

## Impact Factor:

ISRA (India) = 3.117	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИИ (Russia) = 0.156	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)  
**International Scientific Journal**  
**Theoretical & Applied Science**

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2019 Issue: 04 Volume: 72

Published: 30.04.2019 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



M.I. Azbergen

Kand. Techn. Sciences, Professor,  
Taraz state University M. H. Dulati, Kazakhstan

SECTION 8. Architecture and construction.  
UDC 624.13

## THE STUDY OF THE DEFORMATION OF SOILS AT VARIOUS FREQUENCIES OF CYCLIC LOADING

**Abstract:** The article presents the results of studies of the deformability of sandy soils under multiple cyclic effects, the analysis of the revealed in experiments at different loading frequencies of deformation patterns, presents the equations for the prediction of General and additional (volume and shear) deformations from the action of multiple cyclic effects in the studied range of loading frequencies.

**Key words:** soil, cyclic loading, deformation, frequency of application of loading, additional deformation.

**Language:** Russian

**Citation:** Azbergen, M. I. (2019). The study of the deformation of soils at various frequencies of cyclic loading. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 04 (72), 476-480.

**Soi:** <http://s-o-i.org/1.1/TAS-04-72-60> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2019.04.72.60>

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГРУНТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТОТАХ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследований деформируемости песчаных грунтов при многократных циклических воздействиях, выполнен анализ выявленных в экспериментах при различных частотах нагружения закономерностей деформирования, представлены уравнения для прогноза обших и дополнительных (объемных и сдвиговых) деформаций от действия многократных циклических воздействий в исследованном диапазоне частот нагружения.

**Ключевые слова:** грунт, циклическая нагрузка, деформация, частота приложения нагрузки, дополнительная деформация.

#### Introduction

Известно, что характер работы грунтовых оснований зданий и сооружений при действии многократно приложенной нагрузки в значительной мере отличается от работы их при постоянной (однократно приложенной) нагрузке. При таком воздействии деформирование грунтов сопровождается развитием дополнительных пластических деформаций, зависящей от частоты приложения нагрузки.

В работах [1-7] приводятся результаты экспериментальных исследований деформируемости песчаных грунтов при статических и квазистатических циклических воздействиях, приведены аналитические описания закономерностей их объемного и сдвигового деформирования.

#### Materials and Methods

В общем случае полные (объемные и сдвиговые) деформации от многократного циклического воздействия можно определить суммированием деформаций от однократного нагружения и дополнительных деформаций от повторных приложений нагрузки:

$$\varepsilon_{v(N)} = \varepsilon_v + \Delta\varepsilon_{v(N)}^p; \quad (1)$$

$$\varepsilon_{i(N)} = \varepsilon_i + \Delta\varepsilon_{i(N)}^p, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_v$  и  $\varepsilon_i$  - объемная и сдвиговая деформации при однократном (статическом) нагружении;  $\Delta\varepsilon_{v(N)}^p$  и  $\Delta\varepsilon_{i(N)}^p$  - дополнительные объемная и

## Impact Factor:

ISRA (India) = 3.117	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.156	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350

сдвиговая деформации, накопленные за  $N$  циклов повторного воздействия.

Для прогноза дополнительных пластических (объемных и сдвиговых) деформаций от  $N$  циклов квазистатического нагружения, используя результаты исследований, можно записать:

$$\Delta \varepsilon_{v(N)}^p = \Delta \varepsilon_{v(1)}^p (1 + B_v \cdot \ln N) \quad (3)$$

$$\Delta \varepsilon_{i(N)}^p = \Delta \varepsilon_{i(1)}^p (1 + B_i \cdot \ln N) \quad (4)$$

где  $B_v$  и  $B_i$  - экспериментальные параметры.

Величины дополнительных пластических объемных и сдвиговых деформаций от первого цикла нагружения ( $\Delta \varepsilon_{v(1)}^p$  и  $\Delta \varepsilon_{i(1)}^p$ ) хорошо аппроксимируются выражениями

$$\Delta \varepsilon_{v(1)}^p = \alpha_v (\sigma_i / \sigma_i^*)^{\beta_v} \cdot \ln(n/n_o); \quad (5)$$

$$\Delta \varepsilon_{i(1)}^p = \alpha_i (\sigma_i / \sigma_i^*)^{\beta_i} \cdot \ln(n/n_o), \quad (6)$$

где  $\alpha_v, \beta_v, n_o, \alpha_i$  и  $\beta_i$  - экспериментальные параметры.

Приводимые ниже результаты исследований являются продолжением указанных работ в части оценки влияния частоты приложения циклической нагрузки на деформируемость грунтов.

