

Секция II  
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ,  
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИХ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 624.131(175)

ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
ОСНОВАНИЯ ЗДАНИЯ ГОРОДА НУКУСА

*И.К. Аимбетов, Р.Т. Бекимбетов*

Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук Каракалпакского отделения Академии наук Республики Узбекистан, г. Нукус, Республика Узбекистан  
e-mail: [izzet\\_chf@mail.ru](mailto:izzet_chf@mail.ru), [r.bekimbetov@mail.ru](mailto:r.bekimbetov@mail.ru)

*В статье представлены результаты численных расчетов напряженно-деформированного состояния грунтового массива под фундаментом здания в городе Нукус, выполненные с использованием метода PLAXIS. Исследование ленточных фундаментов показало, что с увеличением ширины фундамента осадки также возрастают, что обусловлено увеличением глубины активной зоны грунта под ним. Анализ результатов расчетов выявил, что для данного строительного участка наиболее экономичным вариантом является ленточный фундамент шириной 1,2 м.*

**Ключевые слова:** *Осадка, фундамент, массив грунта, plaxis*

NUMERICAL CALCULATIONS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE BASE  
OF THE BUILDING OF THE CITY OF NUKUS

*I. Aimbetov, R. Bekimbetov*

Karakalpak Scientific Research Institute of Natural Sciences of the Karakalpak Branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Nukus, Republic of Uzbekistan  
e-mail: [izzet\\_chf@mail.ru](mailto:izzet_chf@mail.ru), [r.bekimbetov@mail.ru](mailto:r.bekimbetov@mail.ru)

*The article presents the results of numerical calculations of the stress-strain state of the soil mass under the foundation of a building in the city of Nukus, performed using the PLAXIS method. The study of ribbon foundations showed that with an increase in the width of the foundation, precipitation also increases, due to an increase in the depth of the active zone of the soil under it. Analysis of the calculation results revealed that for this construction site, the most economical option is a 1.2 m wide ribbon foundation.*

**Keywords:** *Sediment, foundation, soil mass, plaxis.*

**Введение.** Из-за недостаточного изучения физико-механических свойств засоленных грунтов города Нукуса фундаменты зданий зачастую проектируются с большим запасом прочности. В последние годы в Нукусе активно строятся многоэтажные жилые здания, для которых в основном используются ленточные фундаменты. Однако в некоторых случаях, из-за недостаточной информации об инженерно-геологических условиях региона, принимается решение о применении плитных фундаментов.

**Цель и методы исследования.** Целью данной работы было сравнение результатов натуральных наблюдений осадок плитного фундамента с расчетами, выполненными методом конечных элементов (МКЭ) с использованием геотехнического комплекса «PLAXIS 3D Foundation».

Исследования проводились на примере строительства пятиэтажного жилого дома в г. Нукусе, расположенного на пересечении ул. Е. Алакоз и М. Авезова. Высота здания составляет 18,0 м, а площадь в плане — 768 м<sup>2</sup>. Стены выполнены из кирпича, на уровне перекрытий и покрытия предусмотрены сплошные антисейсмические пояса. Глубина заложения фундамента — 1,0 м, тип фундамента — плитный, высота — 0,4 м.

Инженерно-геологическое обследование показало, что в пределах изучаемых глубин (до 10 м) грунты на площадке представлены глинистыми и песчаными отложениями, включая лессовидные суглинки и пески.

Для совместных расчетов плитного фундамента и основания был выбран комплекс «PLAXIS 3D Foundation», который представляет собой пакет геотехнических программ для конечно-элементного анализа напряженного состояния системы «основание-фундамент». В рамках задач МКЭ сплошная область рассматривается как совокупность конечного числа элементов. В данной работе при формировании расчетной схемы использовались 6-узловые элементы и 16-узловые интерфейсные элементы для моделирования работы конструкции и взаимодействия грунта с ней.

При численных расчетах учитывались физико-механические свойства грунтов и материала фундамента, представленные ниже.

