

---

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

---

## BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND STRUCTURES. BASES AND FOUNDATIONS

Известия вузов. Строительство. 2021. № 9. С. 5–12.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2021; (9): 5–12.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 624.159

DOI: 10.32683/0536-1052-2021-753-9-5-12

### О ДОСТОИНСТВАХ УНИВЕРСАЛЬНОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ОСАДОК ФУНДАМЕНТОВ

Жмагул Смагулович Нугужинов<sup>1, 2</sup>, Есен Сыданович Утепов<sup>1</sup>,  
Асель Толеубековна Мухамеджанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Карагандинский технический университет, Караганда, Казахстан

<sup>2</sup> Казахстанский многопрофильный институт реконструкции и развития,  
Караганда, Казахстан

**Аннотация.** Рассмотрены недостатки существующих методов определения осадок грунтов оснований фундаментов, методик по проведению компрессионных испытаний и использованию их результатов для расчета осадок фундаментов. На основе новой расчетной схемы изложен универсальный метод определения дополнительной осадки оснований зданий с использованием результатов компрессионных испытаний. Новая схема базируется на идее сжатия грунта под действием наибольших главных нормальных напряжений, формирующих активную зону основания. Дано теоретическое обоснование механической схемы рассмотренного универсального метода расчета осадок фундаментов. Универсальный метод позволяет вести расчет осадок проектируемых фундаментов без применения модуля деформации, с учетом локальных изменений сжимаемости и напряженного состояния в их основании, обусловленных различными факторами природного и техногенного характера.

**Ключевые слова:** основание, расчет осадок, компрессионные испытания, безмодульный метод, повышающий коэффициент

**Для цитирования:** Нугужинов Ж.С., Утепов Е.С., Мухамеджанова А.Т. О достоинствах универсального метода расчета осадок фундаментов // Известия вузов. Строительство. 2021. № 9. С. 5–12. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-753-9-5-12.

Original article

## ADVANTAGES OF THE UNIVERSAL METHOD OF CALCULATING FOUNDATION SETTLEMENT

Zhmagul S. Nuguzhinov<sup>1,2</sup>, Esen S. Utenov<sup>1</sup>, Asel T. Mukhamedzhanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

<sup>2</sup> Kazakhstan Multidisciplinary Institute of Reconstruction and Development, Karaganda, Kazakhstan

**Abstract.** The main disadvantages of the existing methods of determining the settlement of soils of foundations, methods for carrying out compression tests and the use of their results for calculating the settlement of foundations are considered. On the basis of a new design scheme based on the idea of soil compression under the action of the highest main normal stresses that form the active zone of the foundation, a universal method of determining the additional settlement of building foundations using the results of compression tests is presented. The theoretical substantiation of the mechanical scheme of the considered universal method of calculating the settlement of foundations is given based on the idea of soil compression under the action of the highest main normal stresses that form the active zone of the foundation. The proposed new universal method makes it possible to calculate the settlement of projected foundations without using the deformation modulus, taking into account local changes in compressibility and stress state at their base caused by various factors of a natural and man-made nature.

**Keywords:** base, settlement calculation, compression tests, non-modular method, increasing coefficient

**For citation:** Nuguzhinov Zh.S., Utenov E.S., Mukhamedzhanova A.T. Advantages of the universal method of calculating foundations settlement. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2021; (9): 5–12. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2021-753-9-5-12.

В практике геотехнического проектирования традиционным методам расчета осадок, базирующимся на теории линейно-деформируемых тел, присущи некоторые недостатки. К ним относятся существенное расхождение размеров активной зоны основания; неопределенность в выборе характеристик деформируемости грунта для расчета осадок основания; неполный учет действительного напряженного состояния, т.е. компонентов напряжений грунтов основания при расчете осадок; непригодность для расчета осадок фундаментов с учетом локальных изменений сжимаемости и напряженного состояния в их основании. Практикой инженерно-геологических изысканий признаны в качестве одного из основных методов оценки деформативных свойств грунтов – компрессионные испытания. Это объясняется не только простотой, низкой трудоемкостью и стоимостью проводимых опытов, но и главным образом тем, что компрессионная зависимость отражает один из законов пористости дисперсных тел и применяется для решения основной задачи механики грунтов. Также компрессионное сжатие образцов достаточно близко моделирует работу грунта в основании реальных зданий и сооружений.

