

*Я.А. Пронозин, канд. техн. наук, Р.В. Мельников, асп.  
Тюменский государственный архитектурно-строительный  
университет, Россия*

## **ПРОГНОЗ ОСАДОК ФУНДАМЕНТОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ В НЕЛИНЕЙНОЙ ОБЛАСТИ РАБОТЫ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ**

*Предлагается инженерная методика прогноза осадки фундаментов мелко залегания в нелинейной области работы грунтовой основы, сложенной из пылевато-глинистых грунтов. Методика основана на использовании стандартных характеристик грунта и упрощенного представления про напряженно-деформируемое состояние (НДС) грунтовой основы.*

*Пропонується інженерна методика прогнозу осідання фундаментів мілкого залягання в нелінійній області роботи ґрунтової основи, складеної з пилувато-глинистих ґрунтів. Методика основана на використанні стандартних характеристик ґрунту і спрощеного уявлення про НДС ґрунтової основи.*

*Engineering technique of fine compaction foundation settings forecast in non-linear field of ground base made up of dust-clay ground is presented. Technique is based on standard ground characteristics and simplified idea of ground base VAT.*

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами.** Как известно, в настоящее время регламент СНиП в России является рекомендательным и вся ответственность за принимаемые технические решения по устройству оснований и фундаментов ложится на исполнителя проектной документации. Такое положение, с одной стороны, повышает ответственность проектировщиков, с другой стороны – открывает перспективы более полного использования резервов грунтового массива как основания фундаментов зданий и сооружений. Обоснованное использование этих резервов позволяет получать экономически эффективные решения без снижения надежности работы подземной части.

При проектировании зданий на фундаментах мелко заложения важным вопросом является прогноз осадки в период строительства и эксплуатации объекта, так как отказ системы “основание – фундамент” в условиях слабых глинистых грунтов, характерных для территории Западной Сибири, наступает, как правило, по второй группе предельных состояний из-за сверхнормативных значений абсолютных осадок и относительных деформаций.

**Выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена данная статья.** Несмотря на многочисленные экспериментально-теоретические исследования в области деформируемости грунтов, вопрос об

адекватном назначении в расчетах основной деформационной характеристики – модуля деформации  $E$  – остается не до конца изученным. Особенно это касается слабых сильно сжимаемых пылевато-глинистых грунтов. Причиной сложности назначения расчетного модуля деформации для прогноза осадок является, как известно, зависимость сжимаемости грунта от вида напряженного состояния, лабораторных или полевых условий определения характеристик сжимаемости, масштабов штампа при полевых испытаниях [1], вида грунта, его водонасыщенности и т.д. При этом даже самое тщательное определение модуля деформации дает некоторое опосредованное значение, позволяющее получать лишь линейную зависимость осадки фундамента от нагрузки. Таким образом, адекватный прогноз осадки в данном случае возможен лишь в определенном интервале нагружения. Необходимо отметить, что при строительстве на слабых пылевато-глинистых грунтах значения расчетного сопротивления  $R$  зачастую сильно занижаются по отношению к реальным значениям напряжений, которые могут быть восприняты грунтовым основанием на допустимом уровне осадок.

**Анализ последних исследований и публикаций, в которых положено начало решению данной проблемы.** Безусловно, существует ряд моделей грунта, отражающих нелинейность работы грунтового основания под нагрузкой, часть которых реализована в расчетных программах “PLAXIS”, “ANSIS”, “MARC” и др. Однако применение таких продуктов не всегда доступно проектировщику, при этом большая их часть использует в качестве исходных данных ряд параметров, не определяемых стандартными инженерно-геологическими изысканиями. Существуют также методы прогноза осадок фундаментов в нелинейной зоне работы [2], которые достаточно адекватно описывают процесс в однородном слое грунта, но трудно применимы в многослойном основании.

**Цель.** Целью данной статьи является разработка приближенной инженерной методики прогноза осадки фундамента мелкого заложения в нелинейной стадии работы, вплоть до потери несущей способности.

**Изложение основного материала исследования.** Суть метода заключается в использовании различных условий деформирования грунтового основания в зависимости от характера его работы. Весь процесс деформирования основания условно разбивается на два участка: первый – линейный, соответствующий большей частью упругой работе грунта и определяемый в интервале давлений  $0 < p < p^*$ , где  $p^*$  – давление, соответствующее появлению пластических деформаций под краями фундамента; второй – нелинейный, соответствующий появлению и развитию пластических деформаций в интервале давлений  $p^* < p < p^{**}$ , где  $p^{**}$  – критическое давление на грунт, соответствующее потере несущей способности основания. На первом участке осадка рассчитывается по формуле СНиП [3] с использованием штампового модуля деформации  $E_{шт}$ ,