Таблица 1. – Физико-механические характеристики грунтов

Наименование характеристики	Ед. изм.	Суглинок	Песок
Плотность грунта	т/м <sup>3</sup>	1,94	1,94
Коэффициент пористости	б/р	0,786	0,750
Влажность природная	д.е.	0,284	0,275
Влажность на пределе текучести	д.е.	0,351	-
Влажность на пределе раскатывания	д.е.	0,225	-
Число пластичности	д.е.	0,126	-
Показатель текучести	б/р	0,48	-
Удельное сцепление при водонасыщении	кПа	7,5	1,0
Угол внутреннего трения	град.	23	30
Модуль деформации: при водонасыщении	МПа	8,6	9,5

Таблица 2. – Физико-механические свойства материала плиты

Характеристика (Обозначение)	Ед. измер.	Величина
Модуль упругости ( $E_{ref}$ )	кН/м <sup>2</sup>	29000000
Коэффициент Пуассона ( $\nu$ )	-	0,2
Плотность материала ( $\rho_{sat}$ )	кН/м <sup>3</sup>	24,0
Эквивалентная толщина ( $d$ )	м	0,4

В качестве объемных сил учитывались собственный вес плиты и грунта основания. Внешняя нагрузка  $P$  применялась в виде равномерно распределенной нагрузки. Для каждой стадии нагружения фундамента рассчитывались осадки и напряжения в массиве грунтов.

Для оценки корректности результатов численных расчетов были проведены натурные наблюдения за осадками здания в процессе его строительства. В фундаменте были установлены реперы, предназначенные для мониторинга осадков. С использованием нивелира про-

водились наблюдения, которые показали, что осадка здания происходила равномерно по всем трем реперам.

#### Результаты численных расчетов осадок и их сопоставление с натурными наблюдениями.

Результаты численных расчетов осадок здания были сопоставлены с данными натурных наблюдений. Кроме расчетов плитного фундамента, были проведены также расчеты ленточного фундамента с шириной 1,2; 1,4 и 1,6 м. Анализ показал, что с увеличением ширины ленточного фундамента осадки тоже увеличиваются, однако они остаются меньшими, чем у плитного фундамента. Это связано с тем, что с ростом размеров фундамента увеличивается интенсивность осадок по глубине.

Для подтверждения этого были представлены результаты расчетов осадок грунтового массива под фундаментами. На рисунке 1 показаны результаты расчетов осадок под плитным фундаментом, которые демонстрируют, что осадки не уменьшаются до глубины 19 метров.

С целью оценки правильности применения ленточного фундамента были выполнены численные расчеты для фундаментов шириной 1,2; 1,4 и 1,6 м. При расчетах учитывались вертикальные давления под подошвой фундамента, вызванные весом вышележащих конструкций. При увеличении ширины ленточного фундамента также увеличивается его осадка, что обусловлено ростом глубины затухания осадок.

