

**РОЗЕНВАССЕР
ГРИГОРИЙ РУВИНОВИЧ**

Кандидат технических наук, действительный член Международного общества по механике грунтов и геотехнике, Действительный член Академии строительства Украины, заведующий научно-исследовательским отделом зданий и подземных сооружений в сложных геотехнических условиях ДП «Донецкий Промстройниипроект».

Основные направления деятельности – механика подземных сооружений, строительные конструкции зданий и сооружений в сложных геотехнических условиях.

Автор более 150 научных трудов.

E-mail: gir.dptm@mail.ru

**ТОКОВЕНКО
ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ**

Член-корреспондент Академии строительства Украины, главный специалист научно-исследовательского отдела зданий и подземных сооружений в сложных геотехнических условиях ДП «Донецкий Промстройниипроект».

Основные направления деятельности – механика грунтов, строительные конструкции, расчеты железобетонных и металлических конструкций.

Автор более 25 научных трудов..

E-mail: gir.dptm@mail.ru

ЖИГАРЕВ ВЛАДИМИР ЕВГЕНЬЕВИЧ

Кандидат технических наук, заведующий научно-исследовательским отделом ДП «Донецкий Промстройниипроект»

Основные направления деятельности – механика подземных сооружений, строительные конструкции зданий и сооружений в сложных геотехнических условиях.

Автор более 50 научных трудов.

E-mail: gir.dptm@mail.ru

МАЛИКОВ СТАНИСЛАВ ВЛАДИМИРОВИЧ

Директор ДП «Донецкий Промстройниипроект».

Основные направления деятельности – механика подземных сооружений, строительные конструкции зданий и сооружений в сложных геотехнических условиях.

Автор более 30 научных работ.

E-mail: gir.dptm@mail.ru

УДК 624.1

ЗАЩИТА ФУНДАМЕНТНОЙ ЧАСТИ ОБЪЕКТОВ ЦЕМЕНТНОГО ЗАВОДА В АР КРЫМ (УКРАИНА) НА ИСКУССТВЕННОМ ПРОЧНОМ ОСНОВАНИИ, ПОДВЕРЖЕННОМ ДИНАМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Ключевые слова: цементный завод, фундаменты сооружений, искусственные прочные грунты основания, динамические воздействия, сейсмоизоляция

Изложена концепция устройства фундаментов на искусственных прочных грунтовых основаниях, подверженных динамическим воздействиям вследствие сейсмической активности территории строительства. Введенные мероприятия обеспечивают адекватное взаимодействие основания и фундаментов, а также геотехническую и конструктивную безопасность со снижением сейсмических воздействий на объекты, в частности, сооружение теплообменника, не менее чем на один балл.

Викладена концепція улаштування фундаментів на штучних міцних ґрунтових основах, підданих динамічним впливам внаслідок сейсмічної активності території будівництва. Уведені заходи забезпечують адекватну взаємодію основи й фундаментів, а також геотехнічну й конструктивну безпеку зі зниженням сейсмічних впливів на об'єкти, зокрема, спорудження теплообмінника, не менш ніж на один бал.

It contains the strategy of foundation arrangement on the artificial firm foundation soil base effected by dynamic loading due to the Site earthquake activity. The measures implemented ensure adequate foundation-base interaction as well as geotechnical and structural safety along with reduction of the seismic loading for the facilities (in particular, pre-heater) by no less than 1 point.

1 ОБЩИЕ ДАННЫЕ

В центральной части площадки цементного завода расположены две идентичные линии по производству цемента, где происходит подготовка, обработка, обжиг и охлаждение цементного клинкера.

Отбор и анализ объектов, подлежащих научно-техническому сопровождению (НТС), проводился по основным критериям: отсутствие регламентации в действующих нормах и стандартах и отсутствие достаточно опыта или прямых аналогов в отечественной и мировой практике; соответствие технических характеристик объектов данным, приведенным в [1].

В состав объектов цементного завода, соответствующих этим критериям, входят (рисунок 1):

- железобетонные каркасы (этажерки) теплообменников;
- железобетонные силосные склады цемента;
- металлический каркас усреднительного склада основного сырья.



Рис. 1 Общий вид цементного завода..

Эти объекты отнесены к нестандартным, поскольку выходят за рамки требований норм в отношении геометрических размеров, аэродинамических параметров, влияния сейсмических нагрузок и др. Все остальные сооружения комплекса отнесены к стандартным, меры сейсмозащиты которых могут быть спроектированы по требованиям норм.

В настоящем докладе приведены результаты исследований по зданию теплообменника.

Вскрытые при производстве изысканий грунты разделены на семь инженерно-геологических элементов (ИГЭ) с учетом их возраста, происхождения, текстурно-структурных особенностей и пространственной изменчивости характеристик. Инженерно-геологические условия площадки строительства осложнены: наличием грунтов ИГЭ-2, ИГЭ-4 общей мощностью ~ 5м, которые при замачивании обладают просадочными свойствами (*I_{тпн}*). Кроме того, ИГЭ-4 представлен слабыми грунтами, которые при водонасыщении переходят в текучее состояние.

