



СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС  
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО  
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

ҚҰРЫЛЫС  
СТРОИТЕЛЬСТВО  
CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212\_2024\_4\_228  
MPHTI 67.11.99

Е.Т. Бесимбаев<sup>1</sup>, А.С. Шадқам<sup>1</sup>, Е.И. Кульдеев<sup>1</sup>, Ж.О. Жұмаділова<sup>1</sup>, У.Т. Бегалиев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет имени Сатпаева,  
г. Алматы, Казахстан

E-mail: y.bessimbayev@satbayev.university

E-mail: asylbekshadkam@gmail.com\*

E-mail: e.kuldeyev@satbayev.university

E-mail: z.zhumadilova@satbayev.university

<sup>2</sup>Международный университет информационных технологий, г. Бишкек, Кыргызстан

E-mail: utbegaliev@mail.ru

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНО АРМИРОВАННОГО ОСНОВАНИЯ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА

### ПЛИТА НЕГІЗДЕРІНІҢ ТІГІНЕН НЫҒАЙТЫЛҒАН НЕГІЗІН ЖОБАЛАУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

### PECULIARITIES OF DESIGN OF VERTICALLY REINFORCED BASE OF SLAB FOUNDATIONS

**Аннотация.** В статье представлен анализ экспериментальных и теоретических исследований по армированию грунтовых оснований для создания искусственных оснований на слабых грунтах. Целью работы является разработка конструктивного решения для вертикально армированного основания плитного фундамента многоэтажного здания. Исследование выполнено на примере конструктивного решения армирования основания реального объекта. Научная новизна работы заключается в определении оптимальных параметров армирующей сетки и длины армирующих элементов для повышения несущей способности и уменьшения осадки плитного фундамента. Численные расчеты проведены методом конечных элементов с использованием программного комплекса PLAXIS 3D и модели упрочняющегося грунта Hardening Soil в соответствии с нормами Еврокода 7. Применение жестких вертикальных армирующих элементов для армирования грунтового массива позволило повысить несущую способность основания и снизить осадку вдвое. Использование раскатного оборудования для установки буронабивных вертикальных армирующих элементов рассматривается как перспективный и надежный метод повышения несущей способности и деформируемости основания, который позволяет значительно сократить время и затраты на создание искусственных оснований.

**Ключевые слова:** несущая способность, модель грунта, плитный фундамент, осадка, вертикальный армирующий элемент.

**Аңдатпа.** Әлсіз топырақтарда жасанды негіз жасау үшін топырақ негіздерін нығайтудың эксперименттік және теориялық зерттеулеріне талдау келтірілген. Бұл жұмыстың мақсаты көп қабатты ғимараттың тігінен күшейтілген Плиталық іргетасының құрылымдық шешімін әзірлеу болып табылады. Зерттеу нақты объектінің негізін нығайтудың сындарлы шешімі мысалында жүргізілді. Жұмыстың жаңалығы-жүк көтергіштігін қамтамасыз ету және Плиталық іргетас негізінің жсауын-шашынын азайту үшін арматуралық тордың оңтайлы параметрлерін және топырақ массивінің арматурасының ұзындығын анықтау. Сандық есептеулер PLAXIS 3D бағдарламасының көмегімен соңғы элементтер әдісімен, Еурокод 7 талаптарына сәйкес

*Hardening Soil қатайтылатын топырақ моделін пайдалана отырып жүргізілді. Топырақ негізін қатты тік арматуралық элементтермен нығайту негіздің жүк көтергіштігін арттыруға және шөгінділерді 2 есе азайтуға мүмкіндік береді. Бұрғылау тігінен күшейтетін Элементтерді орнату кезінде илектену жабдығын қолдану жасанды негіздерді құру үшін қажетті уақыт пен шығындарды едәуір қысқартатын негіздің көтергіштігі мен деформациялануын қамтамасыз етудің перспективалы және сенімді әдісі болып табылады.*

