

УДК 624.138.4

**ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГРУНТА, ЗАГРЯЗНЕННОГО ПЕРУКСУСНОЙ КИСЛОТОЙ**

Ассист. А. М. Левенко (ХНУГХ имени А. Н. Бекетова)

**ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАСИВУ ҐРУНТУ, ЗАБРУДНЕНОГО ПЕРОЦТОВОЮ КИСЛОТОЮ**

Асист. Г. М. Левенко (ХНУМГ імені О. М. Бекетова)

**ESTIMATION OF THE STRESS-DEFORMED STATE OF GROUND, POLLUTED BY PEROXIC ACID**

Levenko Ganna (O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)

*Проведена оцeнка напpяженно-деформированного состояния массива грунта, загрязненного перуксусной кислотой. Определены напряжения, возникающие в массиве грунта в естественном состоянии, после попадания в него кислоты и химического закрепления его силикатом натрия. Получены все параметры напряженно-деформированного состояния грунтового массива при различных физико-механических условиях. Определено, что после проведения работ по закреплению силикатизацией грунтового массива, загрязненного растворами перуксусной кислоты, величина деформаций уменьшается на 26,11-48,9 %, а напряжения в грунтовом массиве снижаются в 1,8-2,6 раза.*

**Ключевые слова:** силикатизация, химическое набухание, напряженно-деформируемое состояние грунта, перуксусная кислота.

*Проведено оцінку напружено-деформованого стану масиву ґрунту, забрудненого пероцтовою кислотою. Визначено напруги, що виникають у масиві ґрунту в природному стані, після потрапляння в нього кислоти і хімічного закріплення його силікатом натрію. Отримано всі параметри напружено-деформованого стану ґрунтового масиву при різних фізико-механічних умовах. Визначено, що після проведення робіт з закріплення силікатизацією ґрунтового масиву, забрудненого розчинами пероцтової кислоти, величина деформацій зменшується на 26,11-48,9 %, а напруги в ґрунтовому масиві знижуються в 1,8-2,6 рази.*

**Ключові слова:** силікатизація, хімічне набрякання, напружено-деформований стан ґрунту, пероцтова кислота.

*Existing norms regulate only design rules for swelling soils, but do not provide an opportunity to predict the further behavior of the substrate in the case of chemical contamination. In addition, the process of behavior of swelling soils after their chemical fixation and the stress-strain state (VAT) of the system "fixed base - foundation - construction" The stress-strain state of a soil massif contaminated with peracetic acid was estimated. Stresses appearing in the soil massif in the natural state are determined after acid enters it and after chemical fixation with sodium silicate. All the parameters of the stress-strain state of the soil massif are obtained under various physical and mechanical conditions. It was determined that after the work on silicate consolidation of the soil mass, contaminated with solutions of peracetic acid, the magnitude of deformations decreases 26.11-48.9%, and the stresses in the soil massif decrease 1.8-2.6 times.*

**Key words:** silicization, chemical swelling, stress-strain state of soil, peracetic acid.

**Вступ.** В последнее время возникла проблема загрязнения промышленными стоками грунтов непосредственно под промышленными зданиями, что в свою очередь приводит к набуханию оснований, перемещениям фундаментов и разрушению строительных конструкций [1, 2, 5]. Поэтому при проектировании следует учитывать влияние набухания на всю систему «основание – фундамент – сооружение» для более надежной работы конструкции. Существующие нормы [3, 4] регламентируют лишь правила проектирования на набухающих грунтах, но не дают возможности прогнозировать дальнейшее поведение основания в случае химических загрязнений. Кроме того, мало изучен процесс поведения набухающих грунтов после их химического закрепления и напряженно-деформируемое состояние (НДС) системы «закрепленное основание – фундамент – сооружение».

**Анализ последних исследований и публикаций.** Решение проблемы с учетом совместной работы системы «основание – фундамент – сооружение» предложено в работе [9]. Предлагается представлять массив грунта, состоящий из набухающих грунтов, в виде линейно-деформируемой среды, набухание основания учитывать как дополнительное влияние, близкое по природе к температурному, а набухающий грунт рассматривать как материал, обладающий ортотропными свойствами.

Некоторые авторы [8] считают, что наиболее подходящим для оценки напряженно-деформируемого состояния (НДС) системы «основание – фундамент – сооружение» является метод конечных элементов. При этом рекомендуется моделировать каждую из частей системы отдельно, что позволяет увидеть изменения в НДС системы и в процессе производства работ корректировать принятые решения.

