

Из-за быстрого роста количества устройств и направленности на скорость и эффективность передачи информации, а не на безопасность, зачастую IoT-устройства не шифруют свой трафик, что привело к тому, что большинство из них «заражены». В настоящий момент большинство кибератак производят с помощью IoT-устройств. Ботнеты стали основой 90 % сложных многовекторных атак 2025 года, количество IoT-устройств в ботнетах, осуществляющих DDoS-атаки, выросло в пять раз (с 200 000 до 1 000 000). Для безопасности необходимо:

- 1 Сегментирование сети, т. е. изолирование от общей сети.
- 2 Замена стандартных логинов и паролей.
- 3 Мониторинг трафика.
- 4 Своевременные обновления.

Таким образом, развитие технологии «Интернет вещей» и увеличение количества IoT-устройств привело к тому, что вопрос кибербезопасности стал одним из главных, в настоящий момент нет единого протокола шифрования, который мог бы сбалансировать скорость передачи информации и ее защиту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 NB-IoT: как он работает? Ч. 1. // ХАБР. – URL: https://habr.com/ru/companies/ru_mts/articles/430496/ (дата обращения: 29.04.2026).

Получено 29.05.2026

ISSN 2227-1155. Сборник студенческих научных работ.
Вып. 31. Гомель, 2026

УДК 624.159.2

П. А. ПЕТРОВЕЦ (ПСм-22)

Научный руководитель – канд. техн. наук *В. В. ТАЛЕЦКИЙ*

СРАВНЕНИЕ ОСАДКИ ФУНДАМЕНТОВ, РАССЧИТАННОЙ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ

Рассмотрены варианты определения осадки ленточных фундаментов на слоистом основании методом послойного суммирования и методом эквивалентного слоя. Рекомендуется в сложных грунтовых условиях применять метод послойного суммирования, а для предварительных проработок и простых случаев – метод эквивалентного слоя, как более простой при расчете.

Определение осадок фундаментов имеет огромное практическое значение, так как расчет оснований по деформациям является обязательным для всех зданий и сооружений.

В соответствии с нормами [1] рекомендуется применять следующие методы расчета конечных абсолютных осадок уплотнения основания фундаментов:

а) метод послойного суммирования с использованием расчетной схемы линейно-деформируемого полупространства, ограниченного условной глубиной сжимаемой толщи H_c ;

б) метод линейно-деформируемого слоя конечной толщины;

в) метод эквивалентного слоя.

В настоящей работе выполнено сравнение величины осадки ленточных фундаментов, рассчитанной методом послойного суммирования и методом эквивалентного слоя.

Метод послойного элементарного суммирования заключается в том, что осадку грунта под действием нагрузки от сооружения определяют как сумму осадок эквивалентных слоёв грунта такой толщины, для которых можно применять при расчетах средние значения действующих напряжений и средние значения характеризующих грунты коэффициентов.

Для отдельно выделенных слоев сжимающей толщи учитываются только осевые максимальные сжимающие напряжения σ_{zp} , а осадки определяют при условии невозможности бокового расширения грунта.

При определении осадок условно выделяют в грунте под центром подошвы фундамента вертикальную призму единичным сечением и высотой от уровня подошвы до глубины активной зоны сжатия h_a . Для различных горизонтальных сечений выделенной призмы определяют вертикальное природное давление в грунте σ_{zg} и величину дополнительных напряжений σ_{zp} . Осадка определится по формуле

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

где h_i – мощность отдельных слоев грунта, на которые разбивается сжимаемая толщина грунта, значение h_i принимается не более $0,4b$ (b – ширина фундамента); β – коэффициент, зависящий от бокового расширения грунта, принимаемый равным 0,8 для всех грунтов, как безразмерный коэффициент, упрощающий расчет; E_i – модуль деформации i -го слоя грунта;

$\sigma_{zp,i_{cp}} = \frac{\sigma_{zp,i-1} + \sigma_{zp,i}}{2}$; h_a – глубина активной зоны сжатия, соответствует такой глубине, ниже которой деформациями грунтовой толщи можно пренебречь. В соответствии с нормами [1] эта глубина должна удовлетворять условию $\sigma_{zp,max} \leq 0,2\gamma H$, т. е. максимальное давление от внешней нагрузки должно быть меньше 20 % давления от собственного веса слоя грунта высотой H от природного рельефа до активной глубины сжатия h_a .