**Түйін сөздер:** жүк көтергіштігі, топырақ моделі, плиталық іргетас, шөгінді, тік арматуралық элемент.

**Abstract.** *The analysis of experimental and theoretical studies of reinforcement of soil foundations to create an artificial foundation on weak soils is given. The aim of the present work is to develop a design solution of a vertically reinforced base of a slab foundation of a multi-storey building. The study is carried out on the example of the design solution of reinforcement of the foundation of a real object. The novelty of the work consists in determining the optimal parameters of the reinforcement grid and the length of reinforcement of the soil mass to ensure the bearing capacity and reduce the settlement of the slab foundation base. Numerical calculations were carried out by the finite element method using the PLAXIS 3 programme, using the Hardening Soil model, in accordance with the requirements of Eurocode 7. Reinforcement of the soil foundation with rigid vertical reinforcing elements increased the bearing capacity of the foundation and reduced the settlement by 2 times. The use of rolling equipment in the construction of bored vertical reinforcing elements is a promising and reliable method of ensuring the bearing capacity and deformability of the foundation, which significantly reduces the time and costs required for the creation of artificial foundations.*

**Keywords:** *bearing capacity, soil model, slab foundation, settlement, vertical reinforcement element.*

**Введение.** В крупных городах активно осваиваются территории, ранее считавшиеся неблагоприятными для возведения многоэтажных зданий. Несмотря на сложные инженерно-геологические условия, строительство проводится на лессовых просадочных грунтах и насыпных участках. В данных условиях обеспечение необходимой прочности и устойчивости оснований и фундаментов представляет собой значимую геотехническую задачу, требующую проведения дополнительных инженерных мероприятий для повышения несущей способности и минимизации осадок. Национальные нормы Республики Казахстан рекомендуют решать данные вопросы путем технико-экономического анализа и сопоставления различных вариантов с традиционными подходами, учитывая конкретные инженерно-геологические условия. Для каркасно-пространственных конструкций предпочтение отдается свайным, свайно-плитным и массивным плитным фундаментам. В процессе возведения многоэтажных зданий также активно используется вертикальное армирование грунта под основанием для повышения несущей способности и уменьшения осадок (Usmanov, 2014, Попов, 2015).

Строительные нормы проектирования Казахстана, адаптированные на основе Еврокодов, рекомендуют улучшать строительные характеристики грунтов основания посредством использования вертикальных армирующих элементов для его укрепления (СП РК EN 1997-2:2007/2011.2015, НТП РК 07-01.3-2011.2015). В данном случае армированный грунт следует рассматривать как искусственно сформированный массив с улучшенными характеристиками, обусловленными введением армирующих элементов. Проведенные исследования показывают, что одним из основных преимуществ повышения физико-механических свойств грунта через армирование является обеспечение требуемой несущей способности основания, сформированного из местного грунта. Это решение позволяет уменьшить трудозатраты на уплотнение или замену слоев грунта, повысить безопасность конструкций и сократить сроки строительства. Армированные грунтовые массивы проявляют устойчивость к неравномерным деформациям сооружений даже в условиях сложной инженерно-геологической среды (Simoes J.T., 2020).

Отличительной чертой вертикального стержневого армирования основания по сравнению с традиционными свайными фундаментами является способ передачи нагрузки от верхних конструкций через грунт подушки на элементы вертикального армирования и окружающий их грунт посредством сил трения. В данной системе армоэлементы работают

в грунте за счет бокового обжатия и трения. Нагрузка воспринимается верхней частью армоэлемента через контактную поверхность с грунтом или фундаментом, после чего она передается на нижележащие слои с использованием бокового трения и опоры нижней части армоэлемента.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований показали, что напряженно-деформированное состояние плитного фундамента на основаниях с вертикальным армированием зависит от выбранной расчетной модели грунта, конструктивных особенностей вертикально армированного основания и ряда других факторов (Маковецкий, 2010, Попов А.О., 2015).

Расчетно-экспериментальные исследования геотехнических объектов выполняются с использованием двух широко применяемых упругопластических моделей: модели Кулона-Мора и модели упрочняющегося грунта *Hardening Soil*. Результаты расчетов, выполненных в программе PLAXIS, позволяют определить область применения каждой модели для проектных задач: модель упрочняющегося грунта *Hardening Soil* рекомендуется для расчета напряженно-деформированного состояния проектируемых геотехнических объектов, модель Кулона-Мора более подходит для оценки их предельного напряженного состояния (Semet C., 2023, *Computers and Geotechnics* 6 (1988)).

