

9. Федоров В.И., Федорова Н.Я. Фундаменты в экстремальных природных условиях Дальнего Востока и Сибири (исследования, поиски, открытия). – Владивосток: Изд-во ДВГТУ. – 2003. – 292 с.

10. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М.: Высш. школа, 1973. – 448 с.

THE EFFECT OF FROST HEAVING ON FOUNDATIONS AND THE ANALYSIS OF MEASURES TO PREVENT THE PHENOMENON

ULANOV Alexander Olegovich

Master's Student

Bratsk State University

Bratsk, Russia

The purpose of the article is to consider the main processes of the phenomenon of soils subject to frost heaving. To analyze the effect of frost heaving on the stability of the foundations and compile a list of methods to combat this phenomenon Frost heaving of soils is a complex phenomenon that leads to unpredictable consequences both at the construction stage and at the stage of operation of the facility. The phenomenon leads to the fact that the foundations of buildings and structures can rise when the ground mass freezes and fall during their melting. The uneven flow of these processes often leads the building not only to an emergency condition, but also to the rapid development of defects and later destruction.

Keywords: frost heaving, foundation, foundation, process, deformation of the foundation, building, heaving soil.

К ВОПРОСУ ОБ ИЗУЧЕННОСТИ МЕТОДОВ И СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСАДКИ ФУНДАМЕНТОВ

УЛАНОВ Александр Олегович

магистрант

ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»

г. Братск, Россия

Статья посвящена изучению способов и методов расчета и их описание аналитическим способом определения осадок. Из года в год нормативные документы претерпевают различные правки и серьезные изменения по тем или иным расчетным данным поэтому тему можно считать актуальной. Рассмотрены тезисы и достижения российских ученых, которые посвятили время изучению темы о способах и методах описания предотвращения развития осадок оснований, которые могут быть неравномерными и тем самым приводить здания и сооружения к различным, по степени аварийности, деформациям. Составлена таблица по известным методам, упрощающая поиск и понимание предназначения расчетов.

Ключевые слова: деформации грунта, осадка, просадка грунта, метод расчета, зависимость.

Для описания процесса деформирования грунта основания при нелинейном характере его работы возможно использовать инженерные (приближенные) методы. В них предполагается, как правило, использование феноменологических зависимостей, отражающих изменение НДС основания для рассматриваемых типов фундаментов в определенных грунтовых условиях.

В зависимости от теоретических предпо-

сылок, результатов экспериментальных исследований и вводимых допущений инженерные методы возможно классифицировать следующим образом [3; 6; 13]:

– решения, основанные на использовании зависимостей теории линейно деформируемой среды, учитывающие непостоянство деформационных свойств грунта в зависимости от его НДС;

– решения, использующие упрощенные

расчетные схемы и данные, полученные в ходе экспериментальных исследований;

– иные решения, в том числе совмещающие первые два подхода.

Информацию по методам сведем в таблицу 1 с отражением краткого описания предназначения [1-14].

Оставил большой след в изучении реологических основ механики грунтов [2]. В этом методе модуль деформации E_i принимают на основании опытов на одноосное сжатие или из штамповых испытаний в переменном виде, зависящем от нагрузки и фактора времени, соответствующего планируемому сроку службы здания, т. е.: $E(p, t) = \frac{p}{f(p)} \Phi(t)$

Для применения данного метода возможно использовать вариант степенного закона деформирования грунта основания. Степенной закон характеризуется следующей формулой: $E(p, t) = \frac{A_z^{1/m} \cdot p^{m-1/m}}{1+\delta(t)^\beta}$ где A_z, m – коэффициенты, учитывающие деформирование и упрочнение при мгновенном (условно) нагружении; δ, β – параметры, получаемые из испытаний грунта на ползучесть.

При наличии жесткого подстилающего слоя, расположенного на глубине h от подошвы фундамента, формула осадки для полосовой нагрузки шириной b представляет формулу: $S = \frac{(1-\nu)^2 \cdot n \cdot b \cdot p \cdot (T+\delta(t))}{E_0 \cdot [T \cdot (1-\frac{p}{p_s}) + t \cdot (1-\delta \cdot \frac{p}{p_s})]}$, где n –

коэффициент учета влияния жесткого подстилающего основания $n = \frac{1,07 \cdot h/b}{1+0,4 \cdot h/b}$ (остальные переменные см. в таблице 1 № 3).

Приближенный метод [14] на основе метода эквивалентного слоя с учетом указанных положений, при интенсивности.