Дополнительные вертикальные нормальные напряжения в i -м слое основания на глубине z , отсчитываемой от подошвы фундамента, $\sigma_{zp,i}$ определяются по формуле

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

где α – коэффициент затухания напряжений, принимаемый в зависимости от формы подошвы фундамента, соотношения его сторон $\eta = l/b$ и относительной глубины $\xi = 2z/b$; p_0 – дополнительное вертикальное давление на основание в уровне подошвы фундамента: $p_0 = p_m - p_{zg,0}$. Здесь p_m – среднее давление под подошвой фундамента от приложенной к нему нагрузки; $p_{zg,0}$ – вертикальное природное давление в грунте на уровне подошвы фундамента от веса вышележащих грунтов ненарушенного сложения

$$p_{zg,0} = \sum_{i=1}^n (\gamma_{II,i} h_i).$$

Здесь $\gamma_{II,i}$ – удельный вес i -го слоя грунта природного сложения, расположенного выше отметки подошвы фундамента; h_i – толщина i -го слоя грунта, расположенного выше отметки подошвы фундамента.

Вертикальное давление от собственного веса грунта в любой точке основания на расстоянии z от подошвы фундамента $p_{zg,i}$ определяется по формуле

$$p_{zg,i} = p_{zg,0} + \sum_{i=1}^n \gamma_{II,i} h_i.$$

Здесь $\gamma_{II,i}$ – удельный вес i -го слоя грунта природного сложения, расположенного ниже отметки подошвы фундамента; h_i – толщина i -го слоя грунта, расположенного ниже отметки подошвы фундамента.

Рассмотрим расчёт осадки фундамента под среднюю стену семиэтажного жилого дома с подвалом [2]. Ширина подошвы фундамента 2,0 м, глубина заложения подошвы фундамента 1,2 м. Сжимаемую толщу грунта разбиваем на слои мощностью $h_i = 0,48$ м и менее.

Среднее давление под подошвой этого фундамента от приложенной к нему нагрузки

$$p_m = 237,13 \text{ кПа.}$$

Вертикальное природное давление в уровне подошвы фундамента от веса вышележащих грунтов ненарушенного сложения

$$p_{zg,0} = 14,0 \cdot 0,2 + 17,8 \cdot 1,65 = 21,36 \text{ кПа.}$$

Тогда дополнительное вертикальное давление на основание в уровне подошвы фундамента

$$p_0 = 237,13 - 21,36 = 215,67 \text{ кПа.}$$

Расчёт осадки фундамента приведен в таблице 1, характеристики слоев грунта и эпюры напряжений в границах сжимаемой толщи основания на рисунке 1.

Метод эквивалентного слоя (метод Н. А. Цытовича) [3] позволяет определить конечную стабилизированную осадку фундаментов на линейно-деформируемых грунтах. Его ключевое отличие от метода послойного суммирования заключается в способе учёта напряжений. Вместо сложной эпюры дополнительных давлений вводится эквивалентная треугольная эпюра, а сжимаемая толща заменяется одним эквивалентным слоем грунта h_e . Конечные осадки уплотнения определяются формуле

$$S = h_e m_v p_0,$$

где m_v – коэффициент относительной сжимаемости грунта однородного основания; p_0 – дополнительное давление в уровне подошвы фундамента; h_e – мощность эквивалентного слоя, м, определяется по формуле

$$h_e = A \omega b,$$

здесь $A \omega$ – коэффициент эквивалентного слоя, равный произведению показателя жесткости формы подошвы фундамента ω и коэффициента относительной поперечной деформации A , определяемого по формуле и зависящего от коэффициента бокового расширения грунта ν_0 ; b – ширина фундамента, м.

Таблица 2 – Расчет осадки послойным суммированием

Номер слоя	$\gamma_i, \text{кН/м}^3$	$h_i, \text{м}$	$\sigma_{zg,i}, \text{кПа}$	$0,2p_{zg,i}, \text{кПа}$	$z_i, \text{м}$	$\xi = 2z/b$	α	$\sigma_{zp,i} = \alpha p_0, \text{кПа}$	$\sigma_{zp,i,ср}, \text{кПа}$	$E_i, \text{МПа}$	$s_i, \text{см}$
1	17,8	0,8	35,6	7,12	0,8	0,8	0,881	208,9	223,0	18,7	0,76
2	17,8	0,8	49,84	9,97	1,6	1,6	0,642	152,2	180,5	18,7	0,62
3	17,8	0,25	54,29	10,86	1,85	1,85	0,585	138,7	145,5	18,7	0,16
4	10,1	0,8	62,37	12,47	2,65	2,65	0,431	102,2	120,5	18,7	0,41
5	10,1	0,2	64,39	12,88	2,85	2,85	0,414	98,17	100,2	18,7	0,09
Столб воды: 10 кПа			74,39	14,88	2,85						
6	19,2	0,8	89,75	17,95	3,65	3,65	0,333	78,96	88,57	20,5	0,28
7	19,2	0,8	105,1	21,02	4,45	4,45	0,277	65,69	72,32	20,5	0,23
8	19,2	0,7	118,6	23,71	5,15	5,15	0,241	57,15	61,42	20,5	0,17
9	20,3	0,8	134,8	26,96	5,95	5,95	0,21	49,8	53,47	27	0,13
10	20,3	0,8	151	30,21	6,75	6,75	0,186	44,11	46,95	27	0,11
11	20,3	0,8	167,3	33,45	7,55	7,55	0,167	39,6	41,85	27	0,1
12	20,3	0,2	171,3	34,27	7,75	7,75	0,163	38,65	39,13	27	0,02
13	20	0,8	187,3	37,47	8,55	8,55	0,147	34,86	36,76	25,4	0,09