В работах [6, 7] представлены методики учета влияния набухания грунтового основания на НДС системы «основание – фундамент – сооружение» в условиях

плоской деформации. Дополнительное давление от набухания грунта рекомендуется учитывать как внешнюю нагрузку, приложенную на фундаменты в участках влияния бугра набухания.

Однако ни одна из описанных ранее методик не дает решения проблемы оценки НДС состояния грунтовых массивов под влиянием химически активных веществ, в частности перуксусной кислоты.

**Определение цели и задачи исследования.** Целью исследования является оценка напряженно-деформированного состояния массива грунта, загрязненного перуксусной кислотой.

**Основная часть исследования.** Настоящее исследование реализовано в виде численного эксперимента, состоящего из серии расчетов для различных грунтовых состояний; проводились расчеты четырех типов грунтовых оснований, для которых рассматривались четыре расчетные схемы поведения.

Основные гипотезы и допущения: в качестве модели основания принята модель линейно-деформируемого полупространства.

Задаваемые жесткостные характеристики:  $E_i$  – модуль деформации,  $\nu_i$  – коэффициент Пуассона (табл. 1),  $P_i$  – нагрузка, передаваемая на основание.

Рассматривается плоская задача, грунтовый массив находится в условиях плоской деформации и имеет размеры 10 x 10 м. По центру массив воспринимает нагрузку от фундамента шириной 1 м (зона 3). Внутри массива находится зона 1 с размерами 5 x 5 м, подверженная закислению и в дальнейшем закреплению. Остальная часть массива представляет зону 2.

Во внимание принимались следующие расчетные схемы:

- расчетная схема 1. Зона I, II – грунт с нормальными (естественными) характеристиками. Зона 3 – фундамент, бетон С16/20. Нагрузка на зону 3 – сосредоточенная сила 100 т;

- расчетная схема 2. Зона II – грунт с нормальными (естественными) характеристиками. Зона I – грунт с закисленными характеристиками. Зона III – фундамент, бетон C16/20. Нагрузка на зону III – сосредоточенная сила 100 т;

- расчетная схема 3. Зона II - грунт с нормальными (естественными) характеристиками. Зона I – грунт с закисленными

характеристиками. Зона III – фундамент, бетон C16/20. Нагрузка на зону III – сосредоточенная сила 125 т;

- расчетная схема 4. Зона II – грунт с нормальными (естественными) характеристиками. Зона II – грунт с уплотненными характеристиками. Зона III – фундамент, бетон C16/20. Нагрузка на зону III – сосредоточенная сила 125 т.

Таблица 1

Значения характеристик модуля деформации и коэффициента Пуассона

Наименование грунтов	Коэффициент Пуассона			Модуль деформации, МПа		
	до закрепления в естественном состоянии	после закисления	после закрепления	до закрепления в естественном состоянии	после закисления	после закрепления
Песок пылеватый, кварцевый	0,30	0,35	0,27	31,5	21,5-22,03	38,9
Супесь буровато-жёлтая, пластичная	0,34	0,39	0,30	22,6	19,9-21,9	42
Суглинок тяжелый, тугопластичный	0,36	0,41	0,30	26,7	16,9-24,8	38
Глина полутвердая, серая	0,42	0,50	0,36	22,4	18,9-21,9	37,9

Координаты узлов модели задавались из результатов расчета деформаций расчетной схемы 2.

Моделирование производилось в «Лире САПР». Конечноэлементная модель (рис. 1) формировалась из КЭ-21 – прямоугольный элемент плоской задачи (балка-стенка). Модель включала 1686 узлов и 1604 элемента. Толщина элементов условно назначалась равной 1 м.

В результате были получены характеристики напряженно-деформированного состояния основания при четырех различных условиях загрязнения и нагружения.

Основным критерием для сравнения были приняты значения перемещений вдоль осей X, Y и Z, а также величины напряжений, возникающих в грунтовом массиве.

В табл. 2 также представлены напряжения, возникающие в массиве грунта для четырех групп грунтов в условиях, заданных расчетными схемами РС-1, РС-2, РС-3 и РС-4.

Из результатов расчетов наглядно видна картина (рис. 2) изменения величины деформации грунтового массива при четырех заданных условиях. После проведения работ по закреплению грунтового массива, загрязненного растворами перуксусной кислоты, величина деформаций уменьшается:

- на 48,9 % для грунтов с параметром  $L < 3$  %;

- на 26,11 % для грунтов с параметром  $L 3-10$  %;

- на 32 % для грунтов с параметром  $L 10-30$  %;

- на 33,4 % для грунтов с параметром  $L > 30$  %.