В методе «определения осадок малоуглубленных фундаментов при давлениях, превышающих критическое» [5] рассматривается дифференциальное уравнение, основанное на зависимости обратных величин производных функции осадки $S'(P)$ – котангенсов углов наклона $k(P)$ функции $S = f(P)$ – от прикладываемого давления P . Производную рассматриваемой зависимости при $P_i = P_{пр.}$ возможно представить в виде $t \cdot S'k$, где S'_k – производная $S(P)$ при $P_i = P_{н.кр.}$, определяемая из решения линейной задачи, at – параметр, обуславливающий характер перехода от линейной к нелинейной зависимости.

Тогда при $t = 1$ переход является гладким, а при $t \neq 1$ происходит скачкообразное изменение наклона. На основании сопоставления с результатами экспериментов указывается возможность учета нелинейной стадии деформирования грунтов до $1,3 \cdot R$ в рассмотренных инженерно-геологических условиях при обосновании проектных решений с точки зрения несущей способности основания [8].

Таблица 1

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ АНАЛИТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ОСАДОК ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ

№ п/п	ФИО автора/ов метода	Краткое описание	Формула	Переменные из формулы
1	М.В. Малышев А.И. Боткин	Основа на учитывающим нелинейность деформирования грунта при его нагружении, основано на отсутствии учета в рамках последней нелинейности сдвиговых деформаций в грунте	$S = \frac{B}{2 \cdot (1 - tg\varphi)} - \frac{qb}{N_1 \gamma b + N_2 \gamma h + N_1 c - q}$	где B – параметр деформирования грунта, который устанавливается экспериментально в соответствии с условием А.И. Боткина; N_1, N_2, N_3 – коэффициенты несущей способности грунта; h – заглубление штампа, м

2	Ю.Н. Мурзенко	<p>Основан на послойном элементарном суммировании осадки при рассмотрении плоской задачи для установления связи между напряжениями и деформациями:</p> <p>Функция $\bar{E} = f(P)$ при рассмотрении интервала давления на грунт основания, характеризующегося нелинейностью, предназначена для установления закона деформирования упругопластического основания</p> <p>В результате введения функции \bar{E}, формула для определения осадки упругопластического основания примет следующий вид</p>	$\frac{\varepsilon}{\sigma} = \frac{1}{E \cdot \bar{E}}$ $S = \frac{3}{8 \bar{E}} \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{E_i} \cdot [(\sigma_z - \sigma_y)_i + (\sigma_z - \sigma_y)_{i+1}]$	<p>где E – начальный модуль деформации грунта основания, МПа; \bar{E} – безразмерная функция, для упругого состояния грунта принимается равной единице.</p> <p>где h_i – высота i-го слоя, м; σ_y, σ_z – соответственно горизонтальные и вертикальные напряжения в рассматриваемой точке грунта основания, МПа</p>
3	С.С. Вялов Ф. Шлейхера	<p>Основан на предположении, что распределение напряжений осуществляется в соответствии с положениями теории упругости, а определение осадки необходимо производить с учетом нелинейности и ползучести</p> <p>Определения осадки грунта по методу С.С. Вялова, представленного в виде однородного полупространства (неограниченной толщины)</p>	$S = \sum_{i=1}^n \frac{\beta}{E_i} \cdot p_i \cdot h_i$ $\beta = \frac{1 - 2\mu^2}{1 - \mu}$ $S = \frac{(1 - \nu)^2 \cdot \omega \cdot A_z^{1/m}}{b \cdot p^{1/m} \cdot 1 + \delta(t)^\beta} \cdot A_z^{1/m}$	<p>где p_i – давление в i-м слое грунта основания, кПа; h_i – толщина i-го слоя грунта основания, м; E_i – модуль деформации i-го слоя грунта основания, кПа, $E_i = f(p, t)$</p> <p><i>Обозначение см. выше</i></p>
4	З.Г. Тер-Мартirosян	<p>Основан на учете упругопластических деформаций оснований при действии местной нагрузки. базируется на существующих точных решениях соответствующей задачи в упругой и пластической постановке, а также на приближенном методе определения мощности активной зоны нелинейно деформируемого полупространства</p>	$S = \frac{q \cdot b}{E} \cdot [\omega \cdot (1 - \nu)^2 + \frac{\Pi}{q_0 - q}]$	<p>где b – ширина половой нагрузки или диаметр нагруженной площади, м; q_0 – интенсивность предельной критической нагрузки, кПа; ω – коэффициент, зависящий от формы и жесткости фундамента; Π – коэффициент, учитывающий накопление пластических деформаций в грунте основания</p>