Использование специализированных программных комплексов позволяет учитывать нелинейные свойства грунтов основания при решении геотехнических задач. Применение современных программ, таких как MIDAS GTX, Plaxis 3D и других, в расчетах плитного фундамента в сложных геологических условиях позволяет анализировать не только деформации основания, но и напряженно-деформированное состояние всей конструктивной системы, расположенной на плитном фундаменте (Lina J., 2018, Amjad H.B., 2019).

Однако в процессе проектирования возникает множество вопросов, связанных с учетом неоднородности грунтовых слоев, изменением напряженно-деформированного состояния армирующих элементов и промежуточного пространства с течением времени, определением оптимальных параметров и количества армирующих элементов, а также их рационального расположения. Ключевыми задачами остаются прогнозирование несущей способности и деформируемости грунтов, а также выбор наиболее эффективных технологий проведения работ, отвечающих требованиям экономичности, надежности и экологической безопасности принятых решений (Голубев А.И., 2010, Пономарев А.Б., 2010).

Цель данной работы заключается в разработке конструктивного решения вертикально армированного основания для плитного фундамента многоэтажного здания. Исследование выполнено на основе примера армирования основания реального объекта. Для достижения поставленных целей рассмотрено напряженно-деформированное состояние крупногабаритной плиты на упругом грунтовом основании. При моделировании деформаций основания горизонтальные компоненты перемещений в горизонтальных плоскостях плиты существенно меньше вертикальной составляющей, поэтому их влияние не учитывается.

Данный расчет, учитывающий взаимодействие основания, фундаментной плиты и надфундаментной части здания, выполняется при следующих предположениях:

- вертикальные смещения точек основания и здания совпадают;
- фундаментная плита обладает постоянной толщиной и ортотропными свойствами;
- между плитой и основанием отсутствуют силы трения;
- основание плиты характеризуется коэффициентом жесткости.

Проектирование основания реального объекта осуществляется с учетом следующих условий:

- определение необходимой длины армирующего элемента для обеспечения несущей способности деформируемого слоя грунта;

– расчет оптимального расстояния между осями армирующих элементов для уменьшения деформации плитного фундамента.

*Материалы и методы исследования.* Для расчета используется программный комплекс PLAXIS 3D, основанный на методе конечных элементов и традиционной модели грунта Мора-Кулона. В качестве расчетного объекта рассматривается 9-этажное монолитное здание прямоугольной формы в плане. Фундамент представлен монолитной плитой высотой 60 см, установленной на грунтовой подушке из щебня толщиной 30 см.

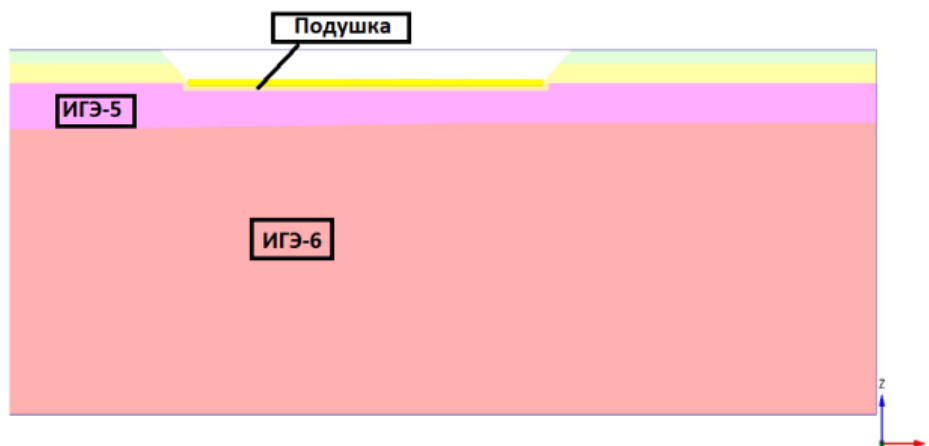
Основные результаты расчета, полученные с использованием метода конечных элементов, включают перемещения и усилия в узловых точках основания и плитного фундамента. Характеристики грунтов по инженерно-геологическим элементам (ИГЭ) приведены на рис. 1.

