

УДК 624.154.5

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-112-120

МЕТОДЫ РАСЧЁТА КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОСТЕЛИ: АНАЛИЗ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ПОДХОДА

Е. С. Сербина

Индивидуальный предприниматель Сербина Екатерина Сергеевна,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. Цель исследования – сравнение методов расчёта коэффициентов постели по их влиянию на внутренние усилия в плите (изгибающие моменты) и распределение осадок, для определения наиболее адекватной модели работы основания. В качестве эталона для сравнительного анализа приняты фундаментные плиты с геометрическими параметрами в плане 20×20 м, 30×60 м, толщиной $t = 150$ мм с постоянной равномерно-распределенной нагрузкой по площади равной 20 т.

Ключевые слова: коэффициент постели, модуль Грунт, модель Пастернака, модель Винклера, программный комплекс ЛиРА-САПР, коэффициент Пуассона

METHODS FOR CALCULATING SUBGRADE REACTION COEFFICIENTS: ANALYSIS AND SELECTION OF THE OPTIMAL APPROACH

E. S. Serbina

Sole Proprietor Serbina Ekaterina Sergeevna, Rostov-on-Don, Russia

Annotation. The aim of the study is to compare methods for calculating subgrade reaction coefficients in terms of their impact on the internal forces in the slab (bending moments) and the distribution of settlements, in order to determine the most adequate model for the behavior of the foundation. As a reference for comparative analysis, foundation slabs with the following geometric parameters are adopted: 20×20 m, 30×60 m in plan, thicknesses $t = 150$ mm, subjected to a constant uniformly distributed load of 20 tons over the area.

Keywords: subgrade coefficient, «Soil» module, LiRA-SAPR software, Winkler model, Pasternak model, Poisson's ratio

При проектировании конструкций перед инженером возникает проблема выбора метода расчета коэффициентов постели, который наиболее точно отражал бы взаимную работу грунта и здания.

На данный момент используются три Метода [2]:

Метод 1 (модель Пастернака) — коэффициент постели C_1 зависит от усредненного модуля деформации (формула, реализованная ПК «ЛиРА-САПР»):

$$C_1 = \frac{E_0}{H_c \cdot (1 - 2 \cdot \nu_0^2)}, \quad (1)$$

где E_0 — усредненное значение модуля деформации; H_c — глубина сжимаемой толщи; ν_0 — коэффициент Пуассона.

Метод 2 (модель Винклера-Фусса) — коэффициент постели C_1 зависит от среднего давления под подошвой и осадки:

$$C_1 = \frac{q}{S}, \quad (2)$$

где $q = \frac{P}{\eta \cdot b^2}$ — среднее давление под подошвой фундамента; b — размер меньшей стороны фундамента; η — отношение сторон фундамента; S — осадка основания.

Метод 3 (модифицированная модель Пастернака) — расчет коэффициента постели C_1 происходит с учетом нарастания модуля деформации по глубине грунта:

$$E_o = \frac{H_c}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{u_i \cdot E_i}}, \quad (3)$$

где u — поправочный коэффициент; H_c — глубина сжимаемой толщи; h_i — толщина i -го слоя грунта; E_i — модуль деформации i -го слоя грунта.

Надо отметить, что из трех наиболее популярных методов расчета, пользователи отдают предпочтения 1-му или 2-му, так как *метод 3* хоть и рассматривался авторами с разными подходами, но в нормы так и не вошел.

Так же для конечного пользователя важно выполнять все расчеты здания в одном доступном ПО и иметь четкое обоснование принятых решений, так как выбор Метода расчета коэффициента постели влияет на НДС конструктивных элементов здания [4, 5].

Поэтому в данном исследовании были выполнены вычисление коэффициентов постели по 1-му и 2-му методам с учётом разного типа моделирования основания (Лира-САПР, Модуль «Грунт») и полученные данные по осадке и глубине сжимаемой толщи сопоставлены с результатами ручного расчёта по схеме линейно-деформированного полупространства (ЛПП) согласно СП 22.13330.2016 [1].