5	В.Г. Березанцев В.В. Соколовский	<p><i>Дополнение к формуле выше*</i></p> <p>С учетом указанных положений, при интенсивности нагрузки q осадка приближенно вычисляется по следующей формуле: Интенсивность предельной критической нагрузки q_0 определяется согласно решениям:</p>	$q = N_1 \gamma b + N_2 \gamma h + N_1 c$	<p>где N_1, N_2, N_3 – коэффициенты несущей способности грунта; h – глубина приложения местной нагрузки, м</p>
6	В.В. Лушников	<p>Предполагает задание некоторой функции $S = f(P)$, соответствующей основным положениям в части деформирования грунта при нелинейной работе основания при вдавливании штампа</p>	$k(P) = \frac{1}{S'(P)} = (a \cdot p + b)^v$ $k(P)a = \frac{\frac{1}{-k_0^v}}{P_{np} - P_{н.кр}};$ $b = -aP_{np}$	<p>где v – параметр, отражающий кривизну зависимости $k = f(P)$, устанавливаемый на основе анализа испытаний грунтов штампами при их нелинейной работе</p>
7	М.В. Малышев Н.С. Никитина	<p>Предназначен для определения осадки фундамента при нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями грунта в условиях как однородного, так и неоднородного основания</p>	$S = S_R \cdot \left[1 + \frac{(P_{np} - R) \cdot (P - R)}{(R - \sigma_{sq0}) \cdot (P_{np} - P)} \right]$	<p>где S_R – расчетная осадка грунта основания при $P = R$, м; P_{np} – предельное давление на грунт основания, кПа (при многослойном основании используется методика Н.С. Никитиной [105]); P – среднее давление под подошвой фундамента, кПа; $\sigma_{sq,0}$ – вертикальное бытовое напряжение в уровне подошвы фундамента, кПа</p>
8	В.М. Кириллов В.Г. Березанцев	<p>Заключается в использовании следующей формулы для определения осадки жесткого штампа при его нагружении давлением p</p>	$S = \frac{\omega \cdot (1 - \nu)^2 b}{E} \cdot \left[p_1 + \frac{(p_2 - p_1) \cdot (p - p_1)}{p_2 - p} \right]$	<p>где p_1 – начальное критическое давление на грунт основания (формула (1.2)), кПа; p_2 – предельное давление на грунт основания, кПа</p>
		<p><i>Дополнение к формуле выше*</i></p> <p>Предназначена для вычисления осадки однородного полупространства. При рассмотрении слоя с относительной толщиной λ предельное давление на основание необходимо определять по следующей эмпирической зависимости</p>	$p_2 = \cdot cth(\lambda)$ $\sigma_2 = A\gamma b + B\gamma h + Dc$	<p>где σ_2 – предельная нагрузка при $\lambda \rightarrow \infty$ (для условий однородного основания), кПа; A, B, D – табулированные функции угла внутреннего трения φ</p>

9	А.К. Бугров	Является приближенным и базируется на обобщении большого объема расчетов оснований в рамках смешанной задачи теории упругости и теории пластичности	$S_{уп} = S_y \cdot K_{пл.}$	где S_y – осадка фундамента при линейной работе грунта основания, см; $K_{пл.}$ – коэффициент, учитывающий возрастание деформаций в результате развития в основании зон предельного напряженного состояния
		Определение коэффициента $K_{пл.}$ для однородных оснований производится на основе графиков, для применения которых необходимо вычислить дополнительный параметр x :	$x = \frac{P/(R_0 - 1)}{P_{пр}/(R_0 - 1)}$	где R_0 – расчетное сопротивление грунта, кПа, при $\gamma_1 = \gamma_2 = k = 1$
10	А.В. Пилягин	На основе данного анализа и оценки наиболее распространенных в практике строительства вариантов фундаментов разработаны приближенные зависимости для вычисления осадки Осадку ленточных или столбчатых фундаментов на упругопластическом основании	$S = \frac{4,11 \cdot S_0}{k}$	где S_0 – осадка, вычисляемая по формуле (1.6), м; k – расчетный параметр, характеризующий нелинейность основания:
		<i>Дополнение к формуле выше*</i>	$k = \varphi^{0,273} \cdot \left(\frac{c}{\gamma \cdot S_0}\right)^{0,08} \cdot \left(\frac{d}{S_0}\right)^{0,015}$	

*Примечание: * фраза: «Дополнение к формуле выше» – Автором/ми метода могли быть коллектив ученых или метод был усовершенствован после его известности в кругу ученых-исследователей, и тогда в таком случае, порядковый номер располагается на две и более строчек.*

В основу разработки пособия по проектированию оснований зданий и сооружений [13] легли разработки [8].