Основанием фундаментов могут служить грунты, начиная с ИГЭ-5 со следующими характеристиками: $\gamma_{II}=18,15\text{кН/м}^3$; $\varphi_{II}=17...19^\circ$; $c_{II}=12...19\text{кПа}$; $E=15-17\text{МПа}$; $I_L<0...0,57$.

Подземные воды при бурении скважин встречены на глубине 10,4м; с большей глубины отмечено залегание переувлажненных грунтов; свободной воды не зафиксировано.

Согласно [2] площадка строительства по карте ОСР 2004-А относится к зоне интенсивности сотрясений $J_p=8$ баллов по шкале MSK-64.

2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

НТС нестандартных объектов цементного завода предназначалось для разработки и реализации концепции их защиты от неблагоприятных геотехнических проявлений-эпизодические нагрузки в виде сейсмических воздействий [3,4] и влияния просадочных грунтов основания [5].

Поставлена задача обеспечить геотехническую и конструктивную безопасность этих объектов - ключевые моменты их проектирования, строительства и эксплуатации, связанные со снижением сейсмических воздействий, тем самым решить возможные проблемы на разных этапах жизненного цикла строительного объекта.

3 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

При строительстве зданий в сейсмических районах находит все большее применение активный способ сейсмозащиты, который предусматривает снижение сейсмических нагрузок на сооружения за счет регулирования их динамических характеристик таким образом, чтобы избежать резонансного увеличения амплитуд колебаний. Это достигается соответствующим выбором динамической жесткости и соответственно частот (периодов) собственных колебаний сооружения. Эффективное изменение этих параметров связано с введением в объекты специальных конструктивных устройств сейсмозащиты.

Мировая практика сейсмоизоляции фундаментов зданий, сооружений предусматривает применение различных демпферных устройств, частично поглощающих энергию сейсмических колебаний [6].

В работе [7] приведены результаты численных исследований наиболее изученных сейсмоизолирующих систем. Оценка их эффективности работы сейсмоизолирующих демпферов проводилась по следующим параметрам: Q , кН – поперечная сила; ΣW , кДж – суммарная энергия неупругих деформаций; W_{max} , кДж – максимальная энергия неупругих деформаций; \ddot{y} , см/с² – ускорение системы (таблица 1).

Таблица 1
Сравнительная эффективность различных систем сейсмоизоляции

Параметры	Безсейсмоизоляции	Пружинные демпферы	Пружины – вязкие демпферы	Резино-металлические демпферы	Демпферы сухого трения	Гистерезисные демпферы
Q	3037	3113	2724	2884	2895	2192
ΣW	82,8	60,2	15,7	31,8	68,6	10,9
W_{max}	12,3	14,7	5,7	8,6	8,7	1,2
\ddot{y}	6,8	8,0	5,5	5,1	6,8	4,8

Как видно, наиболее эффективной сейсмоизолирующей системой являются гистерезисные демпферы, которые снижают поперечные силы в ~1,4 раза; суммарную энергию неупругих деформаций в ~7,5 раз; максимальную энергию неупругих деформаций в ~10 раз; ускорение системы в ~1,4 раза. Гистерезисное поглощение энергии сейсмических колебаний происходит за счет отставания реакции тела от вызывающих её причин.

Эффективность применения того или иного фундамента с целью уменьшения горизонтальной динамической составляющей сейсмического воздействия наглядно иллюстрирует график на рисунке 2 (по исследованиям S. Naaseh & E. Elsesser (USA), где показаны реакции здания с «фиксированным фундаментом» (без мер сейсмозащиты) и с «изолированным фундаментом» (с мерами сейсмозащиты).

При «фиксированном фундаменте» (условно, более жестком – вариант 1 и менее жестком – вариант 2), устойчивость здания обеспечена в интервале $T=0,7...1,0$ с и смещениях ~7,2см. Однако эти условия невыгодны для здания, поскольку при малых периодах колебаний горизонтальная сила значительна (~0,6...0,45g) и вероятность выйти из области устойчивости велика. В то же время при «изолированном фундаменте» уровень горизонтальных нагрузок значительно ниже (~0,2g), а периоды колебаний – $T=2,0...3,0$ с с большими равномерными смещениями, обеспечивают устойчивость здания.

Мировая практика повышения сейсмостойкости строящихся объектов показывает, что наиболее доступны эффективные способы для частичной компенсации горизонтальных нагрузок – устройство защитных экранов вокруг сооружений, которые за счет свойств материала экрана и его формы отражают и поглощают энергию сейсмического воздействия. Проходящие сейсмические волны, возникающие с внутренней стороны экранов, незначительно гасятся в массиве грунта, расположенном между экраном и фундаментом сооружения, и, достигая фундамента, воздействуют на него в виде бокового динамического давления, иногда приводящего к разрушительным последствиям [8].