Property	Unit	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value
<b>Material set</b>								
Identification number		1	2	3	4	5	6	7
Identification		ИГЭ-3	ИГЭ-2	ИГЭ-1	ИГЭ-4	ИГЭ-5	ИГЭ-6	Подушка
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)
Colour		RGB 161, 226, 232	RGB 155, 234, 134	RGB 7, 97, 182	RGB 251, 255, 0	RGB 254, 22, 234	RGB 249, 26, 26	RGB 250, 181, 30
<b>Stiffness</b>								
E	kN/m <sup>2</sup>	19,70E3	13,10E3	1000	2900	3200	8200	20,00E3
$\nu$ ( $\mu$ )		0,3500	0,3500	0,3500	0,3500	0,3500	0,3500	0,3500
<b>General properties</b>								
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	19,60	16,90	18,00	18,10	19,30	19,80	19,60
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	19,70	17,10	18,00	18,30	19,40	19,90	19,60
<b>Strength</b>								
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	12,00	9,000	15,00	39,00	34,00	23,00	25,00
$\phi$ (ph)	°	26,00	21,00	16,20	12,00	14,00	19,00	19,00
$\omega$ (ps)	°	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Velocities</b>								
$V_s$	m/s	60,43	53,07	14,21	22,40	24,54	38,79	60,89
$V_p$	m/s	125,8	110,5	29,58	46,63	51,09	80,75	126,8

**Рисунок 1.** Физико-механические свойства грунтов

*Примечание – составлено автором*

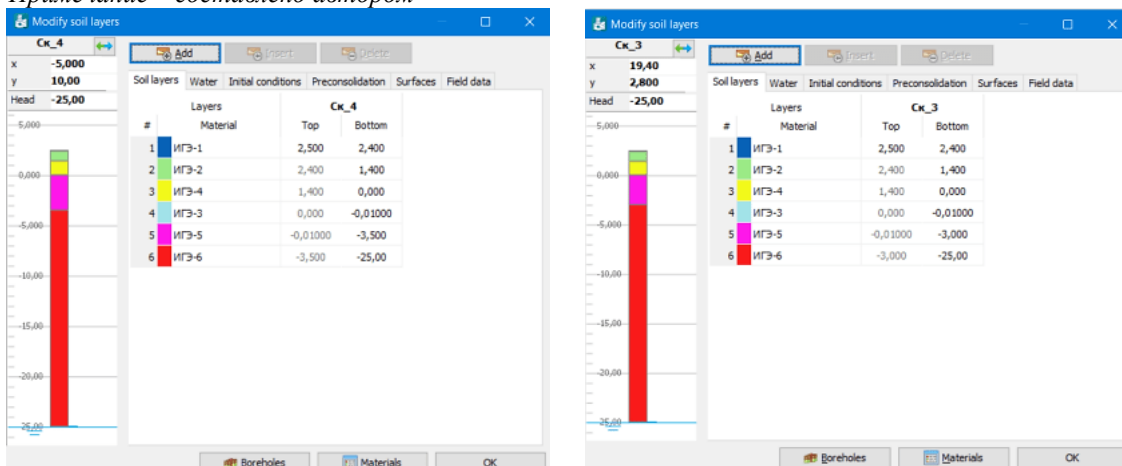
Для построения геологической модели основания здания в PLAXIS был принят грунтовый массив с размерами 80x120 м, изображенный на рис. 2. Геологическая модель грунтового массива представлена графически на рис. 3.



**Рисунок 2.** Разрез IV-IV в ПК PLAXIS (под фундамент зданий попадает:

подушка, ИГЭ-5, ИГЭ-6)

*Примечание – составлено автором*



**Рисунок 3.** Геологическая модель в ПК PLAXIS

*Примечание – составлено автором*

Расчетные характеристики фундаментной плиты для оценки напряженно-деформированного состояния на различных этапах нагружения, подготовленные с использованием графических инструментов, представлены на рис. 4.

