

УДК. 624.131(175)

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАРХАННЫХ ПЕСКОВ В КАЧЕСТВЕ ФУНДАМЕНТНЫХ ПОДУШЕК

**И.К. Аимбетов, С.Т. Каипов**

Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук  
Каракалпакского отделения Академии наук Республики Узбекистан (КК НИИЕН ККОАН РУЗ),  
г. Нукус, Республика Узбекистан  
e-mail: [izzet\\_chf@mail.ru](mailto:izzet_chf@mail.ru), [saparniyazkaypov09@gmail.com](mailto:saparniyazkaypov09@gmail.com)

*Проведены испытания барханных песков на трехосном сжатии при разных значениях начальной плотности в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях. Испытания осуществлялись по кинематической схеме в указанных состояниях песка. Выявлены экспериментальные зависимости модуля деформации от начальной плотности.*

**Ключевые слова:** Барханные пески, песчаные подушки, трехосное сжатие.

## ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING SAND DUNES AS FOUNDATION CUSHIONS

**I. Aimbetov, S. Kaipov**

Karakalpak Scientific Research Institute of Natural Sciences of the Karakalpak  
Branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (KK NIIEEN KKOAN RUZ),  
Nukus, Republic of Uzbekistan  
e-mail: [izzet\\_chf@mail.ru](mailto:izzet_chf@mail.ru), [saparniyazkaypov09@gmail.com](mailto:saparniyazkaypov09@gmail.com)

*Sand dunes have been tested on triaxial compression at different values of initial density in air-dry and water-saturated conditions. The tests were carried out according to the kinematic scheme in the specified sand conditions. Experimental dependences of the deformation modulus on the initial density are revealed.*

**Keywords:** Sand dunes, sand cushions, three-axis compression.

**Введение.** В настоящее время в г. Нукусе запланировано строительство нескольких многоэтажных современных зданий. Фундаменты уже построенных и проектируемых объектов в основном имеют ленточную конструкцию с неглубоким заложением. В качестве оснований используются преимущественно аллювиальные четвертичные отложения.

Грунты в районе г. Нукуса представлены преимущественно слабыми мелкозернистыми и среднезернистыми песками светло-серого цвета с прослойками мелкозема общей мощностью до 0,4 м, а также легкими пылеватыми супесями, суглинками светло-серого и желтовато-серого оттенков, прослойками песков и глинами зеленовато-серого, темно-серого и охристого цветов мощностью до 0,3 м [1]. Для защиты зданий и сооружений от агрессивного воздействия грунтовых вод при проектировании фундаментов обычно предусматривается дренаж. Одним из решений для организации дренажа является создание пластовой дренажной системы. В этой системе под фундаментом устраивается слой песка, обеспечивающий эффективное отведение воды. Дренированная вода поступает в специальные трубы и отводится от фундамента. Чтобы оценить возможность использования барханных песков в качестве подушек и для пластовой дренажной системы, необходимо определить механические свойства песка, которые применяются в расчетах фундаментов. Одним из ключевых показателей является модуль деформации грунта.

**Экспериментальная часть.** Механические свойства грунтов наиболее точно определяются с помощью трехосных сжатий, так как в этих приборах можно создать напряженное состояние, близкое к естественному в массиве грунта.

Для оценки возможности использования барханных песков в качестве пластовой дренажной системы или песчаных подушек были проведены специальные исследования на трехосном сжатии (стабилометре) компании ГЕОТЕК (Россия). Испытания проводились по консолидированно-дренированной схеме в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях песка.

Сначала образец подвергался гидростатическому обжатию до условной стабилизации объемных деформаций, а затем осуществлялось девиаторное нагружение (со скоростью 0,016 мм/мин) до разрушения образца. Испытания проводились при значениях гидростатического давления 100, 200 и 300 кПа.