В случае устройства свайных фундаментов упруго-пластические деформации фундаментных роствер-

ков демпфируют опрокидывающий момент, действующий на сооружение. Свайный фундамент только частично обеспечивает защиту сооружения в основном от горизонтальных сейсмических воздействий. Вертикальная составляющая, неизбежно присутствующая при землетрясении, лишь незначительно гасится эластопластическими демпферами (швами скольжения) горизонтальных нагрузок и воздействует на сооружение в виде динамических вертикальных нагрузок. К настоящему времени для компенсации вертикальных нагрузок специальные способы практически отсутствуют.

К материалам, частично поглощающим колебания, имеющим низкий модуль сдвига и обладающим малой акустической жесткостью, относятся:

- пена, жидкие глины, гели, коллоидные жидкости и т.п.;
- гранулированный шлак, щебень, песчано-гравийные смеси, отходы пенопласта, пески крупнозернистые и средней крупности, антисептированные древесные опилки и т.п.;
- пустотелые замкнутые упругие элементы.

Уменьшение горизонтальных нагрузок происходит за счет частичного поглощения энергии сейсмических волн демпфирующим материалом. Однако предполагать, что в конкретном регионе преобладают землетрясения с определенными доминантными частотами, не приходится [9].

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поставлена и решена новая задача по частичной компенсации вертикальной составляющей сейсмического воздействия на фундамент сооружения. Предложено устройство контурных анкеров трения по рисункам 3, 4, верхняя часть которых шарнирно соединена с фундаментом и находится в подушке из материала с выраженными гистерезисными свойствами. При этом высота подушки $H=0,12...0,15L$, где L – длина заглубленной части анкера,