Так в СП 23.13330 «Основания гидротехнических сооружений», реализован метод смешанной задачи теории упругости и теории пластичности, позволяющий осуществлять расчеты оснований при давлениях, превышающих значение R [4].

Исследования А.В. Пилягина направлены на решение задач, связанных с расчетом фундаментов при давлениях, превышающих R . Для ее решения осуществляется анализ наиболее существенных факторов, влияющих на значение осадки, с использованием аппарата теории анализа размерностей и подобия [11-12].

Проведенный анализ работ свыше десяти методов аналитического расчета просадки оснований фундаментов, которые рассматривают основные инженерные методы и способы расчета осадки грунта основания, применяющиеся для фундаментов мелкого заложения. Представлена таблица, которая будет полезна студентам, магистрантам занимающихся исследованиями в области просадки фундаментов оснований. Все они в той или иной форме учитывают различные аспекты нелинейной работы основания. При этом границы применимости каждого из них, как правило, ограничены определенным кругом расчетных задач, в рамках которых они являются верифицированными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугров А.К. Расчеты упругопластических оснований и проектирование фундаментов на них / А.К. Бугров, А.А. Исаков // Исследование и расчеты оснований и фундаментов в нелинейной стадии работы. – Новочеркасск, 1986. – С. 18-25.
2. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов : учеб. пособие для строительных вузов. – М.: Высш. школа, 1978. – 447 с.
3. Гольдштейн М.Н. Расчеты осадок и прочности оснований зданий и сооружений / М.Н. Гольдштейн, С.Г. Кушнер, М.И. Шевченко. – Киев: Будівельник, 1977. – 208 с.
4. Кириллов В.М. Осадка жесткого штампа на нелинейном основании // Способы устройства фундаментов и подземных этажей в условиях слабых и мерзлых грунтов: межвуз. темат. сб. тр. – Л., 1985. – С. 22-30.
5. Лушников, В.В. Метод определения осадок малозаглубленных фундаментов при давлениях, превышающих критическое // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала: сборник научных трудов. – Пермь, 1983. – С. 40-47.
6. Малышев М.В. Механика грунтов. Основания и фундаменты (в вопросах и ответах) / М.В. Малышев, Г.Г. Болдырев. Учеб. пособие. – М., 2004. – 328 с.
7. Малышев М.В. О совместной работе жестких фундаментов и нелинейнодеформируемого основания / М.В. Малышев, Ю.К. Зарецкий, В.Н. Широков [и др.] // Труды к VIII Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. – М., 1973. – С. 97-104.
8. Малышев М.В. Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1994. – 228 с.
9. Мурзенко Ю.Н. Проектирование оснований зданий и сооружений в нелинейной стадии работы: учеб. пособие. – Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1981. – 88 с.
10. Мурзенко Ю.Н. Расчет оснований зданий и сооружений в упругопластической стадии работы с применением ЭВМ. – Л.: Стройиздат, 1989 – 135 с.
11. Пилягин А.В. Исследование напряженно-деформированного состояния оснований фундаментов с учетом упругопластических свойств грунтов / А.В. Пилягин. – М., 2003. – 60 с.
12. Пилягин А.В. Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М.: Изд-во АСВ, 2017. – 397 с.
13. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) / НИИОСП им. Герсеванов. – М.: Стройиздат, 1986. – 415 с.
14. Тер-Мартirosян З.Г. Приближенный метод учета упругопластических деформаций грунтов оснований сооружений при действии местной нагрузки // Экспериментально-теоретические исследования нелинейных задач в области оснований и фундаментов: – Новочеркасск, 1979. – С. 98-103.

ON THE ISSUE OF THE STUDY OF METHODS AND METHODS FOR DETERMINING THE SUBSIDENCE OF FOUNDATIONS

ULANOV Alexander Olegovich
Master's Student
Bratsk State University
Bratsk, Russia

The article is devoted to the study of methods and methods of calculation and their description by the analytical method of determining precipitation. From year to year, regulatory documents undergo various edits and serious changes according to certain calculated data, so the topic can be considered relevant. The theses and achievements of Russian scientists who have devoted time to studying the topic of methods and methods of describing the prevention of the development of sediments of foundations, which can be uneven and thereby lead buildings and structures to various deformations according to the degree of accidents, are considered. A table has been compiled for calculations using known methods, simplifying the search and understanding of the purpose.

Keywords: soil deformation, sediment, soil subsidence, calculation method, dependence.