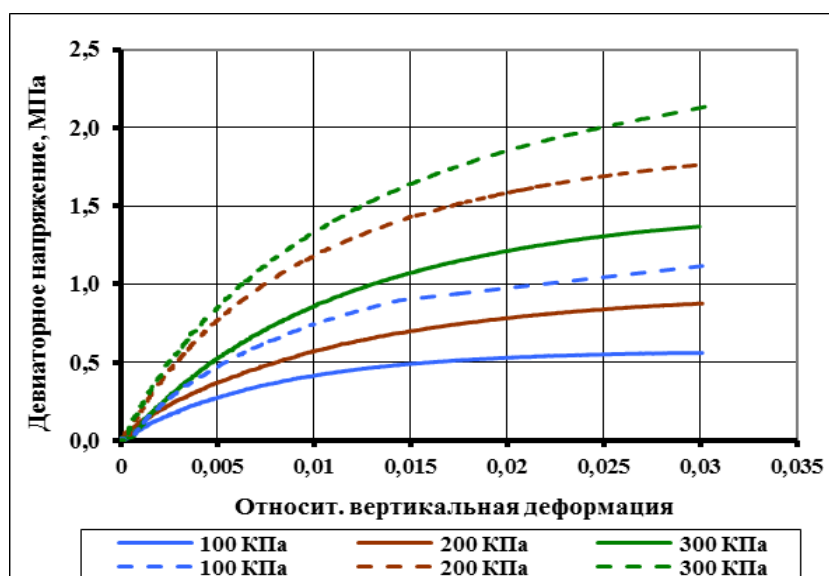
Для оценки влияния водонасыщения на механические свойства песка испытания также проводились в водонасыщенном состоянии по аналогичной схеме. Водонасыщение образца осуществлялось после формирования песчаного образца и заполнения камеры стабилометра водой. После водонасыщения выполнялось гидростатическое обжатие. После условной стабилизации объемных деформаций проводилось вертикальное нагружение образца по кинематической схеме со скоростью 0,016 мм/мин до разрушения. Для анализа влияния начальной плотности песка испытания проводились при значениях начального коэффициента пористости 0,53; 0,65; 0,80 и 1,0.

На рисунках 1 и 2 представлены графики, показывающие зависимости вертикальных деформаций от девиаторного нагружения при начальных коэффициентах пористости песка 0,53 и 1,0. Эти графики демонстрируют, что зависимости вертикальных деформаций от девиаторного давления имеют нелинейный характер и зависят от уровня гидростатического давления. На начальных участках, близких к линейным, значения модуля деформации песка были определены по следующей формуле [2, 7]:

$$E = \frac{\sigma_z}{\varepsilon_z} \quad (1)$$

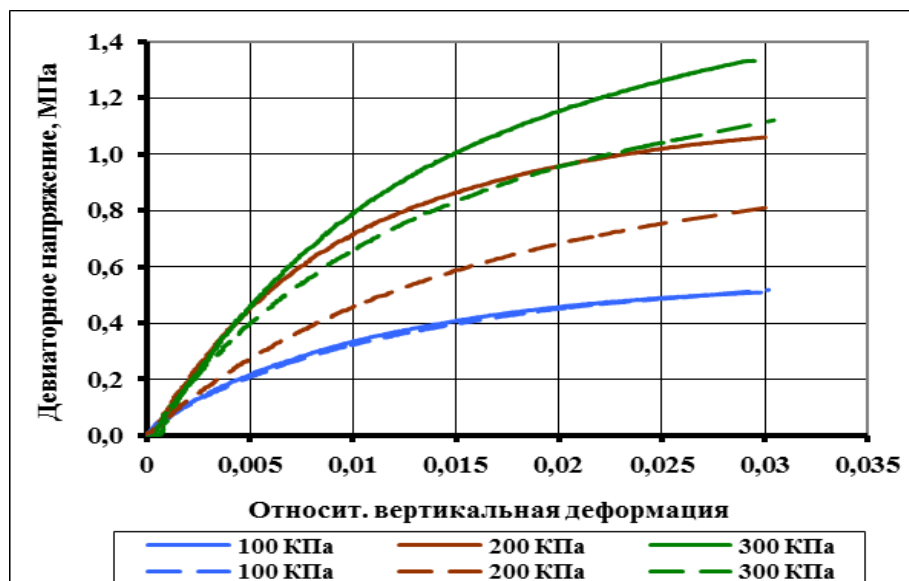
где  $\sigma_z$  – вертикальное (девиаторное) напряжение, МПа;

$\varepsilon_z$  – вертикальная деформация.