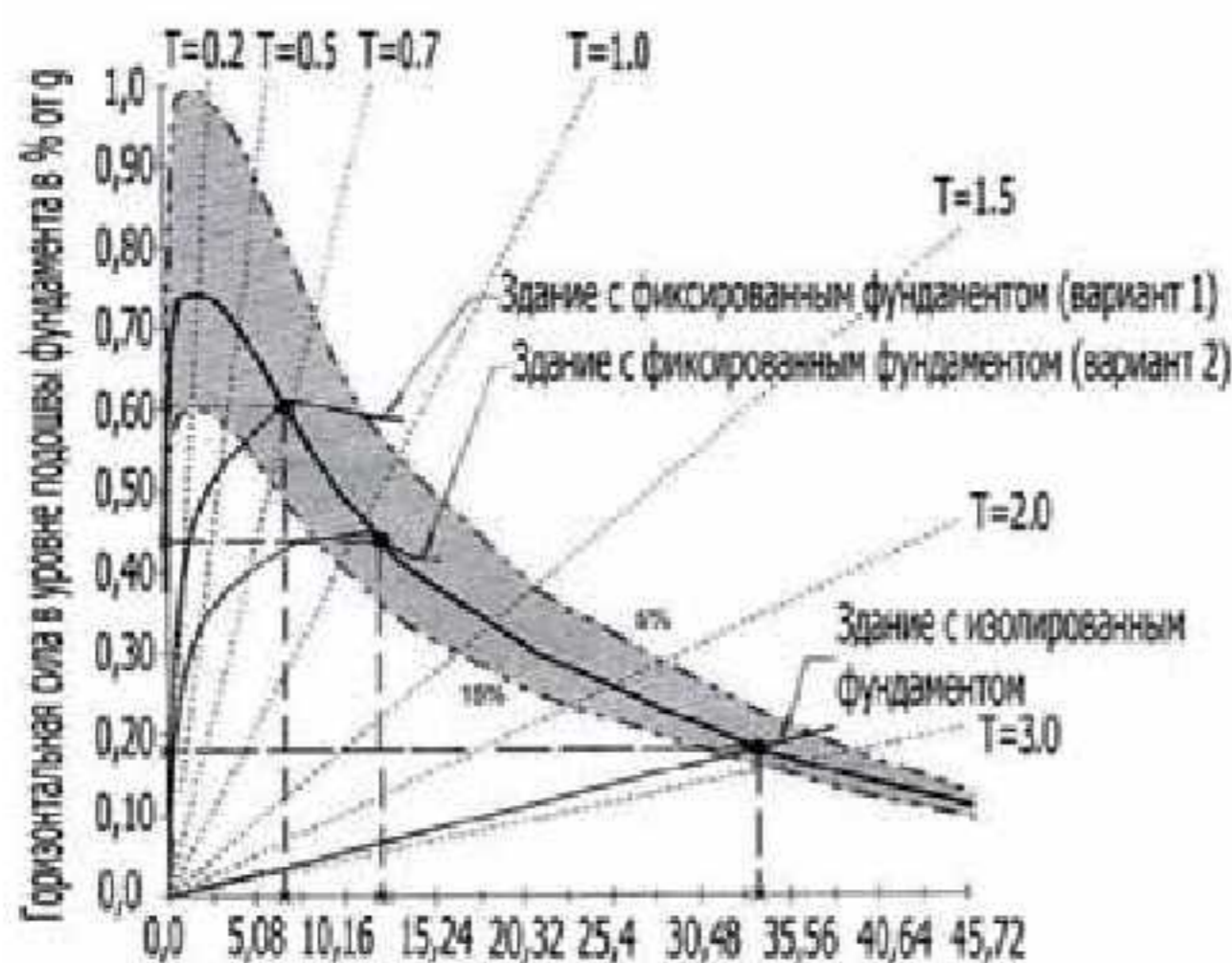


Рис. 2 Реакции здания с фиксированным и изолированным фундаментом: ■■■ – область доверительных интервалов устойчивости здания при землетрясении; T – период колебаний, с.

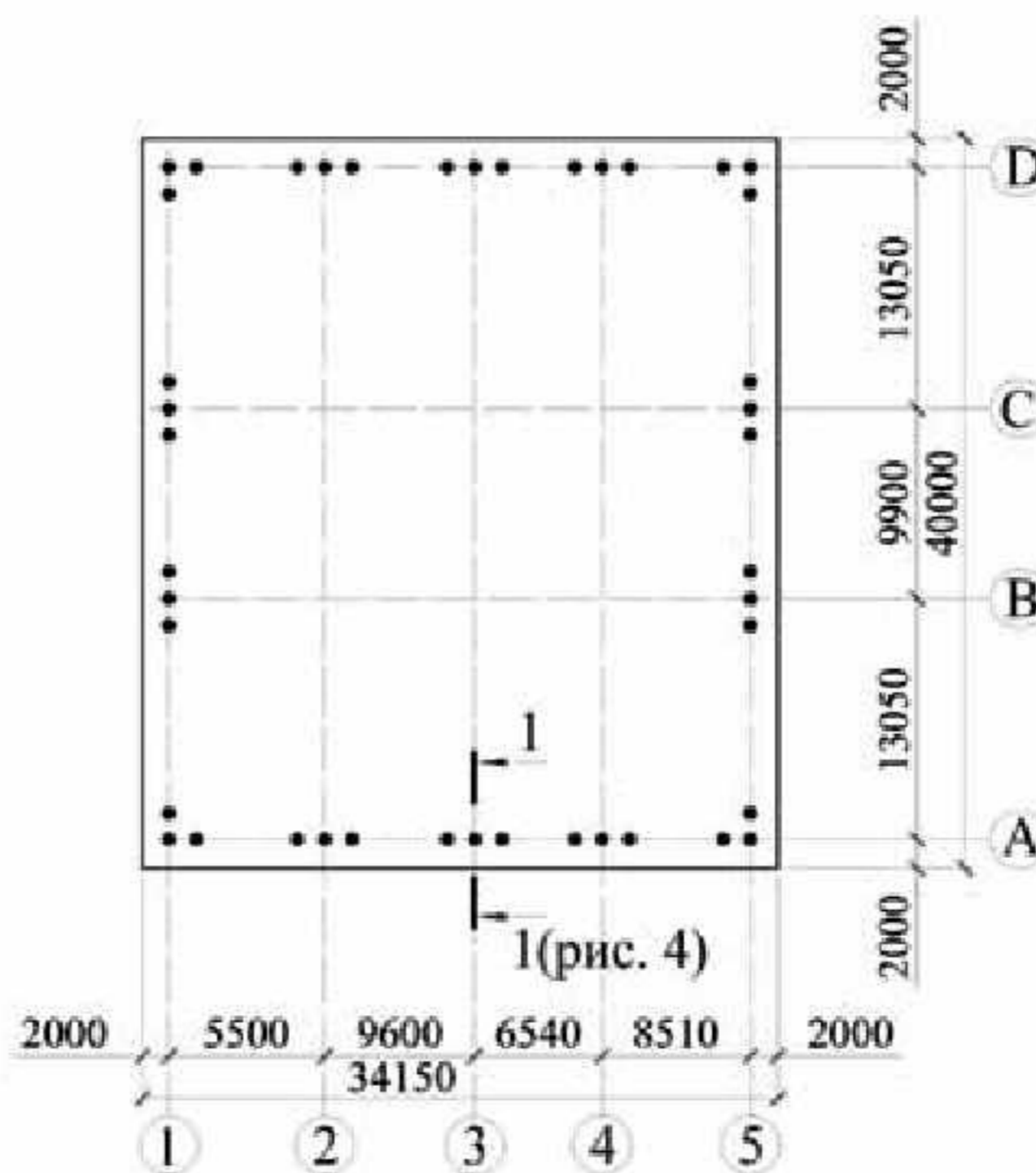


Рис. 3 Схема расположения контурных анкеров трения.

