

**В. В. Грузин, С. Н. Нураков, К. Б. Есбергенов**

---

**Моделирование  
структурно-фазовой  
деформируемости грунта для  
усиления оснований мест  
хранения материальных средств**

---

Obronność - Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania i Dowodzenia Akademii  
Obrony Narodowej nr 4(12), 148-152

---

2014

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej [bazhum.muzhp.pl](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach  
dozwolonego użytku.

*АВТОРЫ*

*В. В. Грузин,*

*С. Н. Нураков,*

*К. Б. Есбергенов,*

*Национальный Университет Обороны*

*Республика Казахстан*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЙ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ГРУНТА ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ МЕСТ ХРАНЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ СРЕДСТВ**

Хранение материальных средств на военных объектах в мирное время составляет до 70-90% от общей продолжительности их эксплуатации [1]. В связи с этим, в результате спуска 35-40 лет на данных объектах появляются проблемы, связанные:

- с просадкой оснований зданий хранилищ;
- подъемом уровня грунтовых вод в полуподземных хранилищах из-за появления естественных водоемов;
- засолением поверхности грунтов;
- пучением грунтов у оснований полуподземных хранилищ и их подъем в зимний период.

Комплексное воздействие указанных факторов приводит к изменению физико-механических свойств грунтов оснований и, как следствие, преждевременному разрушению фундаментов зданий и сооружений, где осуществляется хранение военного имущества.

На основании изложенного актуальным направлением является изучение деформационных свойств грунтов с целью проведения своевременных мероприятий по усилению оснований и фундаментов зданий и сооружений военного назначения.

Многочисленными исследованиями установлено, что зависимость между приложенными напряжениями и вызванными ими деформациями в грунте носит нелинейный характер. Так, например, А. А. Бартоломей предлагает её записать в виде [2]:

$$\varepsilon = \alpha_c \sigma_c + \alpha_n \cdot (\sigma_n - \sigma_c)^m, \quad (1)$$

где  $\alpha_c$  и  $\alpha_n$  – коэффициенты, определяемые опытом;

$\sigma_c$  – напряжение, не превышающее структурной прочности грунта

$$\sigma_c \leq P_{cmp};$$

$\sigma_n$  – напряжение, обуславливающее деформацию грунта –  
 $\sigma = \sigma_n - \sigma_c$ ;

$m$  – параметр нелинейности, определяемый опытным путём.

Коэффициент  $\alpha_c$  обратно пропорционален модулю упругости:

$$\alpha_c = \frac{1}{E_y}, \quad (2)$$

а коэффициент  $\alpha_n$  является функцией модуля общей деформации  $E(z)$ :

$$\alpha_n = \frac{k(\beta)}{E^r(z)}, \quad (3)$$

где  $k(\beta)$  - коэффициент, зависящий от коэффициента Пуассона;

$r$  – параметр ( $\leq 1$ ), определяемый опытным путём.

И. И. Черкасов с помощью штампов исследовал в полевых и лабораторных условиях взаимодействия трехфазной дисперсной среды с нагрузкой, передаваемой ей жестким телом (фундаментом или штампом для полевых испытаний) [3].

Для описания нелинейной зависимости относительной деформации грунта от приложенного к нему напряжения С. Р. Месчан предлагает три варианта аппроксимирующих функций [4]:

$$\varepsilon = k_1 \cdot (1 - \exp(-k_2 \cdot \sigma)), \quad (4)$$

$$\varepsilon = k_3 \cdot \sigma^{k_4}, \quad (5)$$

$$\varepsilon = k_5 \cdot \sigma + k_6 \cdot \sigma^{k_7}, \quad (6)$$

где  $k_1 \dots k_7$  – коэффициенты, определяемые при помощи опытов.

В процессе разработки более точной модели динамической деформации грунтовой среды ненарушенной структуры в виде упругопластического полупространства была исследована возможность описания зависимости «напряжение – относительная деформация» функцией вида (4).

Учитывая структурную прочность грунта  $\sigma_{cmp}$ , зависимость (4) для всех  $\sigma > \sigma_{cmp}$  представим в следующем виде:

$$\varepsilon(\sigma) = k_1 \cdot \left(1 - e^{-k_2 \cdot (\sigma - \sigma_{cmp})}\right). \quad (7)$$

Для уточнения коэффициентов  $k_1$  и  $k_2$  была использована известная зависимость коэффициента пористости грунта  $e$  от заданной величины приложенного сжимающего напряжения  $\sigma$ :

$$e(\sigma) = e_0 - \varepsilon(\sigma) \cdot (1 + e_0), \quad (8)$$

где  $e_0$  – начальный коэффициент пористости грунта.

В ходе теоретических исследований с помощью математической модели был получен вариант зависимости «напряжение – относительная деформация»):

$$\varepsilon(\sigma) = k_1 \cdot \left(1 - e^{-k_2 \cdot (\sigma - \sigma_{cmp})}\right)^{k_3} \quad (9)$$

Исследования с помощью ранее созданной математической модели позволили определить коэффициенты  $k_1, k_2, k_3$  [5], подставив их значения, получим:

$$\varepsilon(\sigma) = 0,2564 \cdot \left(1 - e^{-2,03 \cdot 10^{-7} \cdot (\sigma - \sigma_{cmp})}\right)^{1,4} \quad (10)$$

Для анализа адекватности разработанной модели было проведено сравнительное исследование полученных теоретических и имеющихся практических результатов для суглинков различной консистенции. Сравнительный анализ экспериментальных и аналитических данных позволяют сделать вывод о применимости уравнения (10) для описания зависимости «напряжение – относительная деформация» суглинка ненарушенной структуры с числом пластичности  $0 \leq I_p \leq 0,5$  в рабочем диапазоне нагрузок при моделировании импульсного воздействия рабочего органа на грунт ненарушенной структуры.