При ($\sigma_{zp} = 34,9 \text{ кПа}$) < ($0,2p_{zg} = 37,5 \text{ кПа}$) расчёт остановлен.

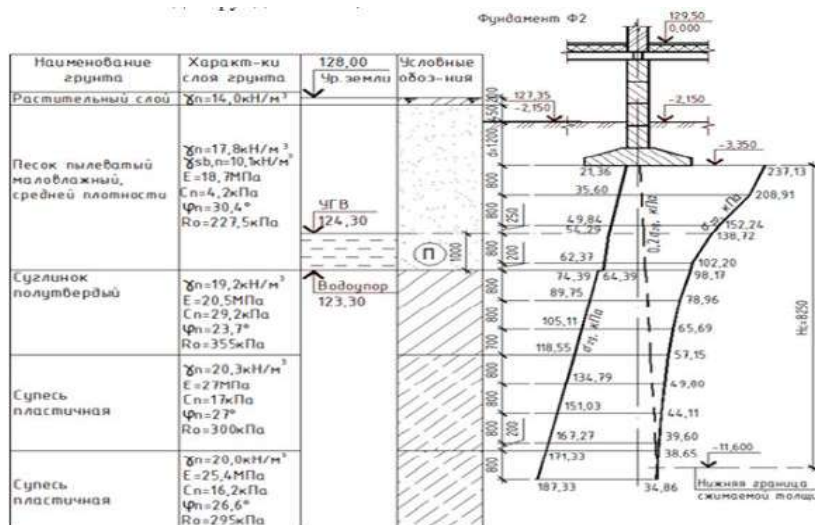


Рисунок 1 – Характеристики слоев грунта и эпюры напряжений в границах сжимаемой толщи основания

Размер сжимаемой толщи H определяется исходя из треугольной эпюры распределения давления в основании фундамента по формуле

$$H = 2h_e.$$

Метод позволяет вычислять осадки фундаментов площадью до 50 м^2 .

Мощность эквивалентного слоя многослойного основания определяется как для однородного основания с заменой в формуле значения m_v на средний коэффициент относительной сжимаемости m_{vm} , который в пределах эквивалентного слоя определяется по формуле

$$m_{vm} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i m_{v,i} z_i}{2h_e^2},$$

где h_i – мощность отдельных слоев основания в пределах сжимаемой толщи H ; $m_{v,i}$ – коэффициент относительной сжимаемости отдельных слоев основания в пределах сжимаемой толщи; z_i – расстояние от нижней границы сжимаемой толщи до середины рассматриваемого слоя. Схема эквивалентной эпюры уплотняющих давлений приведена на рисунке 2.

Коэффициент относительной сжимаемости отдельных слоев $m_{v,i} = \beta_i / E_i$. Коэффициент β_i определяется по формуле

$$\beta_i = 1 - \frac{2v_i^2}{1 - v_i},$$

где E_i – модуль деформации отдельных слоев основания в пределах сжимаемой толщи H ; v_i – коэффициент относительной поперечной деформации отдельного слоя грунта.

Для нашего расчета предварительно назначаем высоту (мощность) сжимаемой толщи $H = 4b = 4 \cdot 2 = 8$ м. После чего определяем осредненное значение коэффициента эквивалентного слоя $A\omega_{0, \text{ср}}$.

