

**Современные подходы к оценке осадок фундаментных плит:
верификация метода послойного суммирования на примере
малоэтажных конструкций**

Бабашов Даниэль Эльманович

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

В работе проведена верификация метода послойного суммирования для оценки осадок фундаментных плит в рамках требований СП 22.13330.2016. Показано, что метод обеспечивает достоверные результаты для песчаных грунтов. Результаты подтверждают соответствие метода нормативным критериям надежности при проектировании малоэтажных зданий.

Ключевые слова: осадка фундамента, послойное суммирование, строительство, расчет.

**Modern approaches to assessing the settlement of foundation slabs:
verification of the layer-by-layer summation method using low-rise structures**

Babashov Daniel Elmanovich

Sholom-Aleichem Priamurskiy State University

Student

Abstract

The paper verifies the layer-by-layer summation method for assessing the settlement of foundation slabs in accordance with the requirements of SP 22.13330.2016. It is shown that the method provides reliable results for sandy soils. The results confirm that the method meets the regulatory criteria for reliability in the design of low-rise buildings.

Keywords: foundation settlement, layer-by-layer summation, construction, and calculation.

1. Введение

Надежность и долговечность зданий напрямую зависят от корректной оценки деформаций оснований, особенно в условиях неоднородных грунтов и интенсивного антропогенного воздействия. По данным статистики, до 30 % аварий зданий и сооружений связаны с превышением предельных осадок фундаментов. Особенно актуальна эта проблема для малоэтажного строительства, где экономические ограничения часто приводят к упрощению геотехнических изысканий и проектирования. Кроме того, изменение климатических условий (повышение уровня грунтовых вод, циклическое промерзание-оттаивание) усиливает риски неравномерных деформаций, что

требует пересмотра традиционных методов расчета. Внедрение точных и верифицированных методик, таких как послойное суммирование, позволяет минимизировать риски, обеспечивая оптимальное сочетание безопасности и экономической эффективности.

В работе Л.В. Дьякова анализируются особенности усадки бетонных фундаментов при использовании природных пористых заполнителей, выявляя возможности снижения деформаций при сохранении прочностных характеристик конструкций [1]. Н.Ю. Сойту и М.А. Алейникова исследуют параметры оседаний фундаментов при изменении коэффициента жесткости основания, предлагая методики оценки и прогнозирования деформационных процессов [2]. Комплексное изучение поведения плитных фундаментов многоэтажных зданий на слабых водонасыщенных грунтах представлено в работе Н.А. Масленникова и А.В. Новожиловой, где детально анализируются критические факторы, влияющие на устойчивость конструкций [3]. Геологические аспекты расчета осадок грунтовых оснований систематизированы в исследовании Г.П. Постоева, А.И. Казеева и М.М. Кучукова, подчеркивающих взаимосвязь между геологическими характеристиками и деформационными процессами [4]. Теоретической базой для всех современных разработок в области механики грунтов и проектирования фундаментов продолжают служить фундаментальные положения, заложенные Н.А. Цытовичем в его классическом труде «Механика грунтов» [5].

Целью данной работы является верификация метода послойного суммирования в контексте расчета осадок фундаментных плит малоэтажных зданий на соответствие требованиям российских и международных стандартов.

Результаты исследования включают расчёт метода послойного суммирования для оценки осадок фундаментных плит в рамках требований СП 22.13330.2016.

2. Теоретические основы расчета осадок

Классификация методов оценки деформаций оснований

Современная механика грунтов предлагает три ключевых подхода к прогнозированию осадок фундаментов:

- Метод упругого полупространства (теория Буссинеска-Фламана) предполагает линейную зависимость между напряжениями и деформациями, что применимо для плотных песков и малосжимаемых глинистых грунтов. Основное ограничение — игнорирование пластических деформаций и времени консолидации.
- Численные методы (МКЭ, МКГ) позволяют учитывать нелинейность грунтовых моделей (Hardening Soil, Mohr-Coulomb), анизотропию и взаимодействие с конструкцией. Однако их применение требует детальных геологических данных и высокой вычислительной мощности, что не всегда оправдано для типовых проектов.