— воздушно-сухое состояние; ---- при водонасыщении (начальный коэффициент пористости песка 0,53)

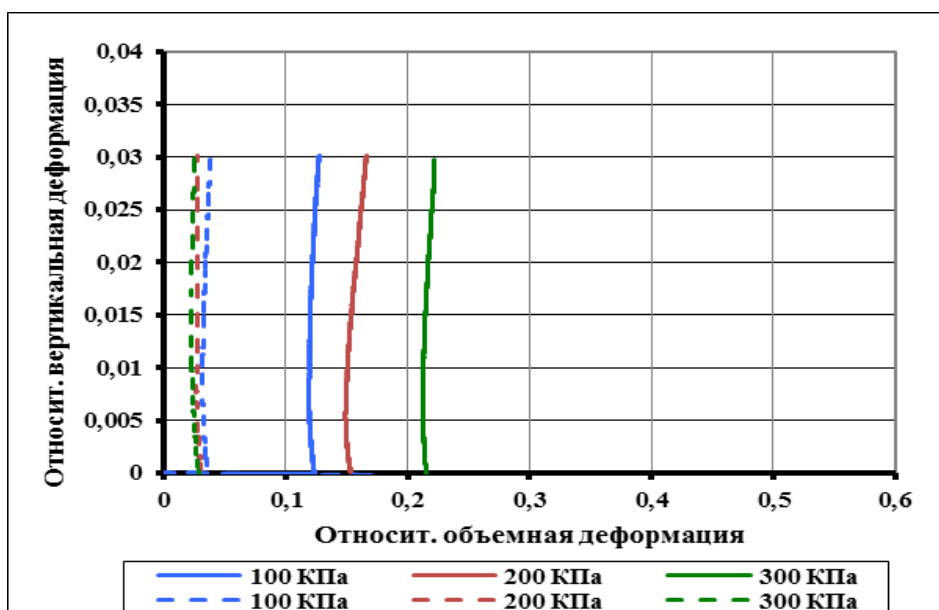
Рисунок 1. – Зависимости вертикальных деформаций от девиаторного нагружения



— воздушно-сухое; ---- при водонасыщении (начальный коэффициент пористости песка 1,0)

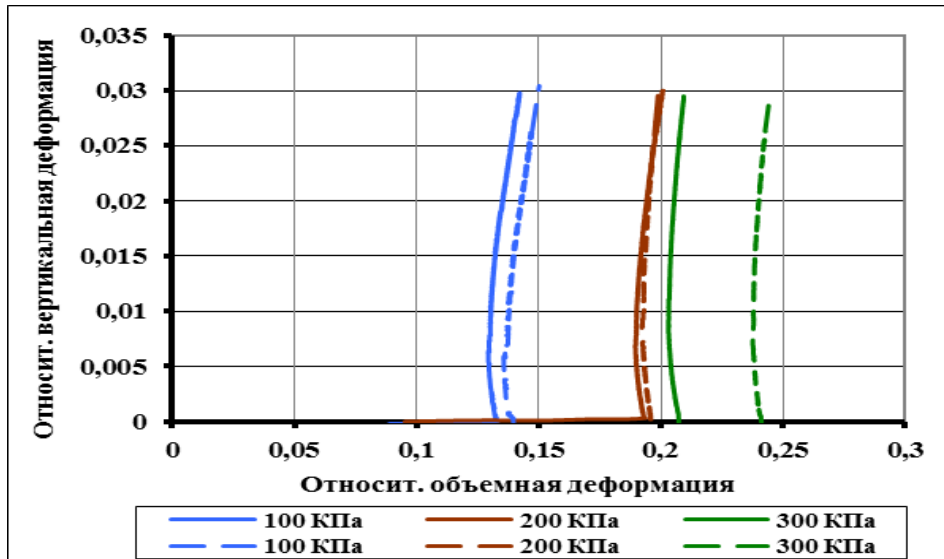
Рисунок 2. — Зависимости вертикальных деформаций от девиаторного нагружения

На рисунках 3 и 4 представлены экспериментальные графики, показывающие зависимости относительной объемной деформации от относительных вертикальных деформаций при начальных коэффициентах пористости 0,53 и 1,0, полученные в процессе девиаторного нагружения. Анализ графиков показывает, что эти зависимости имеют близкий к линейному характер. При этом, в условиях девиаторного нагружения объемные деформации для всех значений гидростатического давления практически не изменяются. Зависимость объемных деформаций от вертикальных деформаций также имеет линейный характер для начальных коэффициентов пористости 0,65 и 0,80.