получаемого корректировкой компрессионного модуля деформации  $E_k$  умножением его на коэффициент перехода  $m$  [1]. В заданном интервале давлений основание работает в пространственных условиях с распределением напряжений, соответствующих представлению о распределении напряжений в упругом полупространстве (рис. 1, а). На втором участке при появлении пластических деформаций сдвига на глубине  $z$ , соответствующей распространению сдвиговых деформаций, восприятие напряжений, превышающих  $p^*$ , происходит в условиях, приближенных к одноосному сжатию без возможности бокового расширения. При этом зона пространственной работы грунтового основания от напряжений, превышающих  $p^*$ , сдвигается вниз на глубину развития пластических деформаций сдвига (рис. 1, б). Необходимо отметить, что при этом расчетная граница сжимаемой толщи также несколько смещается в соответствии со смещением эпюры напряжений.

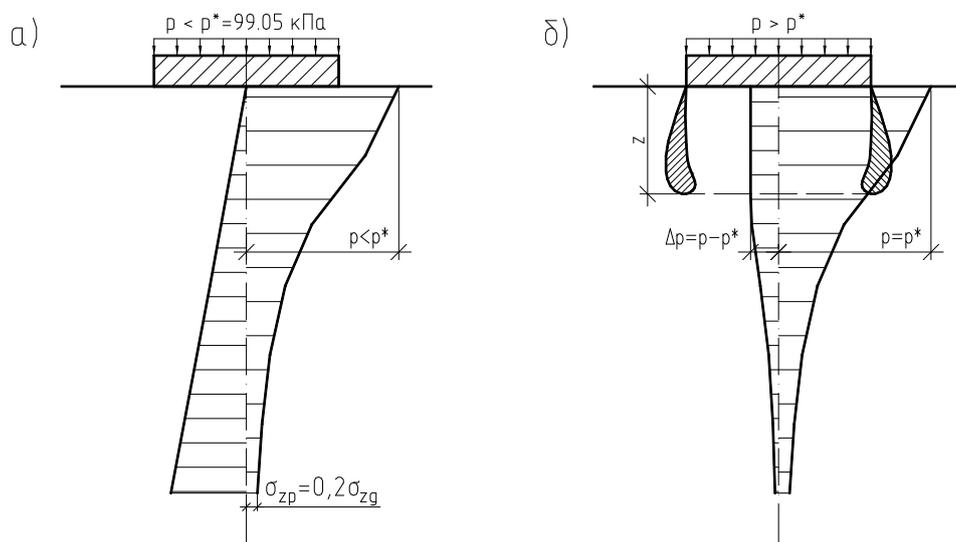


Рис. 1. – Расчетная схема осадки:

а – 1-й участок, до появления пластических деформаций:  $p \leq p^*$ ; б – 2-й участок, появление и развитие пластических деформаций:  $p^* < p < p^{**}$

Для анализа адекватности данного метода прогноза осадок в нелинейной области работы основания были проведены исследования напряженно-деформированного состояния слабого глинистого грунта естественной структуры, нагруженного жестким круглым штампом диаметром 1,2 м. Для изучения НДС основания на глубину до 2,4 м были внедрены грунтовые марки, фиксирующие вертикальную компоненту перемещений  $w_z$ . Осадка штампа измерялась с помощью трех прогибомеров 6ПАО, установленных под углом  $120^\circ$  относительно центра штампа. Перемещения грунтовых марок измерялись прогибомерами, выполненными на базе индикатора часового типа ИЧ-10 (рис. 2).



Рис. 2. – Общий вид круглого штампа, домкрата и измерительных устройств

Нагружение штампа велось гидравлическим домкратом. Упором служили пригрузки из фундаментных блоков. Штамповые испытания проводились согласно ГОСТ [4]. Экспериментальные исследования проводились на площадке строительства многоэтажного жилого дома в котловане глубиной 1,5 м. Основание на глубину до 5 м сложено суглинками тугопластичной, мягкопластичной и текучепластичной консистенции. На глубине от 5 до 7 м залегает песок серый, пылеватый, на глубине 7 – 9 м – супесь пластичная с прослойками суглинка и песка (табл.1). Установившийся уровень грунтовых вод на отметке –3,0 м.

Таблица 1 – Физико-механические свойства грунтов

Вид грунта	Глубина, м	$W_e$ , д. ед.	$I_L$ , д. ед.	$e$ , д. ед.	$\varphi$ , град	$C$ , МПа	$E_k$ , МПа	$E_{шг}$ , МПа
Суглинок тугопластичный	0...1	0,197	0,071	0,76	16	0,011	5,128	20
Суглинок мягкопластичный	1...3	0,27	0,75	0,82	9	0,013	2,51	8,032
Суглинок текучепластичный	3...5	0,30	0,92	0,85	19	0,024	2,46	7,872
Песок пылеватый	5...7	0,17		0,47	36	0,005	20,48	20,48
Супесь пластичная	7...9	0,22	1,00	0,59	29	0,016	9,48	39,816

Нагрузка прикладывалась ступенями по 0,05 МПа. График осадки штампа приведен на рис. 3.

