

вающим нагрузкам. Однако, так же они повышают и устойчивость стержней при изгибе, что было показано в данной работе. Поэтому изучение этого вопроса, может оказать влияние на развитие как конструктивных методов усиления существующих конструкций, так и на создание новых конструктивных форм.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков. Д.В. Структура механических стержневых тонкостенных конструкций. – М.: Госстройиздат, 1962. – 475 с.
2. Бычков. Д.В. Кручение металлических балок / Д.В. Бычков, А.К. Мрощинский. – М.: Государственное издательство строительной литературы, 1944.- 260 с.
3. Власов. В.З. Тонкостенные упругие стержни. – М.: Гос. издательство физико-математической литературы, 1959. – 568 с.
4. СНиП II-23-81\* "Стальные конструкции. Нормы проектирования" М.: ЦИТП Госстроя СССР, 2008 г. – 89 с.

УДК 624.131+624.15

#### **ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЛЕНТОЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С УЧЕТОМ ИХ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ГРУНТОВЫХ МОДЕЛЕЙ**

<sup>1</sup>ЛОБАЧЕВА Н. Г., <sup>2</sup>ГРИНЕВ В. В.

<sup>1</sup>Полоцкий государственный университет  
Новополоцк, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

**Введение. Постановка проблемы.** В настоящее время в Республике Беларусь произошли существенные изменения в практике строительства и эксплуатации зданий. Увеличились требования к зданиям, в том числе к их надежности и долговечности. Все чаще возводятся здания в условиях плотной городской застройки.

Обеспечение надежности конструкций здания при минимальной затрате материалов определяется в большей мере степенью точности выбора грунтовой модели основания, наиболее правдоподобно от-

ражающей деформационные свойства конкретных грунтовых массивов. В современной строительной практике согласно нормативным документам [5, 8] расчет проводят по двум группам предельных состояний (по несущей способности и деформациям). Данными расчетами проверяют лишь предельные состояния при достижении которых конструктивные элементы сооружения, сооружение в целом или его основание перестает удовлетворять заданным эксплуатационным требованиям [1].

При расчете деформаций оснований при сравнении с нормативными жесткость сооружения обычно не учитывается, т. е. неравномерность осадок основания вычисляется без перераспределения нагрузок между фундаментами. В связи с этим выбор расчетных моделей грунтового основания является одним из наиболее важных этапов в проектировании.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В [2, 3, 7] приведены особенности расчетных моделей оснований и зданий и методы оценки их жесткостных характеристик. Так же в данных работах показаны итерационные принципы учета совместной работы здания и основания и обеспечения надежности и долговечности зданий как элементов системы «основание-сооружение». В статье [6] даны рекомендации по выбору расчетной модели грунтового основания для каркасных зданий на плитном фундаменте. В книге [9] предложены различные виды конечных элементов, моделирующих основания и предложены примеры численного моделирования основания методом конечных элементов.

**Цель работы.** Сравнительный анализ работы ленточного фундамента при применении различных моделей грунтового основания с учетом взаимного влияния.

**Метод исследования:** описательный, анализ, математический, методы определения деформаций основания на основе решений теории упругости, методы расчета конструкций на деформируемом основании.

**Основная часть.** Необходимость учета свойств грунтовых оснований, зависящих не только от условий их естественного залегания, но и от напряженного состояния, привела исследователей к созданию большого количества различных моделей грунтового основания.

В данной работе будут рассмотрены некоторые из них:

- модель Винклера;
- модель упругого полупространства;
- модель коэффициента жесткости Клепикова, параметры которой были определены с учетом распределительной способности грунта, а также с учетом упругой и пластической составляющей осадки основания.

В модели местных упругих деформаций (модели Винклера) упругие свойства грунта характеризуются коэффициентом постели (пропорциональности)  $C_z$ , который предполагается постоянным по всей длине балки. Зависимость осадки балки от нагрузки линейна во всех диапазонах нагрузки, а отпор грунта при бесконечной жесткости балки постоянен по всей ее длине и равен [2]:

$$P_{zp} = c_s \cdot s \quad (1)$$

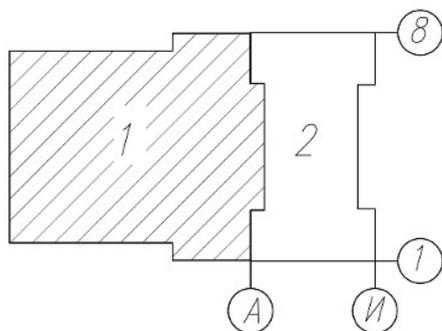
где  $S$  – средняя осадка балки.