Результаты расчета иллюстрируются полями вертикальных перемещений грунтового массива (рис. 3) и в табличном виде (табл. 2).

Это наглядно указывает на качественное улучшение состояния грунтового

массива после закрепления его рекомендуемыми в работе рецептурами. После проведения работ по улучшению строительных свойств массивов грунта, загрязненных промышленными стоками перуксусной кислоты, деформации грунтов практически равняются деформациям в их естественном состоянии.

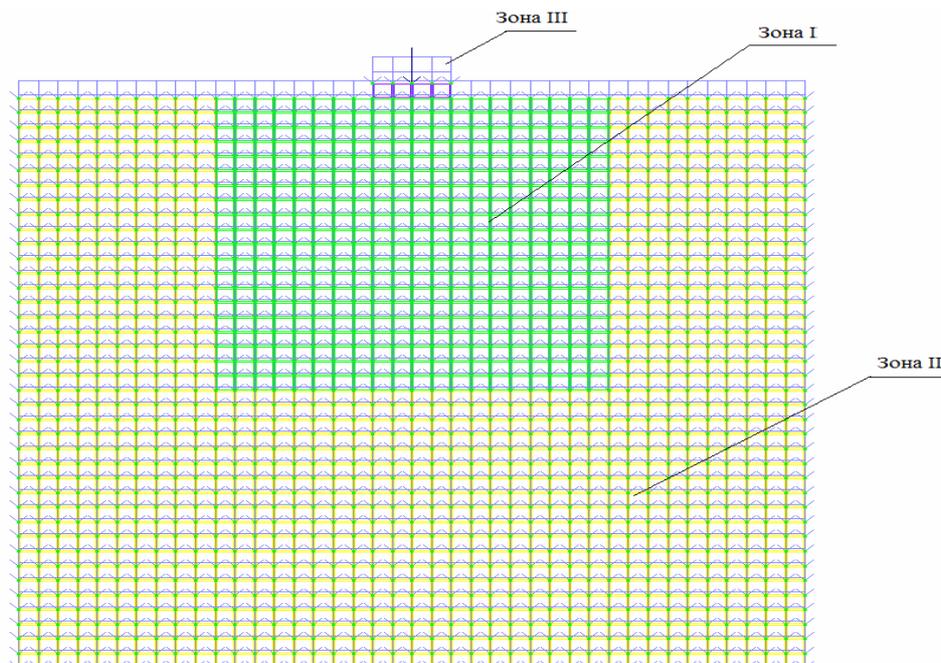


Рис. 1. Конечноэлементная модель: зона I – грунт с закисленными (закрепленными) характеристиками; зона II – грунт с естественными характеристиками; зона III – фундамент

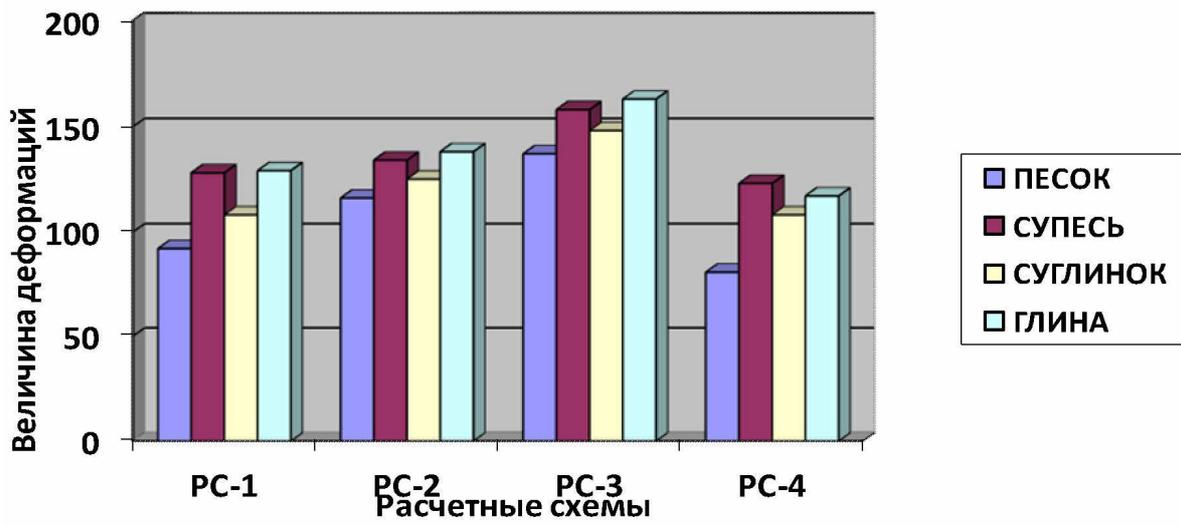


Рис. 2. График изменения величины деформаций грунтового массива при различных расчетных схемах