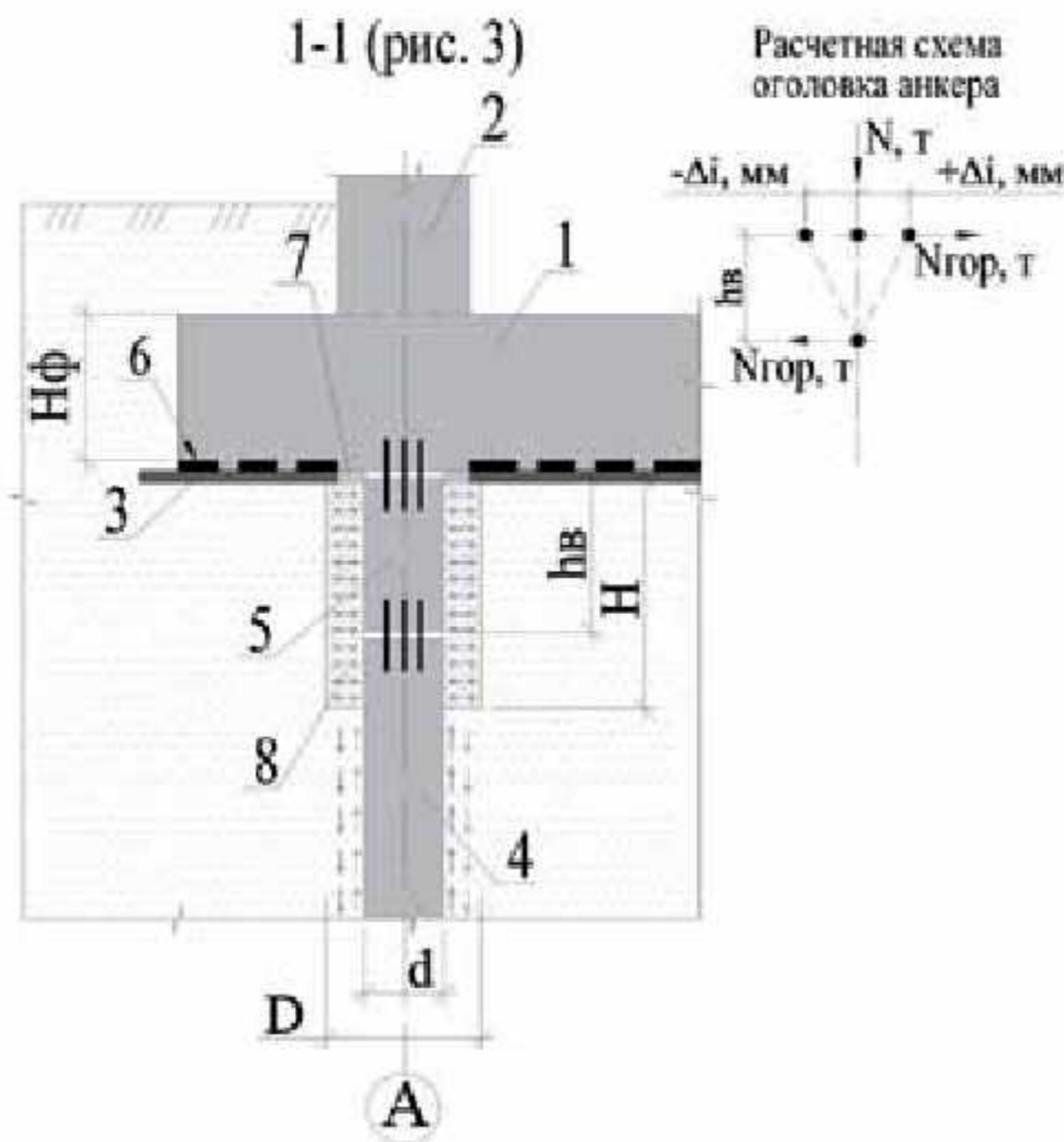


Рис. 4 Система изоляции фундамента от вертикальной составляющей сейсмической нагрузки: 1 – фундаментная плита; 2 – колонна каркаса; 3 – бетонная подготовка – топографический слой; 4 – контурный анкер трения; 5 – шарнирно-подвижная вставка; 6 – шов скольжения–демпфер сухого трения; 7 – антисейсмический деформационный шов-демпфер вязкого трения; 8 – заполнение упруго-вязким материалом.

а диаметр подушки $D=1,5...2,0d$, где d – диаметр анкера. Эти соотношения выбраны из соображений сохранения несущих свойств анкеров и обеспечения эффективности горизонтального демпфирования в шве скольжения.

Контурные анкера трения, взаимодействуя по поверхностям с грунтом, испытывают неравномерные знакопеременные деформации «вдавливания-выдергивания», вызывающие крен сооружения [10].