В качестве эталона для сравнительного анализа проведены расчеты фундаментных плит с геометрическими параметрами:

- 20×20 метра, толщиной $t = 150$ мм;
- 30×60 метра, толщиной $t = 150$ мм;

Нагрузка для расчета принята постоянной равномерно-распределенной по площади, равной 20 тонн. Собственный вес плиты не учитывался.

В качестве грунта основания принят плотный гравелистый песок с характеристиками, представленными в табл. 1.

Залегание плиты — по рельефу, т. е., выемка грунта котлована отсутствует.

Расчет выполнялся в следующей последовательности:

1. Расчет C_1 по *методу 2* с учетом переменной сжимаемой толщи H_c .
2. Расчет C_1 по *методу 2* с учетом постоянной сжимаемой толщи H_c .
3. Расчет C_1, C_2 по *методу 1* с учетом переменной сжимаемой толщи H_c .

4. Расчет C_1, C_2 по методу 1 с учетом постоянной сжимаемой толщи H_c .

5. Расчет C_1, C_2 по методу 1 с учетом постоянной сжимаемой толщи H_c , при этом коэффициент C_1, C_2 считаем по площади плиты и C_1, C_2 — по контуру при помощи законтурных элементов (Двухузловые КЭ53, Одноузловые КЭ54) [3].

6. Расчет C_1, C_2 по методу 1 с учетом постоянной сжимаемой толщи H_c , при этом также коэффициент C_1, C_2 считаем по площади плиты, и C_1, C_2 — по контуру при помощи четырехузловых КЭ41, КЭ44 [3].

7. Расчет по схеме ЛПП по СП 22.13330.2016.

Таблица 1

№ ИГИ	Наименование грунта	Модуль деформации, т/м ²	Коэф.фициентПуассона	Удельный вес грунта, т/м ³	Коэффициент по 2 модулю деформации	Природная влажность, доли	Коэффициент пористости	Удельное сцепление, т/м ²	Угол внутреннего трения, град	Предельное напряжение растяжения, т/м ²	Коэффициент Савинова, т/м ³
1	Плотный гравелистый песок	4000	0,27	2,05	5	0,05	0,55	0,4	38	0,39	1400

С учетом пункта 4.2 СП 22,13330,2016, минимальная сжимаемая толщина для фундамента, размерами 20×20 м минимальная глубина сжимаемой толщи – 6 м, для фундамента 30×60 м – 7 м

Полученные результаты расчетов для плиты габаритами 20×20 приведены на рис. 4 и 5.

Расчет осадки по СП 22.13330.2016 проводился по формулам:

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} \cdot h_i}{E_{e,i}}, \quad (4)$$

где $\sigma_{zp,i} = \alpha \cdot p$ — вертикальное напряжение (центр плиты); $\sigma_{zp,i} = \alpha \cdot p/4$ — вертикальное напряжение (угол плиты); h_i — толщина i -го слоя грунта; E_i — модуля деформации i -го слоя грунта; β — безмерный коэффициент, равный 0.8.

Для сравнительной оценки результаты для плиты размерами 20×20 м сведены в табл. 2.

Для сравнительной оценки результаты для плиты размерами 30×60 м сведены в табл. 3.

