Commerce National Institute of Standards and Technology. 1991. - 32 pp.
- [6] Rekomendatsii po proektirovaniyu zdaniy s seysmoizoliruyushimim skolzyashim pojasom i dinamicheskimi gasitelyami kolebaniy / SNIISK im. Kucherenko, NIIOSP im. Gersevanova. - M.: SNIISK im.Kucherenko. 1985. - 55 s.
- [7] Rjanitsin A.R. Teoriya polzuchesti. – M.: Stroyizdat, 1968. - С.418.
- [8] КМК 2.01.03-2019. "Stroitelstvo v seysmicheskix rayonax". Izmenenie №3. Tashkent. Ministerstvo stroitelstva RUz, 2019. - 111 s.
- [9] КМК 2.01.07-2019. "Nagruzki i vozdeystviya". Minstroy RUz. – Tashkent, 2019. - 125 s.