Модель упругого полупространства является основной в механике грунтов и именно на ее основе разработаны методы расчета осадок, содержащиеся в нормах на проектирование оснований [5, 8]. Осадка основания вычисляется интегрированием по загруженной поверхности формулы Буссинеска, устанавливающей зависимость вертикальных перемещений упругого полупространства от действующей на этой поверхности сосредоточенной силы. Для ленточных фундаментов используются решения плоской и пространственной задачи. Так как для грунтов характерно наличие в большей степени остаточных деформаций, то модель упругого полупространства может применяться только на этапе однократного нагружения грунтового массива без последующей разгрузки, что и происходит в действительности. Применение теории линейного деформирования требует установления границы ее использования: среднее давление под подошвой фундамента не должно превышать предела, при достижении которого зависимость  $S = f(p)$  близкая к линейной.

Клепиков С.Н. [4] предложил модель переменного коэффициента жесткости, который определяется как отношение среднего расчетного давления  $P(x)$  в точке  $x$  фундамента к осадке основания  $S(x)$  в этой точке. Осадка основания  $S(x)$  определяется общепринятыми методами (метод послойного суммирования, метод линейно дефор-

мируемого слоя). Распределение нормальных давлений по глубине в любой точке  $x$  в пределах подошвы фундамента находится с использованием метода угловых точек. При этом предполагается, что распределительными свойствами обладают только упругие деформации грунта, а пластические деформации этим свойством не обладают. В связи с этим общая осадка основания  $S(x)$  разделяется на упругую  $S_e(x)$  и пластическую  $S_p(x)$ , определяемые методом послойного суммирования с использованием соответственно модуля остаточных (пластичных) деформаций  $E_{pl}$  и модуля упругих деформаций  $E_{el}$ . Указанные модули определяются по результатам полевых испытаний грунтов штампами или лабораторных компрессионных испытаний с учетом траекторий нагружения и разгрузки. Учитывая изложенные особенности, коэффициент жесткости получается характеристикой не только физических свойств грунта, но и переменной, отражающей деформативность основания только под конкретным фундаментом или его участком.

**Исходные данные для расчета.** Здание – двухэтажное прямоугольной формы с симметрично выступающими объемами в плане. Габаритные размеры в крайних осях  $\approx 30,0 \times 22,0$  м. Конструктивная схема здания – связевая. Основными несущими конструкциями служат продольные и поперечные стены. Пространственная жесткость здания во всех направлениях обеспечивается совместной работой наружных и внутренних стен здания. Фундамент ленточный из фундаментных блоков с отдельными монолитными участками. Здание имеет подвал. Ширина подошвы фундаментов наружных стен составляет – 700–1200 мм., внутренних – 700–1100 мм. Глубина заложения фундаментов составляет – 740–1290 мм. К стене по оси «А» в осях «1-8» в настоящее время пристроено монолитное железобетонное 8 – этажное здание с размерами в плане  $\approx 30 \times 31,5$  м. (рис. 1). Фундамент нового здания – монолитная плита толщиной 600 мм. Отметки подошвы фундамента существующего и пристраиваемого здания находятся на одной отметке по высоте.



1. 8-ми этажное пристраиваемое здание.  
2. 2-х этажное существующее здание.

Рис. 1. Схема существующего и пристраиваемого здания

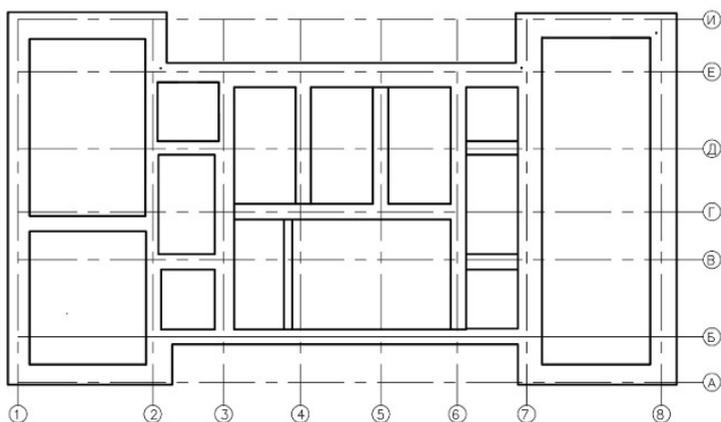


Рис. 2. Схема ленточных фундаментов существующего здания

В основании фундаментов по данным изысканий залегают пески средней прочности и прочные (ИГЭ-4,5,6,8,9,10). Под частью здания в осях «7-8» - «И» в основании фундаментов залегают супесь лессовидная средней прочности (ИГЭ-3).

Этап 1. Расчет осадок фундаментов и коэффициента жесткости основания по модели Винклера.

Таблица 1

**Результаты расчетов осадки фундамента и коэффициента жесткости основания по модели Винклера**

Фундаменты в осях	Средняя осадка S, м	Относительная осадка $\Delta S/L$ , м	Коэффициент жесткости основания $C_z$ , кН/м <sup>3</sup>
«1-2» по оси «А»	0.0095	0.00003	19350
По оси «1»	0.0105	0.00015	21604.27
«1-2» по оси «И»	0.0021	0.00168	30602
По оси «2»	0.0087	0	24130.4
«2-7» по оси «Б»	0.0105	0.00012	21433.77
По оси «7»	0.0135	0.00052	18599
«7-8» по оси «И»	0.0199	0.00004	9683.67
По оси «8»	0.0197	0.00062	12619.93
«Б-Е» по оси «б»	0.0149	0.00062	15570.5
«2-7» по оси «Е»	0.0154	0.00072	15123.69

Этап 2. Расчет осадок фундаментов и коэффициента жесткости основания по модели упругого полупространства.