За счет проявления гистерезисного эффекта в окрестности анкера происходит частичное поглощение энергии колебательного процесса и, как следствие, уменьшение вертикальной составляющей сейсмического воздействия на фундамент сооружения. Иными словами, гистерезисное поглощение сейсмической энергии происходит за счет отставания реакции фундамента от вызывающих ее причин.

Этот эффект может реализоваться при устройстве только контурных анкеров трения, поскольку возможный односторонний отрыв (выдергивание) фундамента гарантировано обеспечивает возвращение анкеров в исходное положение из-за существенного повышения нагрузок вдавливания.

Таким образом, защита сооружения от землетрясения по описанным предложениям реализуется путем частичного поглощения энергии как горизонтальных, так и вертикальных составляющих сейсмических воздействий конструктивными элементами фундамента, что повышает сейсмическую безопасность сооружения в целом.

На примере этажерки теплообменника высотой свыше 100м рассмотрены условия недопущения возможного его опрокидывания при аварийном сочетании нагрузок.

Таблица 2
Результаты расчетов на опрокидывание фундаментов.

№	Варианты фундаментов	Размеры в плане, м $l \times b$	Коэффициент запаса, $K_{зап}$	Критерий устойчивости, $[K_{зап}]$
1	Плитный на естественном основании	40 x 34	0,9 <	[1,2]
2	Плитный с контурным и анкерами трения	40 x 34	13,5 >>	
3	Плитный на естественном основании	47 x 45	1,67 >	

В таблице 2 приведены результаты расчетов. Обращают на себя внимание результаты по п.2, где коэффициент запаса многократно превышает критерий устойчивости.

Однако здесь установка контурных анкеров трения в отличие от результатов по п.3 обладает рядом важнейших преимуществ:

- сохранение исходного генплана, что в крайне стесненных условиях площадки строительства исключает совмещение фундаментов примыкающих объектов, а также уменьшает вес сооружения;

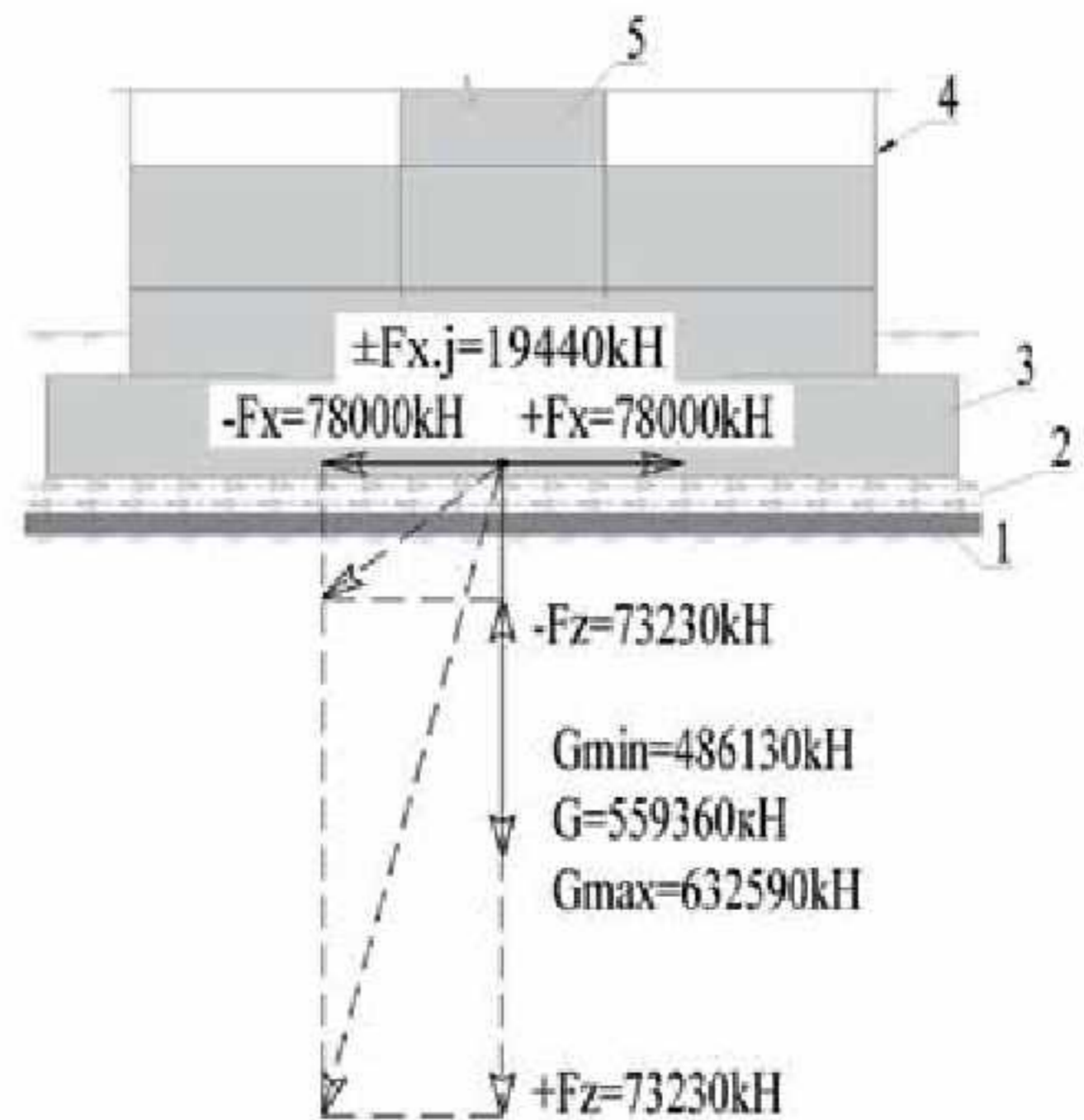


Рис. 5 Кинематика сейсмических нагрузок:

- 1 – бетонная подготовка – топографический слой; 2 – шов скольжения;
- 3 – фундаментная плита; 4 – каркас; 5 – диафрагмы жесткости.

- обеспечение работоспособности шва скольжения между подошвой фундамента и бетонной подготовкой – топографическим слоем за счет (рисунок 5)

Превышения горизонтальной составляющей сейсмического воздействия ($\pm F_x$) над сопротивлением в шве скольжения ($\pm F_{x,c}$):

- $\pm F_x = 78000 \text{ кН} > \pm F_{x,c} = 72920 \text{ кН}$ и существенного снижения усилия в шве скольжения ($\pm F_{x,u}$) после сдвига фундамента $\pm F_{x,c} = 72920 \text{ кН} > \pm F_{x,u} = 19440 \text{ кН}$;
- уменьшение среднего напряжения под подошвой фундамента до расчетного;
- компенсация частичная вертикальной составляющей сейсмического воздействия за счет гистерезисного эффекта, проявляющегося в контурных анкерах трения;
- существенное снижение материалоемкости и стоимости сейсмоизоляции и сейсмостойкости.

5 РЕКОМЕНДАЦИИ К СТРОИТЕЛЬСТВУ

Численные исследования мероприятий по сейсмоизоляции фундаментов и сейсмостойкости каркаса сооружений, выполнены по программе Scad 11.3 (SCAD Group, г.Киев; <http://www.scadgroup.com>; сертификат соответствия РОСС RU.СП.11.Н00083). Варианты исходных данных для пространственных расчетов систем «основание–фундамент–каркас» включали последовательно рассмотренные конструктивные решения по сейсмоизоляции фундамента: устройство экрана; устройство шва скольжения (демпфера сухого трения); устройство контурных анкеров трения ($\varnothing 800 \text{ мм}$ с заглубленной частью ~17м в количестве 42шт.); расположение вертикальных диафрагм жесткости на всю высоту сооружения и др. Эти мероприятия были направлены на создание «изолированного фундамента» от сейсмических воздействий и сравнение с исходным «фиксированным фундаментом».

На основе анализа анимаций (рисунок 6), интегрально отображающих поведение системы при действии сейсмических нагрузок установлена целесообразность:

- установки вертикальных диафрагм переменной жесткости на всю высоту сооружения, что позволяет уменьшить усилия в элементах каркаса и, как следствие, упростить конструирование рамных узлов;
- установки шва скольжения с $f_{mp,c} = 0,15$ между подошвой фундамента и бетонной подготовкой – топографическим слоем, обеспечивающая снижение горизонтальной составляющей сейсмического воздействия;
- установки контурных анкеров трения, обладающих гистерезисными свойствами, обеспечивающая снижение вертикальной составляющей сейсмического