В качестве исходных характеристик грунта были использованы нормативные значения удельного сцепления  $C$ , угла внутреннего трения  $\varphi$ , а так же коэффициент пористости  $e_0$  грунта [4, 5, 6].

В таблице приведены для сравнения теоретические и экспериментальные данные исследований времени импульсного воздействия  $t$  рабочего органа на упругопластическое полупространство (грунт).

Стол 1.

**Таблица Сравнительный анализ результатов проведенных исследований**

i, Па·с	Время импульсного воздействия, с		
	Модель (10) (теор.)	Хархута Н. Я. (эксп.)	Тарасов В. Н. (теор.)
5 000	0,0150	0,015	0,016
10 000	0,0196	0,020	0,023
15 000	0,0254	0,025	0,029
20 000	0,0310	0,030	0,034
25 000	0,0360	0,035	0,038

В результате проведения исследований были получены:

- зависимость плотности суглинка от его пористости  $\rho = f(e_0)$ :

$$\rho = \frac{2700}{e_0 + 1} + 260 \cdot \quad (11)$$

- зависимость структурной прочности суглинка от его пористости

$$\sigma_{cmp} = f(e_0):$$

$$\sigma_{cmp}^{I.L} = \sigma_{cmp}^0 [k_4 \cdot (0,95 - e_0) + 1] \quad (12)$$

Применение математической модели с учетом выражений (10) позволило получить графические зависимости времени воздействия для суглинков различной консистенции с учетом модуля деформации и величины вдавливающего импульса (см. рисунок).

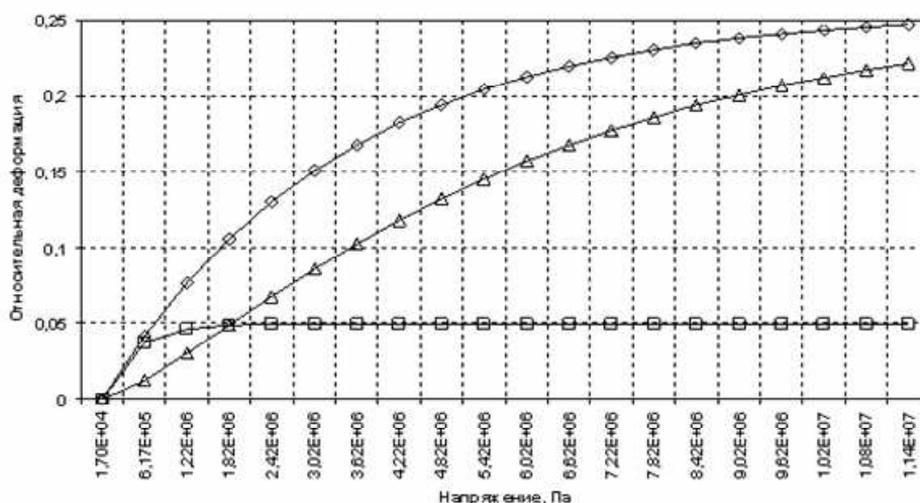


Рисунок Зависимости относительной деформации грунта от напряжения в диапазоне от 0,02 МПа до 12,02 МПа для различных аппроксимирующих функций

По результатам теоретических исследований была рассчитана погрешность математической модели приложения нагрузки для суглинков различной консистенции, величина которой не превышает 19,1%, что является вполне приемлемым для подобных расчётов. Возможной причиной расхождения теоретических и экспериментальных данных является отсутствие данных, описывающих зависимость структурной прочности от консистенции и пористости грунта.

## **Литература**

1. Грузин В. В., Есбергенов К. Б., *Совершенствование технологии и механизации земляных работ при возведении фортификационных сооружений. Материалы Международной научно-практической конференции «Наука и ее роль в современном мире»*, Караганды, «Болашак-Баспа», 2011, с. 29-31.

2. Бартоломей А. А., и др. *Прогноз осадок свайных фундаментов*. М: Стройиздат, 1994, с. 384.

3. Григорян А. А., Чиненков Ю. А., *Набивные сваи с уплотненным забоем: Строительные материалы, изделия*, Обзорная информация ВНИИС, Вып. 2-М., 1981, с. 46.

4. Месчан С. Р., *Механические свойства грунтов и лабораторные методы их определения (с учетом временных эффектов)*, М.: Недра, 1974, с. 192.

5. Грузин В. В., Нураков С. Н., Исатов А. Е., *Исследование и создание импульсной системы навесного оборудования для механизации работ по уплотнению грунтов*, Международный научный журнал «Актуальные проблемы современности» Караганда, Болашак-Баспа, 2006, №3, с. 225-230.

6. Абраменков Д. Э., Грузин А. В., Грузин В. В., *Средства механизации и технология строительного производства*. Монография. Под общ. ред. д.т.н., проф. Э. А. Абраменкова, Saarbrücken, Germany: Palmarium academic publishing, 2012, с. 327.