- Эмпирические методы (корреляции с данными штамповых испытаний, SPT-зондирования) эффективны при ограниченной информации о грунтах, но обладают высокой погрешностью (до 25–30 %).

Метод послойного суммирования, нормируемый в СП 22.13330.2016, сочетает аналитическую строгость и практическую применимость, что делает его стандартом для проектирования фундаментных плит в РФ. Его преимущество — явный учет изменения модуля деформации по глубине, что критично для неоднородных оснований.

Принципы метода послойного суммирования: математическая модель и ограничения

Метод основан на гипотезе линейной деформируемости грунта в пределах сжимаемой толщи. Общая осадка определяется как сумма деформаций отдельных слоев толщиной h_i :

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} \cdot h_i}{E_i},$$

где β — коэффициент перехода от плоской задачи к пространственной, $\sigma_{zp,i}$ — среднее дополнительное напряжение в слое, E_i — модуль деформации.

Ключевые допущения:

- Грунт рассматривается как однородная изотропная среда в пределах каждого слоя;
- Глубина сжимаемой толщи H_c ограничивается условием $\sigma_{zp} \leq 0.2\sigma_{zg}$ (для песков) или $\sigma_{zp} \leq 0.5\sigma_{zg}$ (для глин), где σ_{zg} — природное давление;
- Распределение напряжений под подошвой принимается по модели линейно-деформируемого полупространства с коэффициентом α , зависящим от формы фундамента и относительной глубины $\zeta = 2z/B$ (таблицы прил. Д СП 22.13330.2016).

Ограничения метода:

- Недооценка осадок для водонасыщенных глинистых грунтов из-за игнорирования фильтрационной консолидации;
- Невозможность учета краевых эффектов при сложной конфигурации фундаментов;
- Требование однородности грунтовых слоев по всей площади, что редко выполняется в реальных условиях.
- Для компенсации этих ограничений СП 22.13330.2016 рекомендует вводить понижающие коэффициенты для глин ($\beta = 0.5–0.7$) и корректировать E_i на основе полевых испытаний.

3. Численный пример и анализ результатов

Основные формулы:

Расчет осадки методом послойного суммирования:

где:

$$s = \beta \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sigma_{zp,i} \cdot h_i}{E_i} \right),$$

- s — общая осадка, м;
- $\beta=0.8$ — безразмерный коэффициент (для песков и суглинков);
- $\sigma_{zp,i}$ — дополнительное вертикальное напряжение в середине i -го слоя, кПа;
- h_i — толщина i -го слоя, м;
- E_i — модуль деформации грунта i -го слоя, кПа.

Дополнительное давление на грунт:

$$p_0 = p - \sigma_{zg,0}$$

где:

- $p = NA + \gamma \cdot d$ — давление под подошвой плиты, кПа;
- N — нагрузка на фундамент, кН;
- A — площадь плиты, м²;
- γ — удельный вес грунта, кН/м³;
- d — глубина заложения фундамента, м;
- $\sigma_{zg,0} = \gamma \cdot d$ — природное давление грунта на глубине заложения, кПа.

Напряжение на глубине z :

$$\sigma_{zp} = p_0 \cdot \alpha,$$

где α — коэффициент, зависящий от соотношения размеров плиты и глубины (берется из таблиц СНиП).

Исходные данные:

- Размеры плиты: 6×6 м ($B=L=6$ м);
- Глубина заложения: $d=1.5$;
- Нагрузка: $N=7200$ кН;
- Грунт: песок средней крупности ($E=20$ МПа= $20\,000$ кПа, $\gamma=18$ кН/м³);
- Сжимаемая толща: 4 м (разбита на 4 слоя по 1 м).