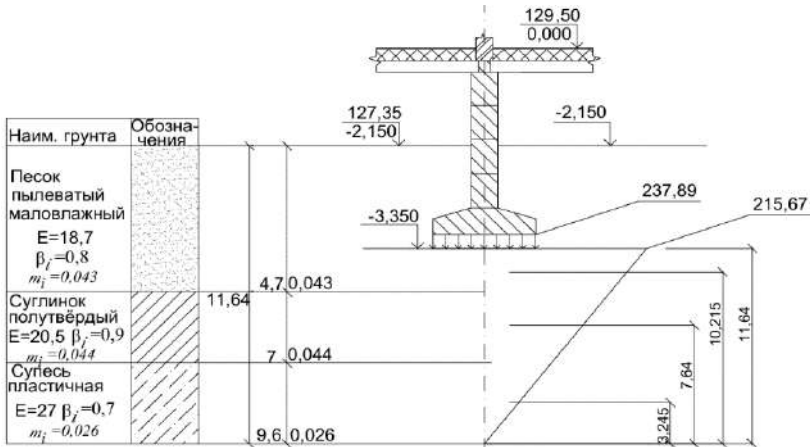


Рисунок 2 – Схема эквивалентной эпюры уплотняющих давлений

По таблице V.6 [3] для пылеватого песка $A\omega_{0,1} = 2,86$ ($v_1 = 0,25$); суглинка полутвердого $A\omega_{02} = 2,71$ ($v_2 = 0,2$); супеси пластичной $A\omega_{03} = 3,12$ ($v_3 = 0,3$).

$$A\omega_{0, \text{ср}} = \frac{A\omega_{0,1}h_1 + A\omega_{0,2}h_2 + A\omega_{0,3}h_3}{h_1 + h_2 + h_3} = \frac{2,86 \cdot 2,85 + 2,71 \cdot 2,3 + 3,12 \cdot 2,85}{2,85 + 2,3 + 2,85} = 2,91.$$

Мощность эквивалентного слоя

$$h_e = A\omega_{0, \text{ср}}b = 2,91 \cdot 2 = 5,82 \text{ м.}$$

Размер сжимаемой толщи

$$H = 2h_e = 2 \cdot 5,82 = 11,64 \text{ м.}$$

По профилю напластования грунтов определяем расстояния z от нижней границы сжимаемой толщи H до середины каждого слоя:

$$\begin{aligned} z_1 &= 11,64 - 2,85 / 2 = 10,215; \\ z_2 &= 11,64 - 2,85 - 2,3 / 2 = 7,64; \\ z_3 &= 11,64 - 2,85 - 2,3 - 6,49 / 2 = 3,245. \end{aligned}$$

Коэффициент относительной сжимаемости отдельных слоев при $\beta_1 = 0,8$; $\beta_2 = 0,9$; $\beta_3 = 0,7$ и модулях деформации слоев $E_1 = 18,7$ МПа; $E_2 = 20,5$ МПа; $E_3 = 27$ МПа составят $m_{v1} = 0,043$; $m_{v2} = 0,044$; $m_{v3} = 0,026$.

Средний коэффициент относительной сжимаемости

$$m_{vm} = \frac{2,85 \cdot 10,215 \cdot 0,043 + 2,3 \cdot 7,64 \cdot 0,044 + 6,49 \cdot 3,245 \cdot 0,026}{2 \cdot 5,82^2} = 0,038$$

Дополнительное давление в уровне подошвы фундамента $p_0 = 215,67$ кПа, тогда величина полной стабилизированной осадки

$$S = h_e m_{v,m} p_0 = 5,82 \cdot 0,038 \cdot 215,67 \cdot 10^{-3} = 0,0477 \text{ м} = 4,77 \text{ см.}$$

В результате проведенных расчетов установлено, что осадка фундамента при расчете по методу послойного суммирования составляет 3,16 см, а рассчитанная методом эквивалентного слоя 4,77 см. В обоих случаях осадка меньше допустимой строительными нормами.

Выводы. Метод послойного суммирования – более трудоёмкий, требует построения эпюр и разбивки на множество слоёв. Боковое расширение грунта учитывается усреднённым коэффициентом $\beta = 0,8$. Достоинствами являются универсальность, возможность расчёта ленточных фундаментов, слоистых оснований и крена сооружения.

Метод эквивалентного слоя – учитывает коэффициент Пуассона (через произведение $A\omega$), что обосновано физически. Проще и быстрее в вычислениях и удобен для предварительных расчётов и однородных грунтов.

Оба метода дополняют друг друга. Для ответственных сооружений в сложных грунтовых условиях предпочтительнее метод послойного суммирования, для предварительных проработок и простых случаев – метод эквивалентного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ТКП 45-5.01-67-2007 (02250). Фундаменты плитные. Правила проектирования. – Введ. 02.04.2007. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2008. – 136 с.
- 2 **Талецкий, В. В.** Проектирование фундаментов промышленных и гражданских зданий : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / В. В. Талецкий, М. В. Маркова. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 85 с.
- 3 **Цытович, Н. А.** Механика грунтов (краткий курс) / Н. А. Цытович. – М. : Высш. шк., 1983. – 289 с.

Получено 17.06.2026