## Напряжения и вертикальные перемещения грунтовых массивов

Исследуемый параметр		Грунт				
		Песок пылеватый, кварцевый	Супесь буровато-жёлтая, пластичная	Суглинок тяжелый, тугопластичный	Глина полутвердая, серая	
Вертикальные перемещения массива грунта, мм	РС-1	92	128	108	129	
	РС-2	116	134	125	138	
	РС-3	137	158	148	138	
	РС-4	80,3	123	108	117	
Напряжения в массиве грунта, кН/см <sup>2</sup>	РС-1	$\sigma_x$	-0,0377	-0,0369	-0,0366	-0,355
		$\sigma_z$	-0,101	-0,101	-0,101	-0,1
		$\tau_{xz}$	-0,0679	-0,0679	-0,0678	-0,0678
	РС-2	$\sigma_x$	-0,37	-0,036	-0,357	-0,0339
		$\sigma_z$	-0,101	-0,101	-0,1	-0,0998
		$\tau_{xz}$	-0,0679	-0,0678	-0,678	-0,0676
	РС-3	$\sigma_x$	-0,0462	-0,045	-0,447	-0,0424
		$\sigma_z$	-0,126	-0,0126	-0,125	-0,125
		$\tau_{xz}$	-0,0849	-0,0847	-0,847	-0,845
	РС-4	$\sigma_x$	-0,0373	-0,0368	-0,369	-0,0357
		$\sigma_z$	-0,101	-0,101	-0,101	-0,1
		$\tau_{xz}$	-0,0832	-0,0833	-0,833	-0,0832

**Выводы:**

1. Выполнена оценка напряженно-деформированного состояния массива грунта, загрязненного перуксусной кислотой.

2. В результате компьютерного моделирования массивов грунтов, загрязненных растворами перуксусной кислоты, определено, что после проведения

закрепления грунтов силикатизацией величина деформаций уменьшается на 26,11-48,9 % в зависимости от разновидности грунта основания.

3. Сопоставление результатов расчетов напряжений указывает на то, что после проведения закрепления напряжения в грунтовом массиве снижаются в 1,8-2,6 раза.