Property	Unit	Value
<b>Material set</b>		
Identification		Фундаментная плита C20/25
Comments		
Colour		RGB 251, 255, 0
Material type		Elastic
<b>Properties</b>		
d	m	0,6000
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	25,00
Isotropic		<input checked="" type="checkbox"/>
$E_1$	kN/m <sup>2</sup>	30,60E6
$E_2$	kN/m <sup>2</sup>	30,60E6
$\nu_{12}$		0,1500
$G_{12}$	kN/m <sup>2</sup>	13,30E6
$G_{13}$	kN/m <sup>2</sup>	13,30E6
$G_{23}$	kN/m <sup>2</sup>	13,30E6
Rayleigh $\alpha$		0,000
Rayleigh $\beta$		0,000
Prevent punching		<input type="checkbox"/>

**Рисунок 4.** Характеристики фундаментной плиты толщиной 0,6 м (бетон B25) в графическом виде программы PLAXIS

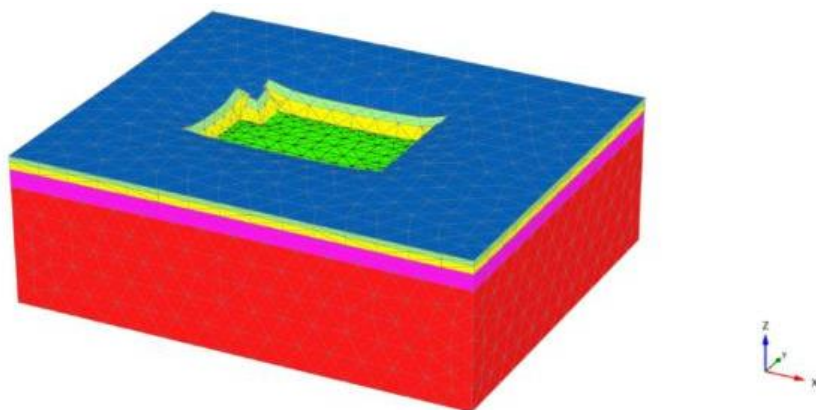
*Примечание – составлено автором*

Среднее давление на фундаментную плиту от веса надлежащих конструкций и нормативных нагрузок составляет 9,5 т/м<sup>2</sup>.

*Результаты и их обсуждение.* При нагружении основания весом фундаментной плиты

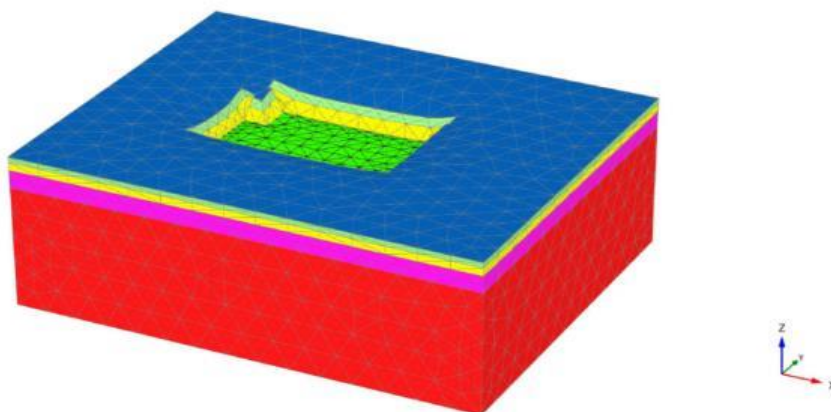
и вышележащих конструкций была получена деформированная схема грунтового массива (Рис. 5).

Расчеты на модели грунта Hardening Soil показывают, что максимальная деформация, равная 102,5 мм, наблюдается в центральной части фундаментной плиты (Рис. 6). Форма деформации в виде осадочной воронки на поверхности основания схожа благодаря использованию в моделях единой теории упругого полупространства. Деформированная сетка конечных элементов, демонстрирующая осадочную воронку и снижение деформации по направлению к краям плиты, указывает на развитие пластических деформаций в грунте.



**Рисунок 5.** Деформированная схема

*Примечание – составлено автором*



**Рисунок 6.** Осадка без учета армирования основания (max 102,5 мм)

*Примечание – составлено автором*

Результаты осадки основания под действующей нагрузкой, представленные на рис. 6, показывают, что деформация фундаментной плиты превышает допустимые значения (65-100 мм). Расчет указывает на недостаточную несущую способность основания в грунтовых слоях ниже уровня фундамента.