Таблица 2

**Результаты расчетов осадки фундамента и коэффициента жесткости основания по модели упругого полупространства**

Фундаменты в осях	Средняя осадка S, м	Относительная осадка $\Delta S/L$ , м	Коэффициент жесткости основания $C_z$ , кН/м <sup>3</sup>
«1-2» по оси «А»	0.0145	0.000133	12702.8
По оси «1»	0.01839	0.000483	12377.67
«1-2» по оси «И»	0.0306	0.001667	6808
По оси «2»	0.02467	0.001411	9010.93
«2-7» по оси «Б»	0.01984	0.000333	11428.85
По оси «7»	0.03604	0.003139	7283.4
«7-8» по оси «И»	0.06398	0.002069	3035.67
По оси «8»	0.03339	0.001922	7794
«Б-Е» по оси «б»	0.0369	0.002575	6301.2
«2-7» по оси «Е»	0.05259	0.001628	3984.92

Этап 3. Расчет осадок фундаментов и коэффициента жесткости основания по модели Клепикова при соотношении  $E_{c1}/E = 5$ .

Таблица 3

Результаты расчетов осадки фундамента и коэффициента жесткости основания по модели Клепикова при соотношении  $E_{c1}/E = 5$

Фундаменты в осях	Средняя осадка S, м	Относительная осадка $\Delta S/L$ , м	Коэффициент жесткости основания $C_z$ , кН/м <sup>3</sup>
«1-2» по оси «А»	0.0124	0.00002	14805
По оси «1»	0.01497	0.00002	15030.8
«1-2» по оси «И»	0.0137	0.0004	15105.4
По оси «2»	0.0147	0.0004	14369.93
«2-7» по оси «Б»	0.0155	0.00028	14604.92
По оси «7»	0.0241	0.00152	10468.47
«7-8» по оси «И»	0.0389	0.00053	4978.167
По оси «8»	0.0301	0.00124	8423.933
«Б-Е» по оси «б»	0.0248	0.00136	9333.6
«2-7» по оси «Е»	0.0295	0.00127	7487.385

### Выводы:

1. Грунты обладают распределительными свойствами. Эти свойства проявляются в форме влияния на осадки построенного здания нагрузок от вновь строящегося здания. В этой связи модель Винклера, не учитывающая распределительные свойства грунта, не может быть использована в качестве расчетной грунтовой модели для данного случая (рис. 3).

2. Выполненный анализ показал, что модель упругого полупространства существенно преувеличивает распределительные свойства грунта (рис. 5, 6).

3. Применение грунтовой расчетной модели Клепикова является наиболее приемлемой для данного случая. Применение расчетной модели основания в форме коэффициента жесткости Клепикова позволяет учесть, как деформации общего характера, распространяющиеся за пределы нагруженной площади, так и местные деформации, развивающиеся непосредственно под нагрузкой. При этом учитывается как линейная, так и нелинейная зависимость между напряжениями и деформациями.

4. В данной работе при применении расчетной модели основания в форме коэффициента жесткости Клепикова было принято соотношение модуля упругой деформации к модулю общей деформации равное 5. При других соотношениях модулей можно получить результаты более близкие к модели Винклера ( $E_c/E > 6$ ) и модели упругого полупространства ( $E_c/E = 1$ ).

5. На основе расчетной модели основания в форме коэффициента жесткости Клепикова в дальнейшем будет разработана более приближенная к реальности модель грунтового основания для совместного расчета системы «основание – фундамент-верхнее строение» ПК «Ли́ра».

6. Однако стоит отметить, что выбор модели грунта зависит от множества факторов, например, грунтовых условий, условий нагружения и т. п. Поэтому выбор грунтовой модели необходимо выбирать отдельно под каждый расчетный случай.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винников Ю.Л. Імовірнісні методи в геотехніці / Ю.Л. Винников, М.О. Харченко // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава : ПолтНТУ, 2015. – Вип. 1(43). – С. 93–111.

2. Гарагаш Б.А. Надежность пространственных регулируемых систем «основание-сооружение» при неравномерных деформациях основания. В 2-х томах. Том I. – Москва: Издательство АСВ, 2012.- 416 с.

3. Гарагаш Б.А. Надежность пространственных регулируемых систем «основание-сооружение» при неравномерных деформациях основания. В 2-х томах. Том II. – Москва: Издательство АСВ, 2012.- 472 с.

4. Клепиков С.Н. Расчет сооружений на деформируемом основании. - К.: НИИСК, 1996. – 204 с.

5. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения: ТКП 45-5.01-254–2012 (02250). – Введ. 01.07.2012. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2012. – 102 с.