Экспериментальные исследования проводились с песчаными грунтами средней плотности сложения. Опыты выполнялись в приборах трехосного сжатия С-62 конструкции Азберген М.И. [2,5,6,8], в которых, впервые в экспериментальной практике исследования грунтов, применена широко используемая в машиностроении система "противодавление" [9]. Использование такой системы позволило устранить недостатки существующих приборов - утечку рабочей жидкости и трение по контакту «шток-втулка», и обеспечило значительное повышение достоверности получаемых результатов. Общий вид экспериментальной установки представлен на рисунке 1, а схема его приведена на рисунке 2.

Испытанию подвергались однородные песчаные грунты двух типов: песок мелкий и средней крупности. Значения продолжительности цикла нагружения ( $t_u$ ) принимались равными 60 мин., 60 сек. и 10 сек.

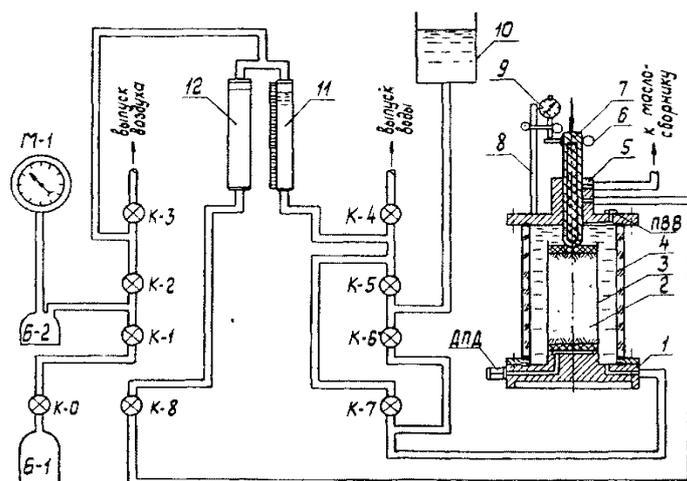
Результаты исследований показывают, что значения дополнительных пластических деформаций  $\Delta \varepsilon_{v(N)}^p$  и  $\Delta \varepsilon_{i(N)}^p$  от числа  $N$  при различной степени приближения напряженного состояния к предельному  $\sigma_i / \sigma_i^*$  и степени разгрузки  $n$  (отношения величин циклической и статической напряжений) показывает, что значения этих деформаций возрастают с увеличением числа циклов нагружения, а приращения их уменьшаются от цикла к циклу. Несмотря на то, что общий характер развития дополнительных пластических деформаций одинаков, уменьшение продолжительности цикла оказывает значительное влияние на величину накопленной за  $N$  циклов нагружения деформации. Вместе с тем, влияние продолжительности цикла на развитие дополнительных пластических деформации существенно возрастает с увеличением степени разгрузки и степени приближения напряженного состояния к предельному. Увеличение последней в значительной мере проявляется на величинах сдвиговых деформаций. Установлено, что при степени разгрузки  $n^{(0)} \leq 0,2$  (при нагружении только в пределах девиаторной части траектории) не происходит развития дополнительных пластических деформаций (как объемных, так и сдвиговых). Продолжительность цикла влияет не только на значения накопленных деформаций, но и определяет число циклов, при котором происходит стабилизация деформаций. Уменьшение продолжительности цикла нагружения для исследованных грунтов во всех случаях приводит к увеличению стабилизированных значений дополнительных пластических деформаций (как объемных, так и сдвиговых). При этом уменьшение  $t_u$  от 60 минут до 60 секунд незначительно влияет на значения дополнительных пластических деформаций песка средней крупности и это влияние практически не зависит от влажности грунта. Для песка мелкого изменение продолжительности цикла в указанном диапазоне приводит к существенному росту значений дополнительных пластических деформаций, наибольшая величина которой соответствует  $t_u=10$  сек. Учитывая последнее, исследование влияния продолжительности цикла нагружения (частоты нагружения) на развитие дополнительных пластических деформаций грунта выполнено более подробно для песка мелкого.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 3.117	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИИ (Russia) = 0.156	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350



Рисунок 1. Установка для испытания грунтов в условиях трехосного сжатия конструкции Азберген М.И.



1 - основание прибора; 2 - образец грунта; 3 - оболочка резиновая; 4 - корпус прибора; 5 - крышка корпуса; 6 - консоль индикатора; 7 - шток прибора; 8 - индикатор перемещений; 9 - стойка индикатора; 10 - бачок напорный; 11 - волюмометр; 12 - емкость с маслом; Б - баллон для воздуха; К - кран; М - манометр; ПВВ - пробка выпуска воздуха; ДПД - датчик парового давления.

Рисунок 2. Схема прибора трехосного сжатия С-62 конструкции Азберген М.И.