Расчет давления под подошвой

Площадь плиты:

$$A = 6 \times 6 = 36 \text{ м}^2$$

Давление от нагрузки:

$$N/A = 7200/36 = 200 \text{ кПа}$$

Давление от веса грунта:

$$\gamma \cdot d = 18 \times 1.5 = 27 \text{ кПа}$$

Общее давление:

$$p = 200 + 27 = 227 \text{ кПа}$$

Природное давление:

$$\sigma_{zg,0} = 27 \text{ кПа}$$

Дополнительное давление:

$$p_0 = 227 - 27 = 200 \text{ кПа}$$

Распределение напряжений по слоям

Коэффициенты α для квадратной плиты ($L/B=1$):

Таблица 1.

Глубина от подошвы z , м	$\zeta = 2z/B$	α
0.5 (середина 1-го слоя)	0.17	0.93
1.5	0.5	0.64
2.5	0.83	0.42
3.5	1.17	0.27

Напряжения $\sigma_{zp,i}$:

- Слой 1: $200 \times 0.93 = 186200 \times 0.93 = 186 \text{ кПа}$;
- Слой 2: $200 \times 0.64 = 128200 \times 0.64 = 128 \text{ кПа}$;
- Слой 3: $200 \times 0.42 = 84200 \times 0.42 = 84 \text{ кПа}$;
- Слой 4: $200 \times 0.27 = 54200 \times 0.27 = 54 \text{ кПа}$.

Расчет осадки

$$s = 0.8 \cdot \left(\frac{186 \cdot 1}{20\,000} + \frac{128 \cdot 1}{20\,000} + \frac{84 \cdot 1}{20\,000} + \frac{54 \cdot 1}{20\,000} \right)$$

$$s = 0.8 \cdot (0.0093 + 0.0064 + 0.0042 + 0.0027) = 0.8 \cdot 0.0226 = 0.0181 \text{ м} = 18.1 \text{ мм}.$$

Проверка нормативных требований:

Согласно СП 22.13330.2016, предельно допустимая осадка для малоэтажных зданий — 80 мм.

Результат: $18.1 \text{ мм} < 80 \text{ мм}$.

Длина перемещения (осадка) фундаментной плиты составляет 18.1 мм, что находится в пределах нормативных значений. Усадка не превышает допустимых пределов, следовательно, основание удовлетворяет требованиям надежности и устойчивости.

4. Заключение

Расчет осадки фундаментной плиты 6×6 м методом послойного суммирования показал значение 18.1 мм, что значительно ниже предельно допустимых 80 мм по СП 22.13330.2016. Метод подтвердил свою эффективность для песчаных грунтов при соблюдении условий норм: корректном определении модуля деформации ($E=20E=20 \text{ МПа}$), распределении напряжений через коэффициенты α и учете глубины сжимаемой толщи. Осадка находится в безопасных пределах, что гарантирует надежность основания. Для глинистых грунтов или сложных конструкций рекомендуется дополнять расчет численным моделированием. Полученные

результаты доказывают соответствие проекта нормативным требованиям устойчивости и долговечности.

Библиографический список

1. Дьякова Л.В. Усадка бетонного фундамента на природных пористых заполнителях // Будущее знаний: вопросы развития науки. 2025. С. 29–32. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82644763>
2. Сойту Н.Ю., Алейникова М.А. Определение параметров оседаний фундаментов при изменении коэффициента жесткости основы // Инновации и инвестиции. 2023. № 1. С. 200–203. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50236108>
3. Масленников Н.А., Новожилова А.В. Исследование усадок плитных фундаментов многоэтажного здания на слабых водонасыщенных грунтах // Инновации и инвестиции. 2024. № 2. С. 615–618. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=62895631>
4. Постоев Г. П., Казеев А. И., Кучуков М. М. Геологические основы расчета осадок грунтовых оснований // Грунтоведение. 2023. №. 2(21). С. 29-35. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65654081>
5. Цытович Н. А. Механика грунтов. М.: Высшая Школа, 1983.
6. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений