

УДК 624.042:699.841

ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ НА СИСТЕМУ “ОСНОВАНИЕ – ЗДАНИЕ – МАНСАРДА”

В.С. Семенов, А.В. Токарский, Э.Д. Абдымомунов

Проведен анализ влияния свойств грунтового основания (коэффициентов постели С1 и С2) на работу системы “основание – здание – мансарда”. Установлено, что упругие свойства основания оказывают большое влияние не только на динамические характеристики системы, но и на перемещения ее узлов. Включение в работу упругого основания на внутренние усилия в элементах системы ОЗМ влияет незначительно. Расчет систем ОЗМ на особое сочетание нагрузок (с учетом сейсмического воздействия) рекомендуется производить с учетом коэффициентов постели по формуле Пастернака с учетом положения СН КР 20-02:2018, оценки регулярности конструктивной системы в плане и по высоте.

Ключевые слова: реконструкция; надстройка; сейсмостойкость; основание; коэффициенты постели; динамические характеристики.

ЖЕР КЫРТЫШЫНЫН ИЙКЕМДҮҮ КАСИЕТТЕРИНИН “НЕГИЗ-ИМАРАТ-МАНСАРД” СИСТЕМАСЫНА ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ

В.С. Семенов, А.В. Токарский, Э.Д. Абдымомунов

Бул макалада жер кыртышынын касиеттеринин (С1 жана С2 коэффициенттери) “негиз – имарат – мансард” системасына тийгизген таасири талдоого алынган. Жер кыртышынын ийкемдүү касиеттери динамикалык мүнөздөмөлөрүнө гана эмес, ошондой эле түйүндөрдүн которулушуна да чоң таасир тийгизери аныкталган. НИМ системасынын элементтериндеги ички аракеттерине кошулуулар ийкемдүү жер кыртышынын жумушуна таасири аз. Өзгөчө айкалыштагы жүктөмдө болгон НИМ системасынын эсебин (сейсмикалык таасирди эске алуу менен) Пастернак формуласын колдонуп жер кыртышынын эсебин чыгаруу сунушталат жана конструктивдүү системанын план жана бийиктик боюнча үзгүлтүксүздүгүн баалоого тийиштүү СН КР 20-02:2018 жобосун эске алуу зарыл.

Түйүндүү сөздөр: кайра куруу; сейсмикалык туруктуулук; негиз; жер кыртышынын коэффициенттери; динамикалык мүнөздөмөлөр.

INFLUENCE OF ELASTIC PROPERTIES OF THE SOIL BASIS ON THE “BASIS-BUILDING-PENTHOUSE” SYSTEM

V.S. Semenov, A.V. Tokarskiy, E.D. Abdymomunov

The article researches the analysis of influenced properties of the soil basis (coefficients of a bed of C1 and C2) for work of the basis – a building – penthouse system. It is established that elastic properties of the basis have a great influence not only on dynamic characteristics of a system, but also on movements of its knots. In BBP system elements inclusion in work of the elastic basis influences internal efforts slightly. Calculation of the BBP systems on a special combination of loadings (taking into account seismic influence) is recommended to be made taking into account bed coefficients on Pasternak's formula and it is necessary to consider the provisions of “CH KР 20-02:2018” concerning assessment of regularity of a constructive system in the plan and for height.

Keywords: reconstruction; superstructures; seismic resistance; basis; coefficients of a bed; dynamic characteristics.

В связи с нехваткой свободной территории для нового строительства, во всех крупных го-

родах актуален вопрос реконструкции существующей застройки путем устройства мансардного

этажа. Данный вид реконструкции позволяет сэкономить городские территории для нового градостроительного использования, восполнить дефицит жилья и сделать его более доступным.

Вместе с тем, при надстройке мансардных этажей увеличивается нагрузка на существующий фундамент, в связи с чем увеличивается среднее давление под его подошвой. Это приводит к появлению дополнительных деформаций здания. При устройстве мансардного этажа (или двухэтажной мансарды) из легких стальных конструкций над реконструируемым зданием в сейсмических районах возникает другая проблема. Действующие нормативные документы [1, 2] требуют оценки регулярности здания, как в плане, так и по высоте. Понятно, что в этом случае требования регулярности не соблюдаются. Поэтому при проектировании мансардных этажей в сейсмических районах необходимо получить картину действительной работы системы “основание-здание-мансарда” (ОЗМ) при различных условиях нагружения.