### Conclusion

Данные обработки результатов экспериментов, проведенных с песком мелким показывают, что зависимости дополнительных пластических деформаций от логарифма числа циклов в общем случае нелинейны (рис.3), а зависимости приведенных деформаций  $K_{(N)}$  (отношения дополнительных деформаций, накопленных за  $N$  циклов и на первом цикле нагружения) от логарифма числа циклов  $N$  едины для всех значений напряжений гидростатического обжатия, степени приближения напряженного

состояния к предельному и степени разгрузки (рис.4). Это свидетельствует о том, что при уменьшении продолжительности цикла нагружения  $t_{ц}$  в исследованном диапазоне, так же как и при квазистатическом циклическом нагружении (при  $t_{ц} = 60$  мин), существует подобие процесса развития дополнительных пластических деформаций с увеличением числа циклов, характеризуемых приведенной деформацией  $K_{(N)}$ . Сказанное позволяет констатировать, что

## Impact Factor:

ISRA (India) = 3.117	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.156	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350

приведенная деформация является функцией только числа циклов нагружения.

Нелинейность зависимости  $K_{(N)}(\ln N)$  объясняется тем, что при продолжительности цикла нагружения  $t_c=10$  сек накопление дополнительных пластических деформаций на первых циклах происходит с гораздо меньшей интенсивностью, чем при квазистатическом циклическом нагружении. Это обусловлено динамическим приложением нагрузки, в результате которого инерционные силы не успевают привести к значительно плотной

упаковке частиц грунта на первых 10-12 циклов нагружения, что согласуется с результатами [10]. При дальнейшем нагружении интенсивность накопления дополнительных пластических деформаций, характеризуемая приведенной деформацией, линейно зависят от числа циклов. Из сказанного следует, что для грунтов, испытывающих большое число циклов динамического воздействия, зависимость  $K_{(N)}(\ln N)$  в определенном диапазоне (от  $N'$  до  $N$ ) можно принимать линейной.

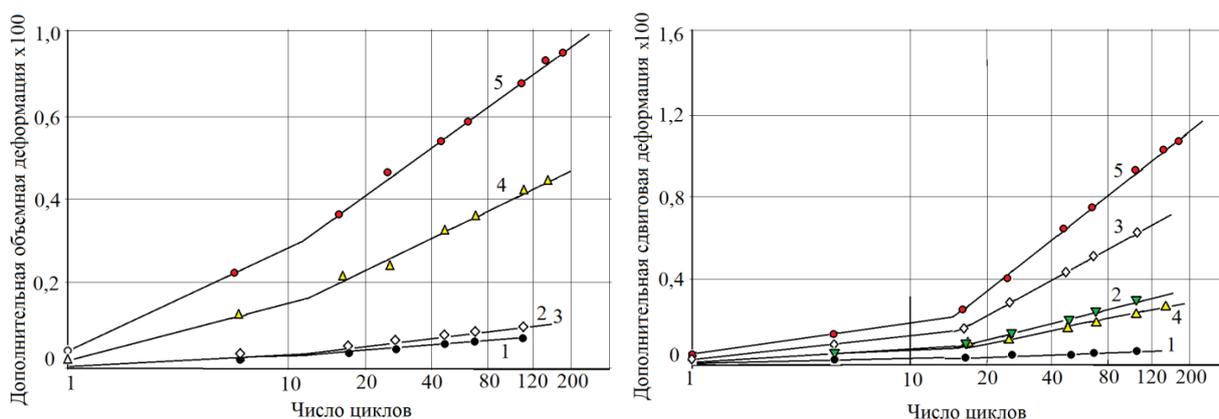


Рисунок 3. Зависимости деформаций  $\Delta\varepsilon_{v(N)}^p$  и  $\Delta\varepsilon_{i(N)}^p$  от числа циклов: 1, 4 и 2, 5, а также 3 – при различных значениях степени приближения напряженного состояния к предельному и степени разгрузки.