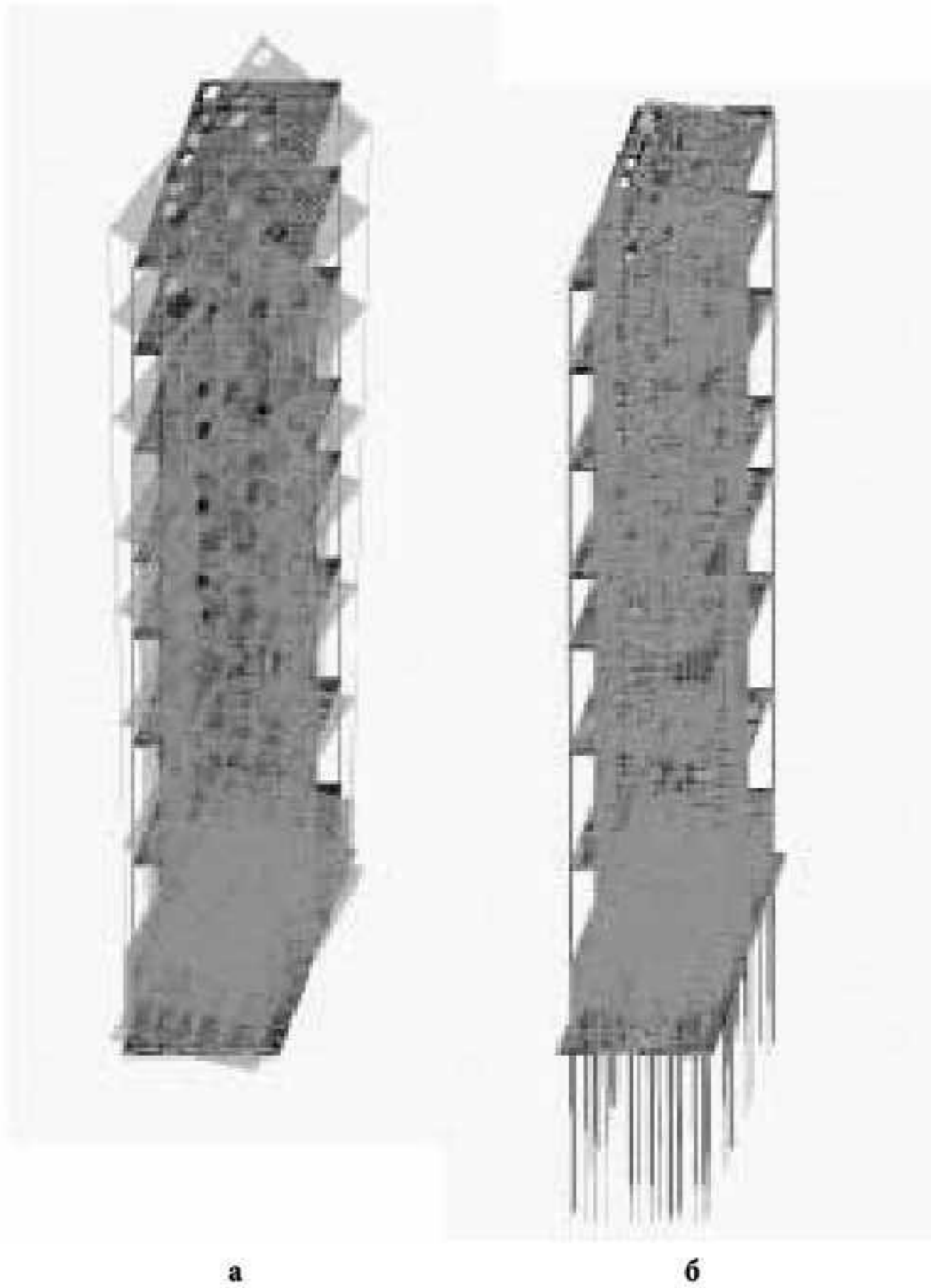


Рис. 6 Деформирование здания при землетрясении:
а - при отсутствии сейсмоизоляции («фиксированный фундамент»);
б - при наличии сейсмоизоляции («изолированный фундамент»).

воздействия, а также устойчивость сооружения при снижении периода колебаний и крена сооружения;

- применения грунтоцементных свай устраняющих просадочность основания и повышающих также средневзвешенный модуль деформации.

ВЫВОДЫ:

Разработанные мероприятия по сейсмоизоляции фундамента на искусственном прочном основании обеспечивают сохранение исходного генплана при одновременном снижении сейсмических воздействий на него до $J_p \leq 7$ баллов.

Настоящая разработка является альтернативной и рассматривается проектировщиками и строителями для внедрения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДБН В.1.2-5:2007, Научно-техническое сопровождение строительных объектов, Минрегионбуд Украины, Киев, 2007.
2. ДБН В.1.1-12:2006, Строительство в сейсмических районах Украины, Минстрой Украины, Киев, 2006.
3. ДБН В.1.2-2:2006, Нагрузки и воздействия, Минстрой Украины, Киев, 2006.
4. EUROCODE 8, Earthquake Resistant Design of Structures, CEN, 1993.
5. ДБН В.1.1-5-2000, Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах, Госкомстрой Украины, Киев, 2000.
6. В.И. Смирнов, Новые эффективные системы сейсмической защиты сооружений и инновационные технологии, ЦНИИСК, Москва, 2008.
7. В.Л. Харланов, Численное исследование сейсмоизолированных систем, Интернет-Вестник ВолгГАСУ, Волгоград, 2008.
8. В.Ю. Немчинов, Сейсмостойкость зданий и сооружений, НИИСК, Киев, 2008.
9. К.С. Абдурашидов, Я.М. Айзенберг и др., Сейсмостойкость сооружений, Наука, Москва, 1989.
10. Е.А. Сорочан, Ю.Г. Трофименков, Основания, фундаменты и подземные сооружения, Справочник проектировщика, Стройиздат, Москва, 1985.