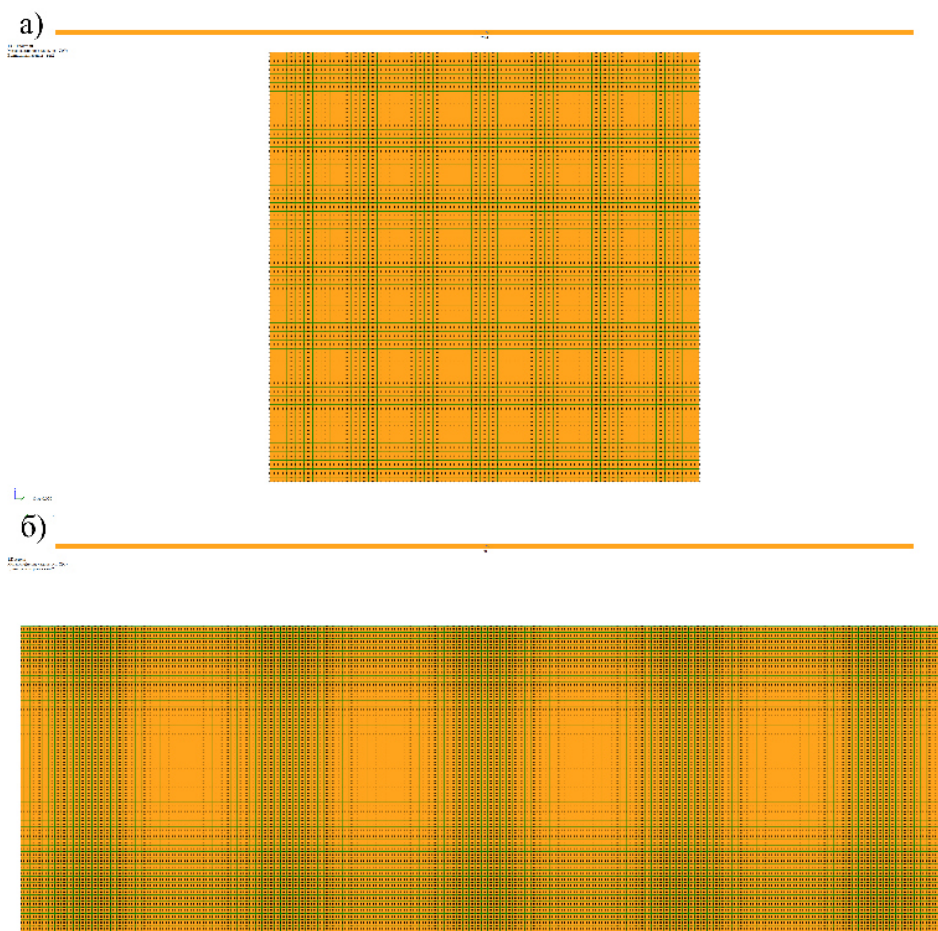


Рис. 1. Расчетная модель:
 a – плита, размерами 20×20 м; $б$ – плита, размерами 30×60 м