Однако существует ряд проблем в использовании результатов компрессионных опытов в качестве исходных данных для проектирования фундаментов. Это связано с несовершенством методики действующих стандартов по порядку проведения таких опытов и обработке их результатов, объясняется несоответствием расчетных схем работы грунта, принятых при компрессион-

ном испытании образцов и при расчете осадок основания проектируемого фундамента, а также строительных норм по расчету осадок грунтовых оснований.

Основные недостатки методики действующих стандартов по порядку проведения компрессионных испытаний и обработке их результатов заключаются в следующем.

1. Нагружение образцов слишком большими ступенями давления приводит к искажению фактического закона уплотнения исследуемого грунта. В результате вместо компрессионной кривой получают ломаную линию.

2. В ходе обработки результатов компрессионных испытаний модуль общей деформации  $E_k$  определяется независимо от напряженного состояния грунта основания. На этом участке  $E_k$  вычисляется с учетом только угла наклона  $\alpha$  секущей линии. При таком подходе к обработке результатов компрессионных опытов допускается грубое искажение закона уплотнения исследуемого грунта. Спрямление компрессионной кривой на участке уплотняющих нагрузок  $p_1$  и  $p_2$  приводит к существенным погрешностям. Для супеси в мягкопластичном состоянии осадка фундамента уменьшается на 28 %, деформация основания в пределах его активной зоны от 20 до 51 %.

При использовании существующей методики, т.е. путем спрямления кривых изыскателями, получено по результатам компрессионных испытаний образца, отобранного на глубине 2,5 м, для грунта при естественной влажности  $E_{ест} = 5,4$  МПа, для грунта в водонасыщенном состоянии  $E_W = 5,5$  МПа.

Коэффициент изменчивости модуля деформации грунта с учетом фактора обводнения составил  $K_w = E_{ест}/E_W = 5,4/5,5 = 0,97 < 1$ , что не соответствует действительности. Увлажнение грунта основания практически не влияет на сжимаемость глинистого грунта.

3. При расчете деформаций оснований приводят «производные» характеристики сжимаемости ( $m_0$ ,  $m_v$ ,  $E_k$ ) исследуемого грунта. Их значения получают применением множества вычислений на основе принятого ряда допущений.

Основные недостатки методики действующих строительных норм по расчету осадок грунтовых оснований проектируемых фундаментов при использовании результатов компрессионных испытаний заключаются в использовании методов расчета осадок, базирующихся на теории линейно-деформируемых тел. Они неприемлемы для оценки фактических размеров уплотненной зоны основания и предназначены для расчета условного, идеализированного грунта основания, поэтому их результаты дают весьма завышенные значения. Одним из главных недостатков существующих методов расчета осадок является неопределенность в выборе характеристик сжимаемости грунта основания, а именно использование повышающего коэффициента  $m_k = 2-6$  в интервале давлений на основании  $p_1$  и  $p_2$  для перехода от компрессионного модуля ( $E_k$ ) к штамповому модулю ( $E_s$ ).

В одометре грунт сжимается в условиях компрессии без возможности бокового расширения в замкнутом пространстве. Расчетные схемы методов определения осадок строительных норм в виде линейно-деформируемого полупространства и линейно-деформируемого слоя конечной толщины не соответствуют механической схеме испытания образца в компрессионном приборе. Исследователи считают, что полевые опыты более близко подходят

расчетным схемам существующих методов определения осадок. Как показали наши эксперименты, общепринятое при изысканиях спрямление компрессионной кривой на участке уплотняющих нагрузок 0,1–0,3 МПа приводит к существенным погрешностям [1, 2].

Если устранить отмеченные недостатки методик существующих строительных норм и стандартов, то с успехом можно использовать результаты компрессионных испытаний при решении многих сложных задач геотехнического проектирования. Для этого нужно гармонизировать расчетные схемы работы (деформирования) грунта в компрессионном приборе и в основании проектируемого фундамента.