В практике реального проектировании встречаются случаи, когда расчет системы ОЗМ производят без учета реальных геологических условий. Вводится допущение, что основание является абсолютно жестким. Это упрощение обусловлено, во-первых, простотой реализации жесткого основания в расчетных комплексах и, во-вторых, тем, что постоянно возникает проблема представления механических свойств ос-

нования (коэффициентов постели) в общей расчетной модели системы, адекватно отражающих реальные свойства грунтового массива.

Этот подход влечет за собой ряд ошибочных результатов, так как характер поведения системы ОЗМ в значительной степени зависит от упругих свойств основания.

В зависимости от принятых моделей основания существующие методы расчета можно разделить на три группы: 1) методы, базирующиеся на винклеровой модели основания; 2) методы, базирующиеся на теории упругого полупространства (М.И. Горбунов-Посадов) [3]; 3) методы, базирующиеся на комбинированных моделях упругого основания (Пастернак) [4].

Для решения задач совместного расчета основания и здания (сооружения) наибольшее распространение получили две упрощенные модели: модель Винклера с одним постоянным коэффициентом постели и модель Пастернака с двумя переменными коэффициентами постели.

Данные модели грунтового основания имеют как преимущества, так и недостатки. Чтобы получить реальную картину НДС системы “основание – здание – мансарда”, была поставлена задача: провести расчет с различными моделями грунтового основания и сопоставить результаты расчетов между собой.

Анализ напряженно-деформированного состояния системы “основание – здание – мансарда” выполнялся методом конечных элементов