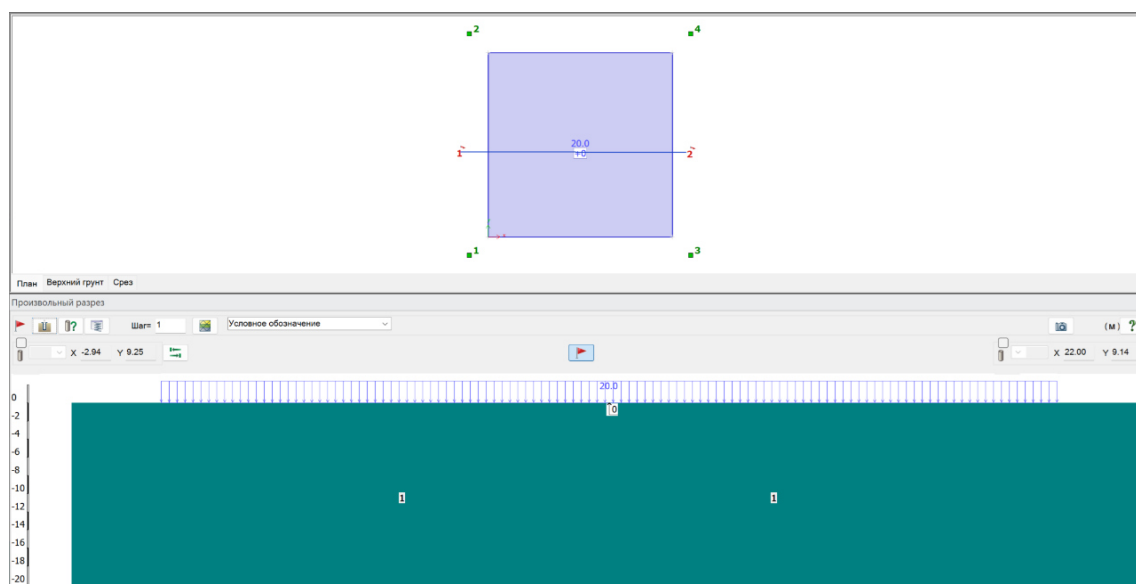


Рис. 2. Схема приложения нагрузки на грунтовое основание
 Ограничение перемещений в направлениях X и Y обеспечены при помощи КЭ 56

Модель грунта

Файл грунта (*.slid), связанный с текущей моделью грунта:

\\LIRA_SAPR\LIRA_SAPR_2024\Data\КОНФ\1_M2_C1_20nM.sld

☒ Передать в ГРУНТ плиты с ненулевым Pz как группу нагрузок

☐ Не обновлять нагрузки на грунт

☒ Передать параметры из закладки «Расчет C1, C2»

☐ Разместить расчетную схему на модели грунта согласно закладки «Привязка»

☐ Привязку нагрузок опустить ниже на 1/2h элемента, которым назначен Pz

Подключить модель грунта

Редактировать модель грунта

Получить модель грунта из системы ГРУНТ

Отключить модель грунта

1. Основная задача: C1. Основная задача; D1. Осн

Метод расчета C1, C2 ☐ Выполнять расчёт C2

Метод 2

Пересчитать C1, C2

Пересчитать жесткости свай

Расчет C1, C2 | Привязка

Параметры расчета

Нормы

СП 22.13330.2011/2016

☐ Учитывать слабые грунты

Модуль деформации E слабого грунта 510 т/м2

Дополнительное постоянное напряжение по всей глубине 0

☒ Учитывать вес грунта выше отметки приложения нагрузки

☐ Вычислять результаты в пределах площади импортированных нагрузок по укрупненной прямоугольной сетке

шаг сетки 0

Время, годы

Объединение нагрузок

☒ заменять смежные и близкие по величине нагрузки одной нагрузкой с усредненным значением

Количество диапазонов объединения 10 $\Delta\sigma_{zy}$ 10 %

из ГРУНТА

?