— воздушно-сухое; ---- водонасыщенное состояние (начальный коэффициент пористости песка 0,53)

Рисунок 4. — Зависимости относительной объемной деформации от относительных вертикальных деформаций



— воздушно-сухое; --- водонасыщенное состояние (начальный коэффициент пористости песка 1,0)

Рисунок 3. – Зависимости относительной объемной деформации от относительных вертикальных деформаций

На рисунках 5-7 представлены графики, показывающие зависимости модуля деформации от начального значения коэффициента пористости для различных значений гидростатического давления. Анализ этих графиков показывает, что с уменьшением коэффициента пористости модуль деформации увеличивается как в воздушно-сухом, так и в водонасыщенном состоянии песка. Зависимости модуля деформации от коэффициента пористости для водонасыщенного песка при всех значениях гидростатического давления имеют линейный характер. В воздушно-сухом состоянии зависимости для гидростатических давлений 100 и 200 КПа аппроксимируются нелинейной функцией с выпуклостью к оси коэффициента пористости. При гидростатическом давлении 300 КПа эта зависимость проявляет линейный характер (рисунок 7).

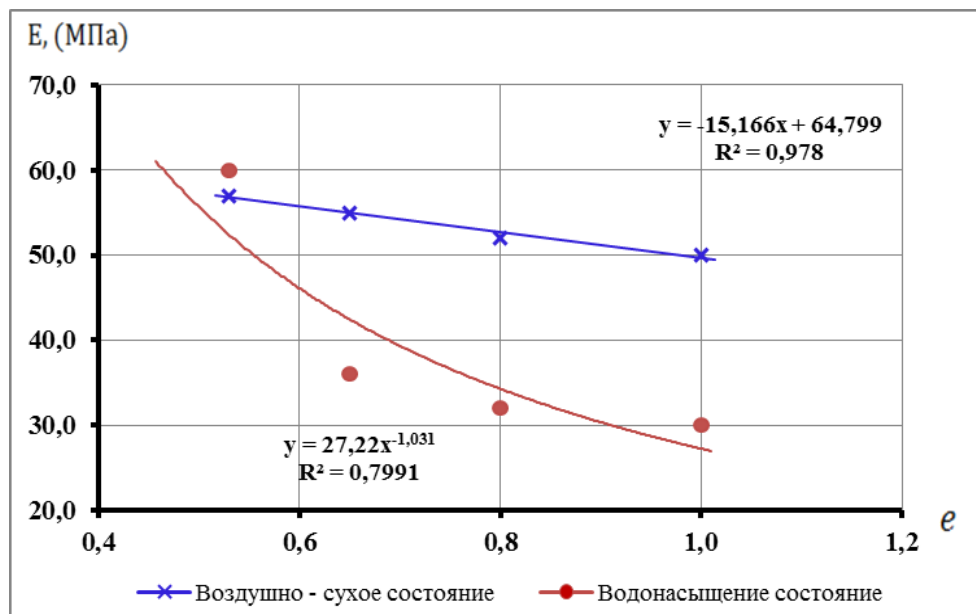


Рисунок 5. – Зависимости модуля деформации от начального коэффициента пористости песка (гидростатическое давление 100КПа)

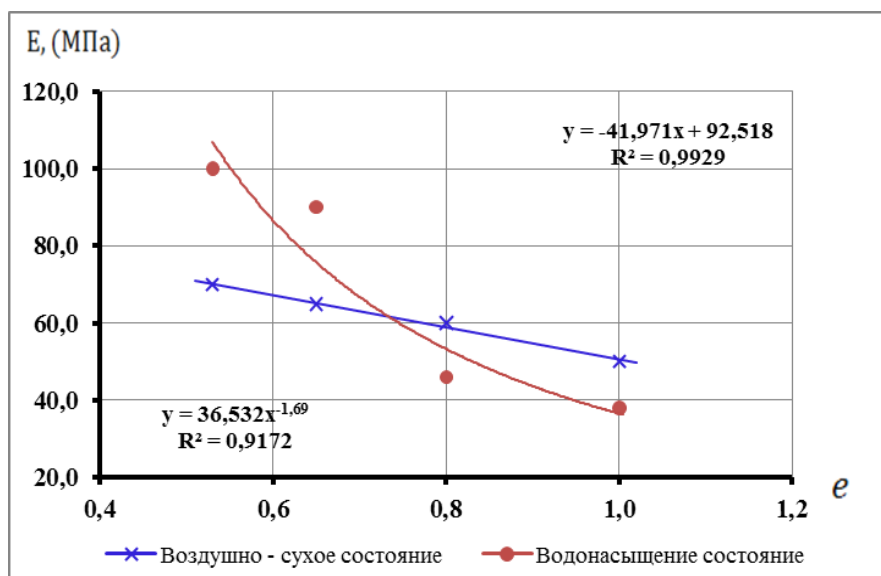


Рисунок 6. – Зависимости модуля деформации от начального коэффициента пористости песка (гидростатическое давление 200кПа)