Существующие методы согласно исходным предпосылкам используемой теории предназначены для расчета условного, идеализированного грунта основания, поэтому их результаты дают, как правило, весьма завышенные значения (более чем в 1,5–2,5 раза) [3, 4].

Нами на основе обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований механизма взаимодействия фундамента с грунтовым основанием предложена принципиально новая расчетная модель [5].

Для теоретического обоснования выдвинутого предположения общую систему напряжений представим в виде двух составляющих систем напряжений. Предположим, что осадку фундамента составит суммарное сжатие элементарных объемов грунта. Они расположены в пределах активной зоны основания под действием главных напряжений. Для первой составляющей системы имеет место лишь изменение объема под действием средних напряжений, для второй составляющей – только изменение формы. Если учесть особенность грунтовой среды как пористой дисперсной системы, для которой деформация уплотнения непременно должна сопровождаться сдвигом и изменением формы, то принятое предположение достаточно близко моделирует объемное сжатие грунта. Из сравнения систем напряжений следует, что главные напряжения полностью учитывают изменения объема пор грунта через первую составляющую напряжений.

При принятии такого предположения для определения объемных осадок оснований могут быть использованы следующие схемы: схема 1, согласно которой уплотнение грунта происходит под действием главных напряжений  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$  в условиях трехосного сжатия, и схема 2, когда уплотнение грунта вызвано действием главных напряжений  $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 = \xi_0 \sigma_1$ .

При расчете осадок фундаментов по традиционным методам главной задачей ставится определение перемещений грунтов от действия вертикальных напряжений. Анализ характера изменения коэффициента  $\xi_0$  в пределах активной зоны основания ленточного фундамента по направлениям действия  $\sigma_1$  для приведенных случаев напряженного состояния показывает, что в отличие от данных экспериментов решение теории упругости приводит к резкому погашению этого показателя. В действительности осадка фундамента происходит за счет объемного уплотнения грунтов основания в пределах ограниченной зоны. Замеренные размеры зоны уплотнения грунтов под опытными фундаментами значительно выходят за пределы изобары  $\sigma_z = \sigma_{стр}$ . Градиенты плотности грунта в деформируемой области основания распределяются радиально относительно центра подошвы загруженного фундамента. Здесь

$\sigma_1$  – сжимающие главные напряжения и  $\sigma_{стр}$  – прочность структурных связей грунта при сжатии.

Необходимо оценивать фактические размеры уплотненной зоны основания ленточных фундаментов по изобарам наибольших главных напряжений  $\sigma_1 = \sigma_{стр}$ . Они имеют очертание в виде окружности и более близко отражают экспериментальные данные.

В.Н. Голубковым предложен метод расчета осадок оснований фундаментов по условию равенства работ внешних и внутренних сил [6]. Им экспериментально установлено, что зона деформации уплотнения грунтов под квадратными фундаментами имеет шарообразную форму. Но предложенный данный метод носит сугубо эмпирический характер и требует проведения специальных опытов. Нами на основе экспериментальных и теоретических исследований механизма взаимодействия фундамента с грунтовым основанием разработана расчетная схема основания, которая близко отражает механические свойства грунтов, т.е. основание состоит из реальных грунтов, отличающихся пористостью, дисперсностью, изменчивостью свойств и состояния при эксплуатации. Уплотнение грунта в любой точке основания происходит в направлении действия максимального сжимающего напряжения  $\sigma_i^{\max}$  из всех его возможных значений согласно условию  $\sigma_i^{\max i}$ . Здесь  $\sigma_1^i$  наибольшее главное напряжение определяется в соответствии с законом изменения пористости грунта в принятом диапазоне напряжений.