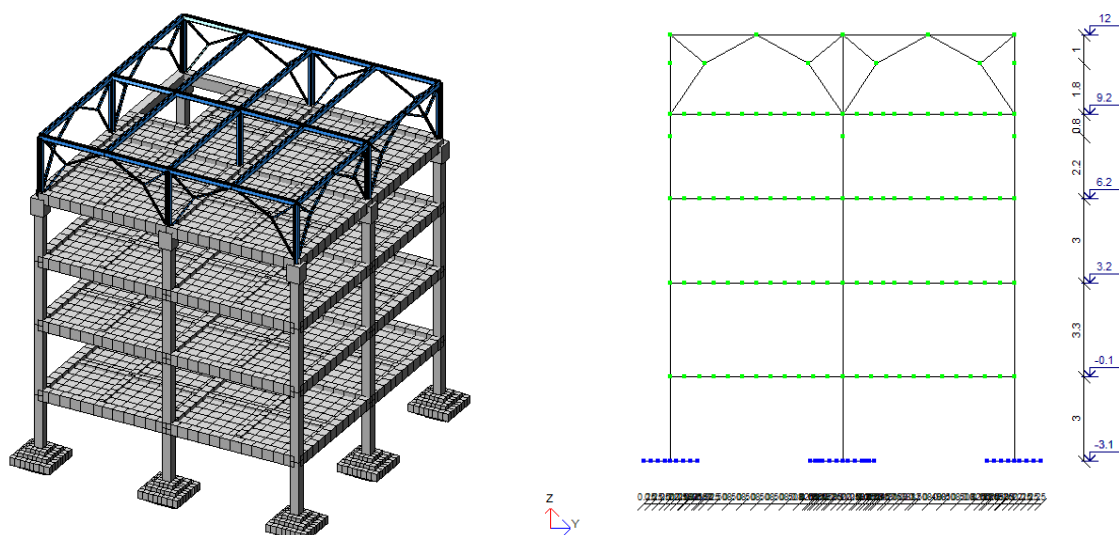


Рисунок 1 – 3-D модель здания

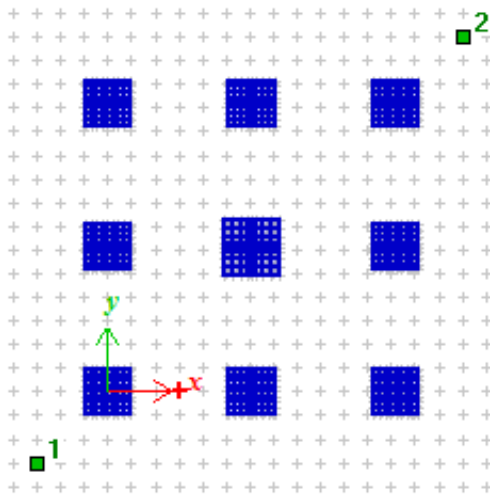


Рисунок 2 – Расчетная схема для модели грунта

в программно-вычислительном комплексе “ЛИРА” версии 9.6 на примере существующего здания по адресу: г. Бишкек, ул. Боронбая, 55.

Численные исследования трехэтажного каркасного здания с подвальным и мансардным этажом из легких стальных конструкций (рисунок 1) проводились по схеме ЛПП в соответствии со СНиП 2.02.01–83* и СНиП КР 20-02:2009 при двух вариантах моделирования грунтового основания:

1. Расчет здания с жестко защемленной фундаментной плитой.
2. Расчет здания на упругом основании (использованием коэффициентов постели C_1 и C_2).

Модель на жестком основании. В расчетном комплексе “ЛИРА” версии 9.6 жесткое основание реализуется за счет запрета перемещений

и поворотов относительно осей X, Y и Z узлов фундаментной плиты.

Модель на упругом основании (коэффициент постели C_1 и C_2) была реализована с помощью расчетно-графической системы ГРУНТ. Методика моделирования описана в [5, 6].

Расчетная модель упругого основания (с использованием системы ГРУНТ) показана на рисунке 2. В данной модели на основании геологических данных были созданы скважины 1 и 2 (рисунок 3). Далее были рассчитаны по пространственной модели грунта (рисунок 4) коэффициенты постели C_1 и C_2 (C_1 – коэффициент сжатия, измеряемый в $\text{кг}/\text{см}^3$ или $\text{т}/\text{м}^3$, связывающий интенсивность вертикального отпора грунта с его осадкой).

Расчет проводился на особое сочетание, в которое вошли постоянные и временные нагрузки, а также сейсмическая нагрузка. Вероятность одновременного действия нагрузок была учтена коэффициентами сочетаний [1, 2, 7]. Жесткостные характеристики сечений элементов системы ОЗМ представлены на рисунке 5.

По результатам расчетов были получены динамические характеристики системы ОЗМ (периоды, частоты и др.), которые представлены в таблице 1. Абсолютные значения перемещений узлов мансардного каркаса приведены в таблице 2, а внутренних усилий – в таблице 3.

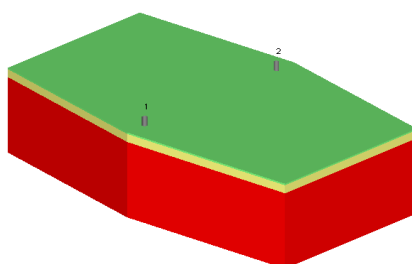
Анализ полученных результатов показывает, что периоды собственных колебаний системы ОЗМ при включении в работу упругого основания увеличиваются для первой формы с 0.8856 с до 1,0083 с, для третьей формы – с 0.6742 с до 0.7414 с, т. е. на 9,97–13,5 %.

Скважина 1 (м) ?					Скважина 2 (м) ?				
Координаты		Абс.отм. устья		Глубина	Координаты		Абс.отм. устья		Глубина
X	-2.00	786.90		15.00	X	14.00	786.90		15.00
Y	-2.00				Y	14.00			
ИГЗ 3					ИГЗ 3				
N	Наименование	Абс.отм. подошвы	Мощность слоя	Глубина залегания	N	Наименование	Абс.отм. подошвы	Мощность слоя	Глубина залегания
1	Насыпной...	786.60	0.30	0.30	1	Насыпной...	786.60	0.30	0.30
2	Суглинок...	785.10	1.50	1.80	2	Суглинок...	785.10	1.50	1.80
3	Галечников...	771.90	13.20	15.00	3	Галечников...	771.90	13.20	15.00