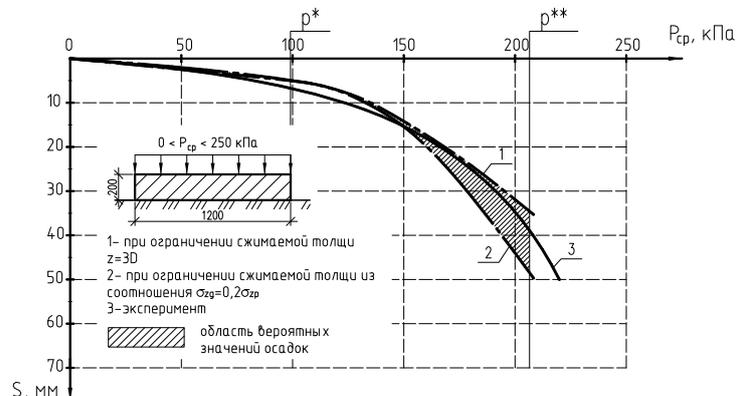


Рис. 3. – График зависимости “нагрузка – осадка”  $s = f(p_{cp})$

Для данных грунтовых условий и условий проведения эксперимента первое критическое давление определялось по формуле

$$p^* = \frac{(\gamma h + c \operatorname{ctg} \varphi) \pi}{\operatorname{ctg} \varphi + \varphi - \pi/2} + \gamma h = 99,05 \text{ кПа.} \quad (1)$$

Расчетное сопротивление грунта определялось по формуле СНиП [3]

$$R = \frac{\gamma_{c1} \gamma_{c2}}{k} \left[ M_{\gamma} k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c c_{II} \right] = 117,67 \text{ кПа.} \quad (2)$$

Критическое давление на грунт рассчитывалось по формуле

$$p^{**} = (\gamma h + c \operatorname{ctg} \varphi) \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} e^{\pi \operatorname{ctg} \varphi} - c \operatorname{ctg} \varphi = 206,52 \text{ кПа.} \quad (3)$$

Расчет осадок фундамента по предлагаемой методике проводился двумя способами: в первом ограничение сжимаемой толщи определялось из условия  $\sigma_{zp} = 0,2 \sigma_{zg}$ ; во втором сжимаемая толщина принималась равной  $3D$ , где  $D$  – диаметр штампа, что соответствует экспериментальным данным о полном затухании деформаций грунта на заданной глубине.

Анализ результатов расчета показывает, что расчетная область прогнозируемых осадок описывает процесс деформирования основания с погрешностью не более 15% на всем диапазоне нагружения  $0 < p < p^{**}$ . Расчет с использованием ограничения сжимаемой толщи в виде условия  $\sigma_{zp} = 0,2 \sigma_{zg}$  дает несколько завышенное значение осадок при  $p > 1,2R$ , расчет с ограничением сжимаемой толщи  $z_{сж} = 3D$  дает несколько заниженное значение осадок при  $p > 1,2R$ .

На участке  $p < 1,2R$  расчетная осадка несколько меньше экспериментальной, видимо, из-за погрешностей в определении  $E_{ум}$  и влияния слабых слоев, залегающих под тугопластичным суглинком.

**Выводы.** Таким образом, предлагаемая методика прогноза осадок фундамента мелкого заложения в условиях слабых глинистых грунтов позволяет с достаточной для инженерной практики точностью прогнозировать осадки в нелинейной области работы основания. Необходимо отметить, что расчет базируется на минимальном количестве исходных данных, определяемых стандартными инженерно-геологическими исследованиями.

Для развития данной методики необходимо выявление влияния на осадку фундаментов таких факторов, как размеры фундамента, виды грунтов, уровень грунтовых вод, коэффициент бокового давления и др., что предполагает проведение дальнейших экспериментально-теоретических исследований.

### Литература

1. Горбунов–Посадов М.И. Расчет конструкций на упругом основании / М.И. Горбунов–Посадов, Т.А. Маликова, В.И. Соломин. – М.: Стройиздат, 1984.

2. Малышев М.В. Расчет осадок фундаментов при нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями в грунтах / М.В. Малышев, Н.С. Никитина // *Механика грунтов, основания и фундаменты*. – 1971. – №2. – С. 21–25.

3. Основания зданий и сооружений: СНиП 2.02.01–83. – [Действующий с 1985–01–01]. – М.: Стройиздат, 1985. – 40 с.

4. ГОСТ 20276-99. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости. – М., 2000.