Рис. 3. Схема задания исходных данных для модели грунт

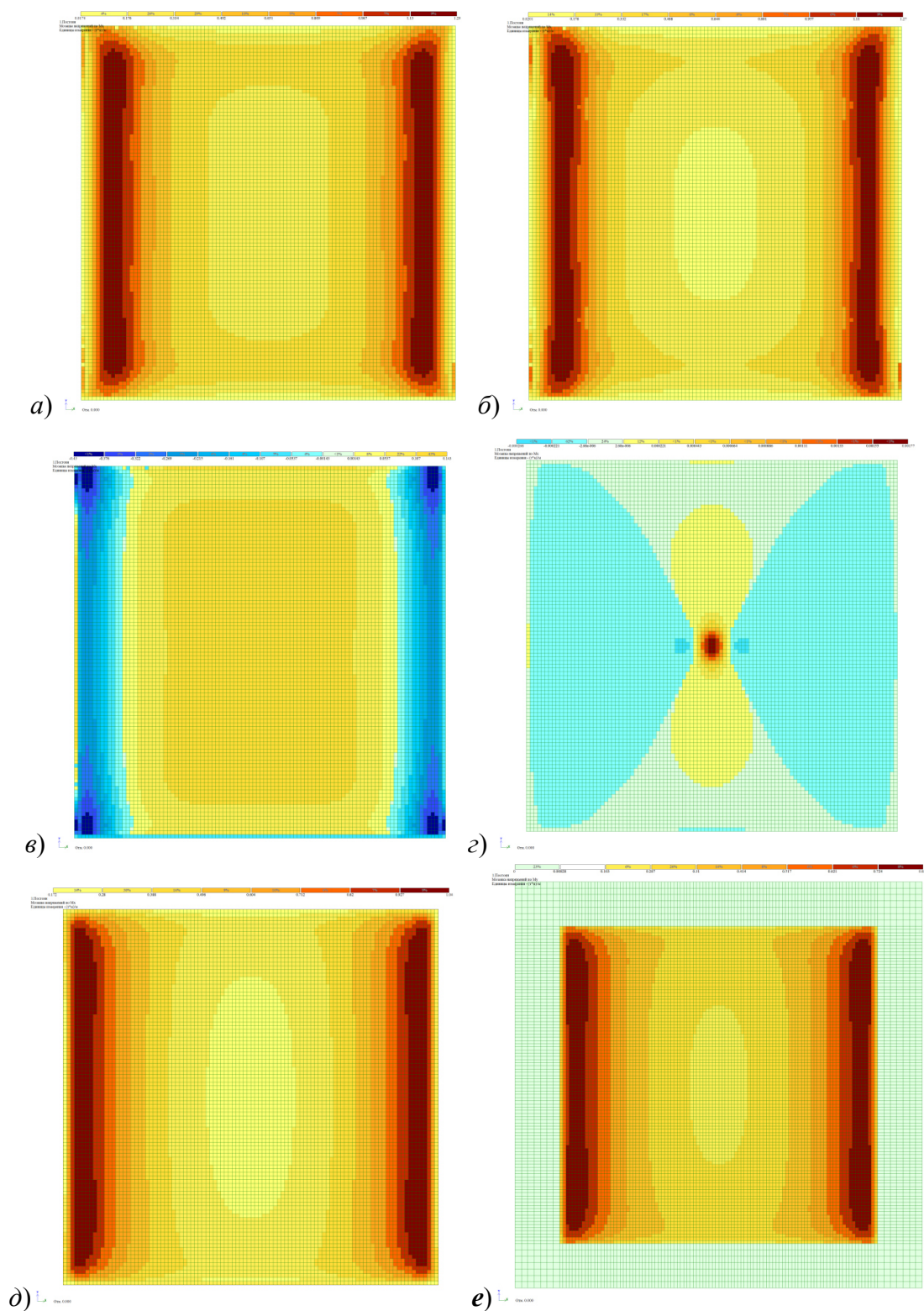


Рис. 4. Мозаика напряжений по M_x :

a – расчет по *методу 2*, минимальная $H_c = 6$ м (итерация 5); *б* – расчет по *методу 2*, минимальная $H_c = 11,9$ м (итерация 5); *в* – расчет по *методу 1*, минимальная $H_c = 6$ м; *г* – расчет по *методу 1*, минимальная $H_c = 11,7$ м; *д* – расчет по *методу 1*, минимальная $H_c = 11,9$, вводятся КЭ53, 54; *е* – расчет по *методу 1*, минимальная $H_c = 11,9$, вводятся КЭ44 с $E = 0$