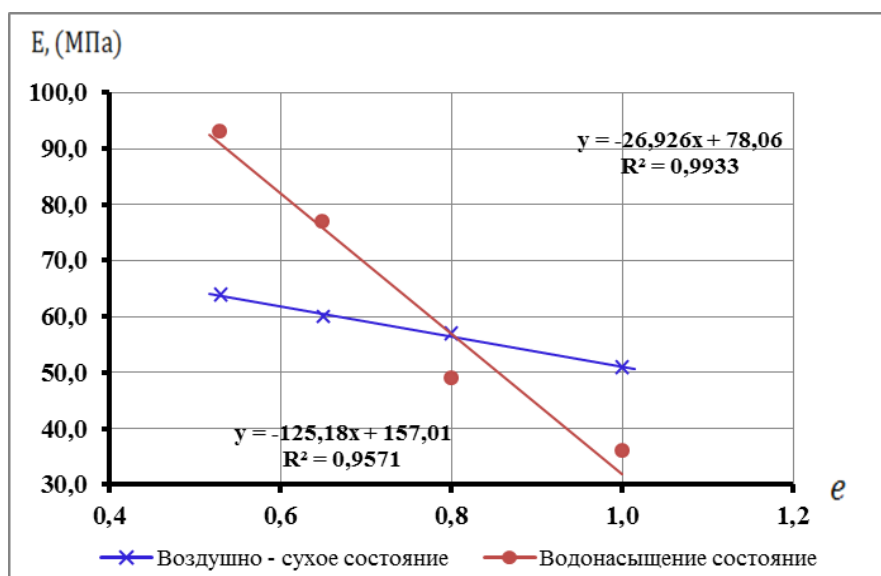


Рисунок 7. – Зависимости модуля деформации от начального коэффициента пористости песка (гидростатическое давление 300кПа)

**Заключение.** Анализ результатов существующих исследований инженерно-геологических свойств грунтов города Нукуса показывает, что в качестве оснований в основном используются относительно слабые аллювиальные отложения. Это приводит к ресурсозатратным решениям при проектировании фундаментов. Высокий уровень грунтовых вод и их агрессивность также способствуют преждевременному износу подземных частей зданий и сооружений. К сожалению, в городе Нукусе не проектируются пристенные и пластовые дренажные системы фундаментов, что усугубляет проблему износа.

Результаты лабораторных исследований могут быть использованы при проектировании песчаных подушек и пластовых дренажных систем для зданий и сооружений в условиях города Нукуса. При проектировании песчаных подушек слабые грунты заменяются на плотные

барханные пески, что позволит уменьшить площадь подошвы фундамента и снизить агрессивное влияние грунтовых вод. Экспериментальные закономерности влияния плотности на модуль деформации можно применять для определения плотности песчаной подушки в зависимости от нагрузки на фундамент, что позволит принимать оптимальные технические решения. Кроме того, проектирование песчаных подушек поможет снизить сейсмические нагрузки на фундамент, так как в песках наблюдается снижение амплитуды сейсмических волн.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аимбетов И.К. Инженерно-геологические основы строительства зданий и сооружений на засоленных грунтах Каракалпакстана. – Нукус: Илим, 2020. – 287 с.
2. Аимбетов И.К., Каипов С.Т., Сапарниязов Б. Деформируемость барханных песков окрестности города Нукуса при трехосном сжатии. // Проблемы механики. – 2024. – № 2. – С. 72–77.
3. Ананьев В.П., Потапов А.Д. Инженерная геология. – М.: Высш. шк., 2002. – 479 с.
4. Мавлянов Г.А., Касымов С.М., Смолина Л.Б. и др. Физико-химические, инженерно-геологические и сейсмические свойства лессовых пород Узбекистана. – Ташкент: ФАН, 1978. – 255 с.
5. Методическое руководство по детальному сейсмическому районированию и микрорайонированию для градостроительного планирования. – Ташкент, 2023. – 155 с.
6. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М: Стройиздат, 1963. – 636 с.
7. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения. – М: Стройиздат, 1985. – 479 с.
8. ГОСТ. 12248-2010. Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: Изд-во «Стандартинформ», 2012. – 78 с.
9. Aimbetov I.K., Bekimbetov R.T. Engineering and geoeological assessment of soils salinity in Nukus using GIS technologies. 2021. – Moscow. E3S Web. Conf. Volume 265. Actual Problems of Ecology and Environmental Management (APEEM 2021). 1-7. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126503006>.