Осадка фундамента обусловлена уменьшением пористости грунтов вследствие объемного их сжатия результирующим действием напряжений в пределах активной зоны основания. По принятой механической схеме основания и фундамента из рассмотрения условия равенства объемов твердых минеральных частиц грунта до и после его уплотнения в пределах каждой из выделенных зон получена формула для расчета осадки ленточного фундамента

$$S = \frac{1}{A_{\Phi}} \sum_{i=1}^{i=n} \left[ V_{i3} \left( 1 - \frac{1 + e_2^{i3}}{1 + e_1} \right) \right],$$

где  $n$  – количество выделенных зон основания [7];

$A_{\Phi}$  – площадь подошвы фундамента.

Данная формула представляет собой математическую модель предлагаемой принципиально новой механической схемы метода расчета осадок ленточных фундаментов. Суть такого подхода к прогнозу деформаций грунтового основания заключается в использовании решений теории линейно-деформируемых тел по определению напряжений. Нами получены аналитические выражения для определения осадок фундаментов по зонам и слоям грунтового основания, что подтверждает оригинальность нового метода. При этом расчет осадки производится без применения модуля деформации, учитывается только закон уплотнения конкретного грунта. Осадка определяется путем использования значений коэффициента пористости по компрессионной кривой.

Сравнительный анализ результатов тестовой задачи по глубине сжимаемой толщи основания  $H_a$  и расчет осадки  $S$  ленточного фундамента разными методами показали, что схема расчета осадок близко моделирует закономерности

**Сравнительный анализ тестовой задачи  
Comparative analysis of the test problem**

Метод расчета осадок основания фундаментов	Исходные данные				Результаты расчета по разным методам					
	$b$ , м	$p$ , МПа	$E_k$ , МПа	$E_s = m_k E_k$ , МПа	осадки $S$ , см			сжимаемой толщи $H_a$		
					с учетом $E_k$	с учетом $E_s$	без учета $E_k$ и $E_s$	$H_a/b$	$H_a$ , м	
Послойного суммирования	2,0	0,2	6,0	12,0*	8,9	4,5	–	4,2	8,4	
Линейно-деформируемого слоя	2,0	0,2	6,0	12,0*	10,3	5,0	–	6,0	12,0	
Эквивалентного слоя	2,0	0,2	6,0	12,0*	31,0	15,7	–	5,2	10,4	
Конечных элементов	2,0	0,15	6,0	–	4,7	–	–	2,0	4,0	
		0,2	6,0	–	6,6	–	–	2,0	4,0	
Предлагаемый новый (безмодульный)	2,0	0,2	8,0**	–	–	–	5,53	2,25	4,5	

\* При принятии минимального значения  $m_k = 2$ .

\*\* В предлагаемом новом методе расчета осадок модуль деформации  $E_k$  не используется.

деформирования реальных грунтовых оснований фундаментов и отличается высокой достоверностью по сравнению с традиционными методами (таблица).

Расчетные данные по определению  $H_a$  по новому методу близки к их фактическим значениям. Возможности новой расчетной модели основания по сравнению с существующими и ее универсальность позволяют определить осадку проектируемого фундамента в виде суммы осадок отдельных зон основания или его различных слоев. Предлагаемый метод приемлем для фундамента возводимого здания с учетом локальных изменений сжимаемости грунтов основания, фундамента существующего здания при подтоплении его основания в период эксплуатации, а также для фундамента надстраиваемого здания с учетом уплотненности грунтов различных зон основания и действия дополнительных нагрузок [8, 9].

Таким образом, универсальность предложенного метода по сравнению с существующими позволяет более достоверно учесть влияние различных факторов природного, техногенного характера на проектируемый фундамент, путем определения его осадки без применения модуля деформации с использованием реального закона уплотнения конкретного грунта по компрессионной кривой. Что в конечном итоге позволит более корректно оценить напряженно-деформированное состояние строительных конструкций [10, 11].

**Список источников**

1. Utenov Y.S., Mukhamedzhanova A.T. Concerning the use of soil deformation modulus in geotechnical design // Proceedings of the International on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations (GFAC 2019), Saint Petersburg, Russia, 6–8 February. СПб., 2019. P. 451–457.