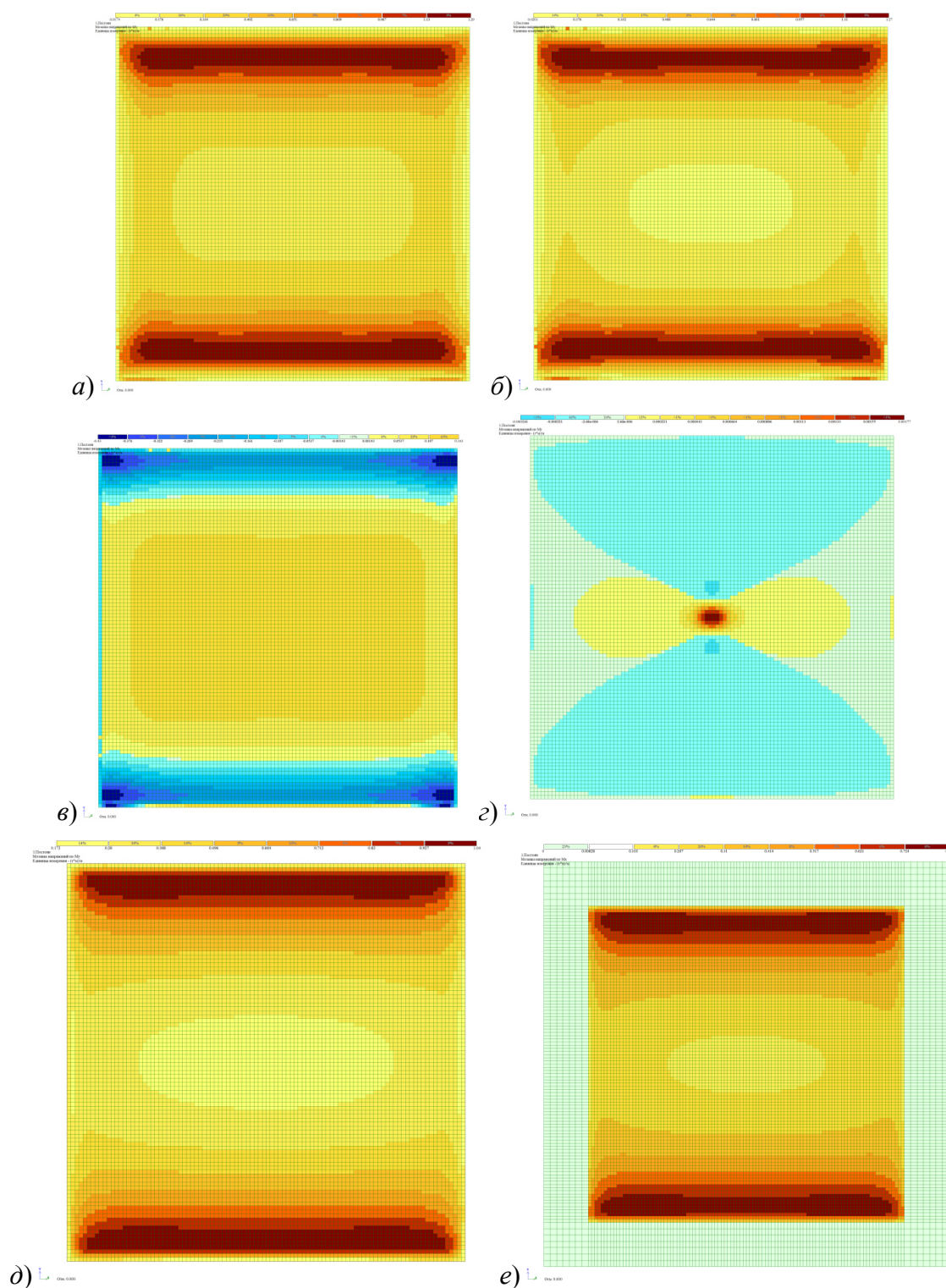


Рис. 5. Мозаика напряжений по M_y :

a – расчет по методу 2, минимальная $H_c = 6$ м (итерация 5); *б* – расчет по методу 2, минимальная $H_c = 11,9$ м (итерация 5); *в* – расчет по методу 1, минимальная $H_c = 6$ м; *г* – расчет по методу 1, минимальная $H_c = 11,7$ м; *д* – расчет по методу 1, минимальная $H_c = 11,9$, вводятся КЭ53, 54; *е* – расчет по методу 1, минимальная $H_c = 11,9$, вводятся КЭ44 с $E = 0$