Рисунок 3 – Инженерно-геологические данные скважин

Таблица 1 – Динамические характеристики системы ОЗМ (сейсмика)

Жесткое основание						
Собств. значения	Частота		Период	Коэффициент распределения	Модальная масса	
	РАД/С	ГЦ	С		В %	
0.141012	7.09	1.13	0.8856	7.287034	48.7	48.7
0.140512	7.12	1.13	0.8824	-6.224489	35,5	84.2
0.107349	9.32	1.48	0.6742	0.738467	0.5	84.7
Упругое основание 1-й метод						
Собств. значения	Частота		Период	Коэффициент распределения	Модальная масса	
	РАД/С	ГЦ	С		В%	
0.160549	6.23	0.99	1.0083	7.094771	46.1	46.1
0.160447	6.23	0.99	1.0076	6.383943	37.3	83.5
0.111998	8.93	1.42	0.7033	0.444440	0.2	83.6
Упругое основание 2-й метод						
Собств. значения	Частота		Период	Коэффициент распределения	Модальная масса	
	РАД/С	ГЦ	С		В%	
0.157149	6.36	1.01	0.9869	7.273683	48.5	48.5
0.156571	6.39	1.02	0.9833	-6.556390	39.4	87.9
0.118057	8.47	1.35	0.7414	0.703854	0.5	88.3
Упругое основание 3-й метод						
Собств. значения	Частота		Период	Коэффициент распределения	Модальная масса	
	РАД/С	ГЦ	С		В%	
0.148556	6.73	1.07	0.9329	7.716363	54.6	54.6
0.148351	6.74	1.07	0.9816	-5.688673	29.6	84.2
0.109479	9.13	1.45	0.6875	0.613898	0.3	84.5



Номер ИГЭ	Усл. обозн.	Наименование грунта	Цвет	Модуль деформации, т/м**2	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, т/м**3	Коэффициент перехода ко 2 модулю деформации	Природная влажность, доли	Показатель текучести	Вода	Коэффициент пористости	Удельное сцепление, т/м**2	Угол внутреннего трения, °	Предельное напряжение растяжения, т/м**2
1		Насыпной	Зеленый	1000	0.3	1.7	5	0.05	0.27		0.7	1.2	21	0.1
2		Суглинок тугоп.	Желтый	820	0.35	1.75	5	0.17	0.26		0.68	0.79	18	0.1
3		Галечниковый г.	Красный	7400	0.27	2.23	5	0.25			2.2	2.62	33	0.1

Рисунок 4 – Пространственная модель грунта и ее характеристики

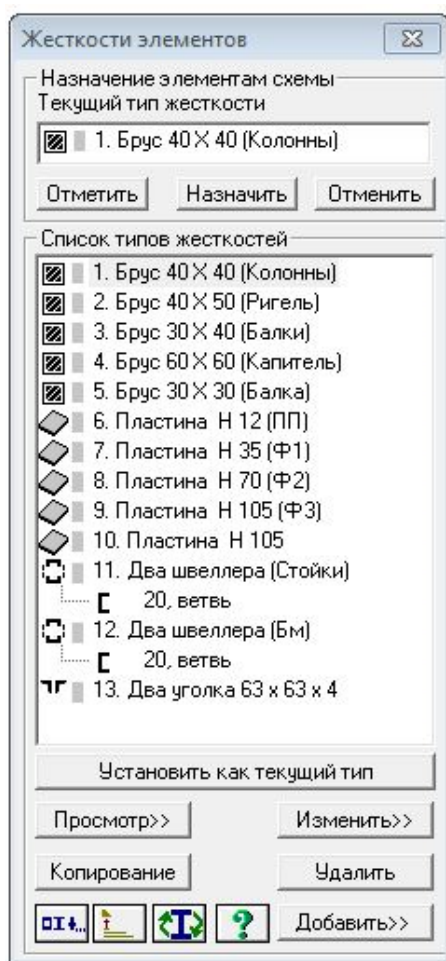


Рисунок 5 – Жесткостные характеристики системы ОЗМ

Таблица 2 – Абсолютные значения перемещений в узлах каркаса мансардного этажа

Фактор	Тип основания			
	Жесткое	Упругое (по модели ГРУНТ)		
		1 метод	2 метод	3 метод
X, мм	-31,3	-41,9	-37,5	-34,5
У, мм	-31,7	-34,7	-34,7	-36,3
Z, мм	-15,6	-48,4	-26,9	-29,5
UX, рад.	-8,66	-10,2	10,9	-9,47
UY, рад.	4,52	4,61	4,31	5,13
UZ, рад.	3,35	2,26	3,59	5,1