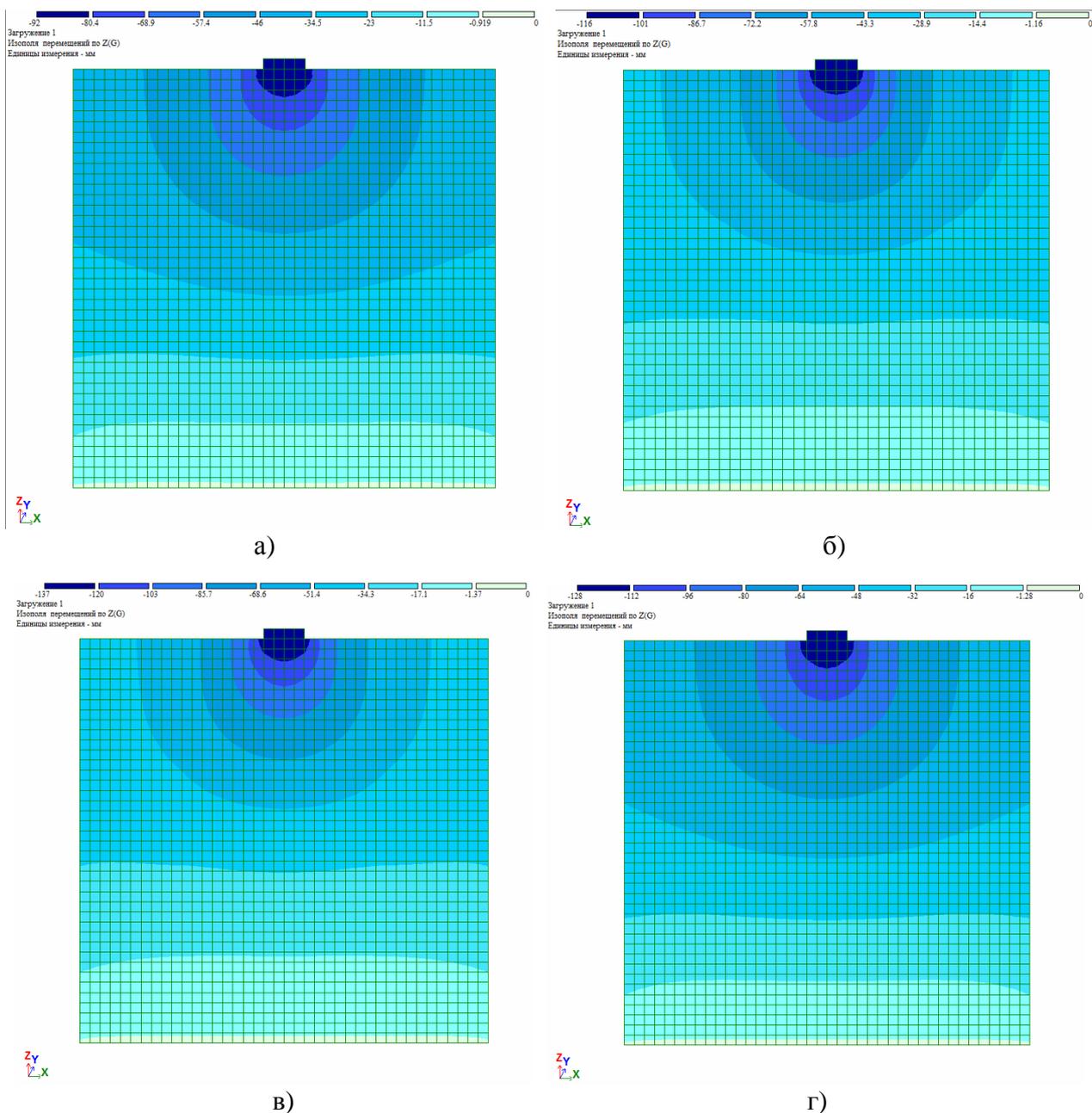


Рис. 3. Вертикальные перемещения массива грунта: а – РС-1; б – РС-2; в – РС-3; г – РС-4

**Список использованных источников**

1. Radhakrishnan G., Anjan Kumar Dr M., Dr GVR Prasada Raji. Swelling properties of expansive soils treated with chemicals and flash. American Journal of Engineering Research (AJER). – volume 03, issue – 04, 2014. – P. 245-250.
2. Patil B.M., Patil K.A. Effect of industrial waste and RBI Grade 81 on swelling characteristics of clayey soil. Facta Universitatis Series : Architecture and Civil Engineering. – 2013. – 11(3). – P. 231-236.
3. ДБН А.2.1-1-2008. Инженерные изыскания для строительства [Текст]: чинний з 2008-08-01. – К., 2008. – 78 с.
4. ДСТУ Б В.2.1-3-96 (ГОСТ 30416-96). Грунти. Лабораторні випробування. Загальні положення [Текст]: чинний з 1996-05-15. – К., 1997. – 24 с.

5. Takahashi A., D. W. H. Fung, R. J. Jarsine. Swelling effects on mechanical behaviour of natural London clay // Proc. 16<sup>th</sup> Intern. Conf. Soil Mecg. And Geot. Engng. – Osaca, 2005. – P.443-446.

6. Винников, Ю. Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі [Текст]: монографія / Ю.Л. Винников. – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2004. – 237 с.

7. Габибов, Ф. Г. Проблемы регулирования свойств структурно-неустойчивых глинистых грунтов в основаниях сооружений [Текст] / Ф.Г. Габибов. – Баку: «ЭЛМ», 1997. – 287 с.

8. Воблых, В. А. Моделирование грунтового основания из набухающих грунтов при определении напряженно-деформированного состояния системы «основание – фундамент – сооружение» [Текст] / В.А. Воблых, О.В. Кичаева // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХГТУСА, 2003. – Вип. 23. – С. 55-59.

9. Храпатова, И. В. Учет влияния набухания грунтового основания на НДС системы «основание – фундамент – сооружение» в условиях плоской деформации [Текст] / И.В. Храпатова // Світ геотехніки: наук.-техн. журнал. – Запоріжжя, 2008. – Вип. 2. – С. 26-29.

---

Левенко Гнна Михайлівна, асистент кафедри механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології  
Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. Тел.: (057) 707 31 12.  
E-mail: levenkoanna@mail.ru.

Levenko Ganna, assistant of department of Soil Mechanics, Foundation and Geology O. M. Beketov National  
University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (057) 707 31 12. E-mail: levenkoanna@mail.ru.

Стаття прийнята 04.04.2017 р.