2. Утенов Е.С. Расчет оснований реконструируемых зданий. Караганда: Изд-во КарГТУ, 2013. 237 с.
3. Коновалов П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. М.: Стройиздат, 1988. 287 с.
4. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. Л.: Стройиздат, 1988. 415 с.
5. Улицкий В.М. Оценка свойств грунтов в основании фундаментов при реконструкции зданий // Фундаментостроение в условиях слабых и мерзлых грунтов: Межвуз. темат. сб. тр. Л.: ЛИСИ, 1983. С. 5–12.
6. Голубков В.Н. О проектировании оснований и фундаментов на глинистых водонасыщенных грунтах по условию равенства работ внешних и внутренних сил // Слабые глинистые грунты. Таллин, 1965.
7. Медков Е.И. К расчету естественных оснований по деформациям // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1960. № 1.
8. Швец В.Б., Кульчицкий Г.Б. Экспериментальные исследования глубины сжимаемой толщи под подошвой штампов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1970. № 1. С. 10–12.
9. Снитко Н.К. Сопrotивление материалов: Учеб. пособие. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. 368 с.
10. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов: Учебник для вузов. М.: Высш. шк., 1982. 511 с.
11. Nuguzhinov Z.S., Bakirov Z.B., Bakirov M.Z., Khabidolda O., Zhilkybayev D. Methodology of Assessing Strength of Metal Structure Elements with Cracks // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 953, no. 1.

## References

1. Utenov Y.S., Mukhamedzhanova A.T. Concerning the use of soil deformation modulus in geotechnical design. Proceedings of the International on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations (GFAC 2019), Saint Petersburg, Russia, 6–8 February. St. Petersburg, 2019. P. 451–457.
2. Utenov Ye.S. Calculation of the foundations of reconstructed buildings. Karaganda: KSTU Publishing house, 2013. 237 p. (In Russ.).
3. Konovalov P.A. Bases and foundations of buildings under reconstruction. Moscow: Stroyizdat, 1988. 287 p. (In Russ.).
4. Dalmatov B.I. Soil mechanics, foundations and foundations. Leningrad: Stroyizdat, 1988. 415 p. (In Russ.).
5. Ulitskiy V.M. Evaluation of soil properties at the base of foundations during the reconstruction of buildings. Foundation construction in conditions of weak and frozen soils. Leningrad, 1983. P. 5–12. (In Russ.).
6. Golubkov V.N. To the design of bases and foundations on clayey water-saturated soils on the condition of equality of work of external and internal forces. Weak clay soils. Tallin, 1965. (In Russ.).
7. Medkov E.I. To the calculation of natural bases for deformations. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov = Foundations, foundations and soil mechanics*. 1960; (1). (In Russ.).
8. Shvets V.B., Kulchitskiy G.B. Experimental studies of the depth of compressible thickness under the sole of stamps. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov = Foundations, foundations and soil mechanics*. 1970; (1): 10–12. (In Russ.).
9. Snitko M.C. Resistance of materials: A Textbook. Leningrad, 1975. 368 p. (In Russ.).

10. *Maslov N.N.* Fundamentals of engineering geology and soil mechanics: Textbook for universities. Moscow, 1982. 511 p. (In Russ.).
11. *Nuguzhinov Z.S., Bakirov Z.B., Bakirov M.Z., Khabidolda O., Zhilkybayev D.* Methodology of Assessing Strength of Metal Structure Elements with Cracks. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020; 953(1).

**Информация об авторах**

**Ж.С. Нугужинов** – доктор технических наук, профессор

**Е.С. Утепов** – доктор технических наук, профессор, почетный строитель Казахстана

**А.Т. Мухамеджанова** – старший преподаватель

**Information about the authors**

**Zh.S. Nuguzhinov** – DSc, Professor

**E.S. Utenov** – DSc, Professor, Honorary Builder of Kazakhstan

**A.T. Mukhamedzhanova** – Senior Lecturer

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.07.2021  
Одобрена после рецензирования 31.08.2021  
Принята к публикации 08.09.2021

The article was submitted 30.07.2021  
Approved after reviewing 31.08.2021  
Accepted for publication 08.09.2021