Таблица 2

№ п/п	Метод	Описание		Перемещение Z, мм		Глубина сжимаемой толщ H_c , м		Коэф. C_1 , т/м ³		Коэф. C_2 , т/м ³	
				Центр	Угол	Центр	Угол	Центр	Угол	Центр	Угол
1	Метод 2 (C_1)	Hс переменная	Итерация 1	41.1	7.15	11.9	6	485	2740	-	-
Итерация 5			41	6.97	11.9	6	488	2790	-	-	
2		Hс постоянная (11.9)	Итерация 1	41	13.7	11.9	11.9	488	1650	-	-
			Итерация 5	40.9	13.3	11.9	11.9	488	1817	-	-
3	Метод 1 (C_1/C_2)	Hс переменная		45.5	33.9	11.7	6	402	784	6160	3160
4		Hс постоянная		50.1	50	11.9	11.9	393	393	6250	6250
5		Hс постоянная + КЭ53, 54		43.7	12.6	11.9	11.9	393	393	6250	6250
6		C1 постоянная + КЭ41		45.1	19.9	11.9	11.9	393	393	6250	6250
7	СП22	Hс переменная		40.2	5.9	12	6	497.5	3389.8		
8	СП22	Hс постоянная		40.2	11.46	12	12	497.5	1745		

Таблица 3

№ п/п	Метод	Описание		Перемещение Z, мм		Глубина сжимаемой толщн Нс, м		Коэф. C ₁ , т/м³		Коэф. C ₂ , т/м³	
				Центр	Угол	Центр	Угол	Центр	Угол	Центр	Угол
1	Метод 2 (C ₁)	Нс переменная	Итерация 1	48.5	8.42	13.6	7	413	2450	-	-
			Итерация 5	48.5	8.25	13.6	7	413	2677	-	-
Нс постоянная (13.6)		Итерация 1	48.5	15.5	13.6	13.6	413	1450	-	-	
		Итерация 5	48.4	15	13.6	13.6	413	1574	-	-	
3	Метод 1 (C ₁ /C ₂)	Нс переменная		54	36.2	13.4	7	348	669	7047	3675
Нс постоянная		58.1	58.1	13.6	13.6	344	344	7139	7139		
Нс постоянная + КЭ53, 54		51.7	14.5	13.6	13.6	344	344	7139	7139		
C1 постоянная + КЭ41		58.2	47.3	13.6	13.6	344	344	7139	7139		
7	СП22	Нс переменная		50.24	6.91	14	7	398	4040		
8	СП22	Нс постоянная		50.24	11.63	14	14	398	1720		

Заключение

Модель Винклера (*метод 2*) не учитывает взаимодействие соседних элементов грунта за пределами контура фундамента, что приводит к крайнему эффекту – завышению значений перемещения на углах плиты.

Модель Пастернака (*метод 1*) предполагает усреднение характеристик грунта, что может отрицательно влиять на конечный результат особенно при наличии неоднородных грунтов.

При использовании *метода 1* рекомендуется вводить законтурные элементы КЭ53/54, которые обеспечивают затухание деформаций за пределами плиты, предотвращают появление пиков напряжений на краях, приближают работу взаимодействия плиты и грунта к более реальной.

Анализ показал, что расчет по *методу 2* с постоянным максимальным значением сжимаемой толщи под всей площадью фундамента дает аналогичные результаты расчету по *методу 1* с применением законтурных элементов КЭ53/54.

Список источников

1. СП22.13330-2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.
2. Ромашкина, М. А. Программный комплекс Лира-САПР. Руководство пользователя / М. А. Ромашкина, В. П. Титок. – 2018.
3. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер // Издательство СКАД СОФТ. Издательство Ассоциации строительных вузов. Издательство ДМК Пресс. - Москва 2011 с.421-428
4. Трегуб, А. Ю. Сравнение методов расчета коэффициентов постели основания, используемых в расчетах плитных каркасных зданий / А. Ю. Трегуб, С. А. Егоров // Сборник статей «Эффективные строительные конструкции: теория и практика». – Пенза, 2021. – С. 107-109.
5. Оценка влияния неоднородности коэффициента постели грунтового основания на НДС конструктивных элементов здания (при расчете на конечную осадку) / В. С. Бабалич, Ю. С. Вильгельм, В. Н. Власов [и др.] // Инженерный вестник Дона. – № 1. – Волгоград, 2019.

© Сербина Е. С., 2026