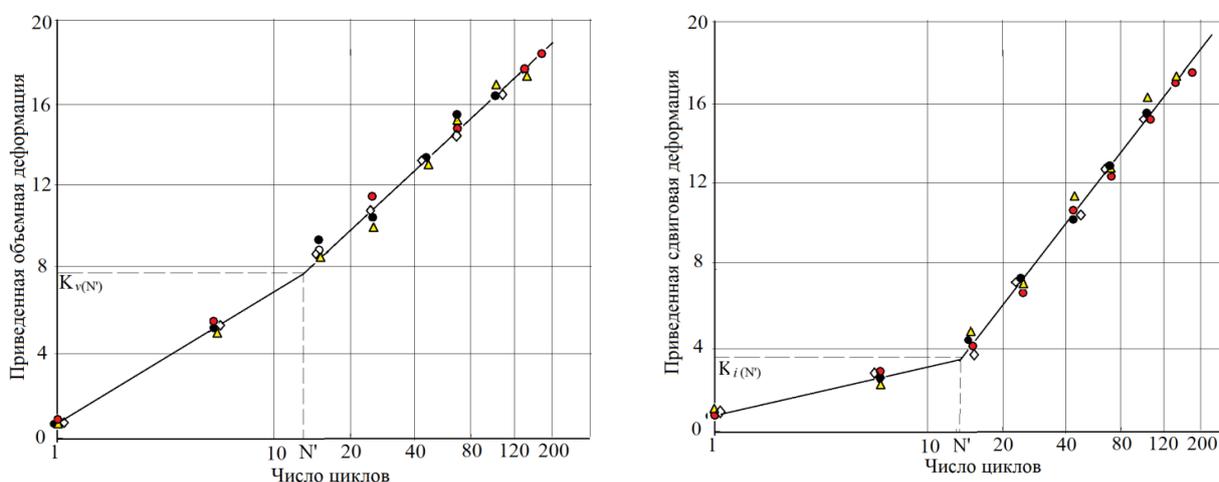


Рисунок 4. Зависимости приведенных деформаций  $K_{v(N)}$  и  $K_{i(N)}$  от числа циклов при различных значениях напряжений гидростатического обжатия, степени приближения напряженного состояния к предельному и степени разгрузки.

Тогда зависимости приведенных объемных и сдвиговых деформаций от числа циклов при

различных частотах приложения многократной нагрузки могут быть описаны функциями

$$\Delta\varepsilon_{v(N)}^p = \Delta\varepsilon_{v(N')}^p [K_{v(N')} + B_v \cdot \ln(N/N')]; \quad (7)$$

## Impact Factor:

ISRA (India) = 3.117	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.156	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350

$$\Delta \varepsilon_{i(N)}^p = \Delta \varepsilon_{i(N')}^p [K_{i(N')} + B_i \cdot \ln(N/N')], \quad (8)$$

где  $\Delta \varepsilon_{v(N)}^p$ ,  $\Delta \varepsilon_{v(N')}^p$ ,  $K_{v(N)}$ ,  $K_{i(N')}$ ,  $B_v$ ,  $B_i$  и  $N'$  - экспериментальные параметры, определяемые из опытов при трехосном сжатии.

Сравнение данных расчетного прогноза и экспериментальных величин деформаций

показывает на правильность выбранных аппроксимаций и возможность использования уравнений (1), (2) и (7), (8) для прогноза общих и дополнительных объемных и сдвиговых деформаций при многократных циклических воздействиях в исследованном диапазоне частот нагружения.

## References:

1. Vorontsov, E. I., & Azbergenov, M. I. (1987). Otsenka vliyaniya tsiklicheskogo nagruzheniya peschanykh gruntov na ikh deformatsiyu. *Sb. nauchnykh trudov Gidroproekta, vyp. 124*. Moskva. pp.141-147.
2. Azbergen, M. I. (1997). *Nelineynaya deformiruemost' grunta i uchet povtornosti nagruzheniya*. (p.92). Almaty: Gylym.
3. Azbergen, M. I. (2000). *Opisanie nelineynogo deformirovaniya gruntov pri razlichnykh usloviyakh ikh raboty i vozdeystviyakh*. Trudy 1-go Tsentral'no-aziatskogo geotekhnicheskogo simpoziuma. Astana.
4. Azbergen, M. I. (2001). *Deformatsii gruntov pri trekhosnom szhatii* (na kazakhskom yazyke). (p.94). Karatau: RITs AGTU.
5. Azbergen, M. I. (2018). *Izbrannye voprosy geotekhniki*. (p.116). Almaty: Evero.
6. Azbergen, M. I. (2015). *Deformatsii gruntov pri trekhosnom szhatii* (na kazakhskom yazyke). (p.115). Taraz: Format-print.
7. Azbergen, M. I., & Shevtsov, A. N. (2014). Dispersed-phasic soil model and given the frequency of loading. *International scientific journal "Theoretical & Applied Science"*, 12(20), pp.94-96.
8. Zaretskiy, Y. K. (1988). *Vyazkoplastichnost' gruntov i raschety sooruzheniy*. (p.352). Moscow: Stroyizdat.
9. Vorontsov, E. I., & Chernilov, A. G. (1981). *Ustroystvo dlya opredeleniya prochnostnykh i deformativnykh kharakteristik obraztsa grunta*. Avtorskoe svidetel'stvo №1040037 ot 13 oktyabrya 1981g.
10. Shumovskiy, V. P. (1967). *Deformativnost' osnovaniy iz nesvyazannykh gruntov pri povtornykh nagruzkakh*. V sb. "Raschet i issledovanie zakrytykh kranovykh estakad". (pp.129-146). Kiev: Budivel'nik.