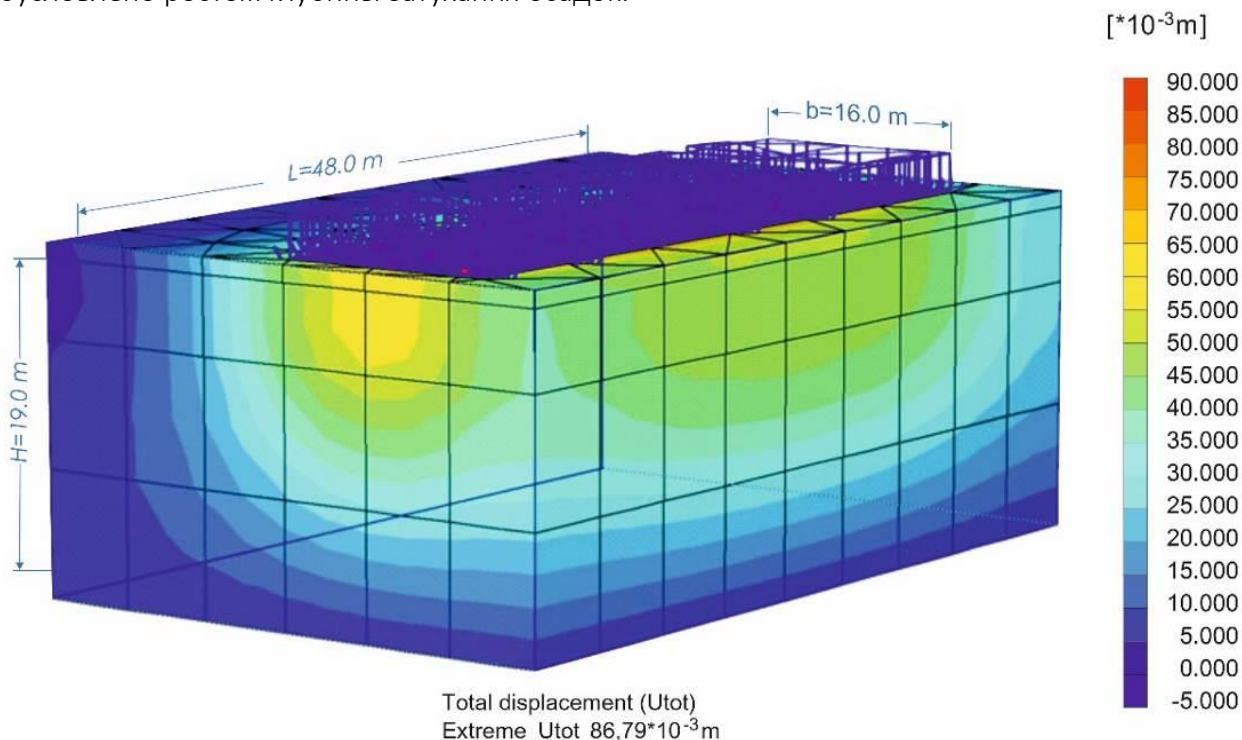


Рисунок 1. – Изменение общих осадок грунта по глубине под плитным фундаментом.  $P = 7,1 \text{ кН/м}^2$

Аналогичные результаты были получены в экспериментальных исследованиях осадок для различных размеров площади нагрузки на грунтовой массив. В частности, в работах Х.Р. Хакимова и Д.Е. Польшина было установлено, что с увеличением площади нагрузки, при одинаковых значениях напряжений, наблюдается рост вертикальных осадок. Это связано с увеличением активной зоны грунтового массива при увеличении площади нагружения.

В таблице №3 представлены результаты расчетов осадок для различных типов фундаментов проектируемого здания в г. Нукусе. Анализ данных показывает, что наиболее экономичным вариантом является ленточный фундамент шириной 1,2 м.

Таблица 3. – Осадки фундаментов различных типов и размеров

Тип и размеры фундамента	Давление под подош- вой фундамента, кн/м <sup>2</sup>	U <sub>total</sub> 10 <sup>-3</sup> м	U <sub>y</sub> 10 <sup>-3</sup> м	U <sub>x</sub> 10 <sup>-3</sup> м
Плитный фундамент 16 x 48 м	71,0	86,79	86,26	
Ленточный фундамент b=1,2 м	19,5	64,81	57,47	34,20
Ленточный фундамент b=1,4 м	16,72	60,41	54,60	29,65
Ленточный фундамент b=1,6 м	14,63	62,42	54,56	34,53

### Заключение.

1. Сравнительный анализ численных расчетов и натурных наблюдений осадок фундамента здания в городе Нукус показал хорошее совпадение результатов, полученных с помощью программы PLAXIS, с данными натурных наблюдений.

2. Результаты численных расчетов ленточных фундаментов различной ширины показали, что с увеличением ширины фундамента осадки также возрастают. Это связано с увеличением глубины затухания осадок при расширении фундамента.

3. Сравнение результатов численных расчетов осадок плитного фундамента пятиэтажного дома показало, что осадки ленточных фундаментов значительно меньше, чем у плитного, что объясняется глубиной активной зоны грунтового массива под фундаментом.

4. Исследования показали, что выбранный плитный вариант фундамента может привести к перерасходу строительных материалов. Наиболее экономичным вариантом для проектируемого здания является фундамент шириной 1,2 м.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Аимбетов И. К. Инженерно-геологические основы строительства зданий и сооружений на засоленных грунтах Каракалпакстана // Нукус: Илим. – 2020.
2. Aimbetov I.K., Bekimbetov R.T. The investigation of Foundation Displacements of Nukus City (Uzbekistan) buildings // International of Science and Research (IJSR). – Vol. 9 Iss. 7, July 2020. – P. 504–507.
3. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М: Стройиздат, 1983. – 288 с.
4. Angeli M., Bigas J.P., Benavente D., Menéndez B., Hébert R., David C. Salt crystallization in pores: quantification and estimation of damage // Environmental geology. – 2007. – № 52. – P. 205–213.
5. Benavente D., Cueto N., Martínez-Martínez J., Del Cura M.G., Cañaveras J. The influence of petrophysical properties on the salt weathering of porous building rocks // Environmental geology. – 2007. – № 52. – P. 215–224.
6. Benavente D., Garcia del Cura M.A., Garcia-Guinea J., Sanchez-Morald S., Ordonez S. Role of pore structure in salt crystallisation in unsaturated porous stone // Journal Crystal Growth. – 2004. – №260 (3-4). – P. 532–544.
7. Izzet A., Rakhim D. Assessment of salinization of soils and groundwater of the Khojaly district (Southern Aral sea region) //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 407. – С. 02013.