Величины экстремальных перемещений узлов конструкции (таблица 2), полученные по двум описанным выше моделям, находятся в пределах 15,6–48,4 мм. Минимальные перемещения наблюдаются в модели с жестким основанием. С включением в расчетную схему модели упругого основания происходит резкое, более, чем в три раза, увеличение перемещений.

Таблица 3 – Абсолютные значения усилий в элементах каркаса мансардного этажа

Фактор	Тип основания			
	Жесткое	Упругое (по модели ГРУНТ)		
		1 метод	2 метод	3 метод
N	-11,1	-10,6	-10,9	-10,8
My	-5,08	4,52	5,52	-5,21
Qz	-3,11	-2,95	-3,56	-2,85
Mz	3,17	-3,06	3	-3,51
Qy	2,06	1,61	2,03	3,3

Значения экстремальных усилий в элементах конструкции мансарды (таблица 3), в зависимости от модели основания, отличаются лишь на (~1–5 %).

Заключение

1. Численные исследования системы ОЗМ показали, что при расчете на особое сочетание нагрузок (с учетом сейсмического воздействия) необходимо учитывать упругие свойства основания, которые оказывают большое влияние не только на её динамические характеристики, но и на перемещения узлов системы. Особенно большое влияние этот фактор оказывает на величины горизонтальных деформаций этажей здания, включая мансардный. На внутренние усилия в элементах системы ОЗМ включение в работу упругого основания влияет незначительно.
2. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что модель с использованием коэффициентов постели С1 и С2 по моделям Винклера и Пастернака, позволяет более точно отобразить поведение системы ОЗМ при сейсмических нагрузках.
3. Рекомендуется производить расчет системы “основание – здание – мансарда” с учетом коэффициентов постели по первому методу (по формуле Пастернака), так как по этому

- методу значения перемещений и усилий в элементах каркаса мансардного этажа больше, чем по второму и третьему методам.
4. При расчетах систем ОЗМ реконструируемых зданий на особое сочетание нагрузок (с учетом сейсмического воздействия) необходимо учитывать положения СН КР 20-02:2018. В частности, производить оценку регулярности здания в плане и по высоте согласно обязательного Приложения К, использовать повышающий коэффициент f_{vk} при расчетах эффектов от горизонтальных сейсмических воздействий для гибких мансардных этажей, а также учитывать параметры жесткости грунтового основания согласно Приложения Ж.
- Литература**
1. СНиП КР 20-02:2009 Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования / Гос. агентство по арх. и строит. при Правительстве Кыргызской Республики. Бишкек, 2009. 102 с.
 2. СН КР 20-02:2018 Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования / Гос. агентство по арх. и строит. при Правительстве Кыргызской Республики. Бишкек, 2018. 107 с
 3. Горбунов-Посадов М.И. Расчет конструкций на упругом основании / М.И. Горбунов-Посадов, Т.А. Маликова, В.И. Соломин. М.: Стройиздат, 1984. 678 с.
 4. Пастернак П.Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели / П.Л. Пастернак. М.: Стройиздат, 1964. 56 с.
 5. ЛИРА 9.4. Примеры расчета и проектирования: учебн. пособие / В.Е. Боговис и др. Киев: ФАКТ, 2008. 280 с.
 6. Семенов В.С. Коэффициент постели и его влияние на работу зданий повышенной этажности при сейсмических нагрузках / В.С. Семёнов, Ж.А. Акматова // Вестник КРСУ. 2012. Том 12. № 7. С. 140–145.
 7. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* / Мин. строит. и жил.-ком. хозяйства Российской Федерации, ФАУ “ФЦС”, 2018. 122 с.