Для снижения деформации плитного фундамента применяются характеристики армированного основания с бетонными элементами DSM из бетона класса В12,5. Графическое отображение характеристик бетонных армирующих элементов в программе PLAXIS

представлено на рис. 7. Предварительный шаг размещения армирующих элементов устанавливается в диапазоне от 7 до 11d диаметра арматуры, что зависит от модуля деформации окружающего грунта и условий, обеспечивающих совместную работу грунта в массиве и необходимую несущую способность уплотненного основания.

При этом расстояние между центрами скважин определяется по формуле:

$$i_{ck} = \sqrt{\rho_{dc}/(\rho_{dc} - \rho_d)}, \quad (1)$$

учитывающей плотность сухого грунта в его естественном состоянии  $\rho_d$ , т/м<sup>3</sup>, и среднюю плотность сухого грунта в уплотненном массиве  $\rho_{dc}$ , т/м<sup>3</sup>. В процессе бурения скважины с использованием раскатчика зона грунта вокруг нее уплотняется до определенного радиуса.

Для предварительных расчетов диаметр уплотненной зоны ( $d_s$ ), образующейся после раскатки, определяется по формуле:

$$d_s = \gamma_c \sqrt{\rho_{ds}/(\rho_{ds} - \rho_d)} \quad (2)$$

где:  $d$  – диаметр раскатчика, м;  $\rho_{ds}$  – плотность сухого уплотненного грунта, т/м<sup>3</sup>;  $\rho_d$  – плотность сухого грунта естественного сложения, т/м<sup>3</sup>;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы грунта, принимаемый больше 1.

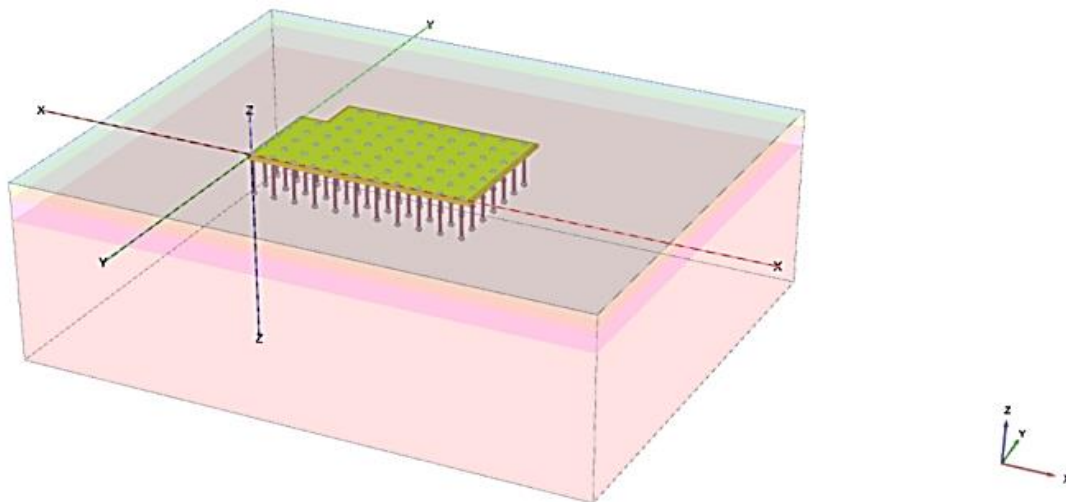
Анализ устойчивости армированного грунтового массива с DSM-колоннами проводится с использованием программного обеспечения Plaxis 3D. Для достижения оптимальных результатов рекомендуется применять вертикальные армирующие элементы диаметром Ø300 мм и длиной L = 6,0 м с шагом размещения сетки между осями 2x2 м.

Property	Unit	Value
<b>Material set</b>		
Identification number		1
Identification		Раскатка
Comments		
Colour		RGB 199, 82, 143
Material type		Elastic
<b>Properties</b>		
E	kN/m <sup>2</sup>	21,50E6
$\nu$	kN/m <sup>2</sup>	15,00
Beam type		Predefined
Predefined beam type		Massive circular beam
Diameter	m	0,3000
A	m <sup>2</sup>	0,07069
I <sub>2</sub>	m <sup>4</sup>	0,3976E-3
I <sub>3</sub>	m <sup>4</sup>	0,3976E-3
Rayleigh $\alpha$		0,000
Rayleigh $\beta$		0,000

**Рисунок 7.** Вертикальный армирующий элемент длиной 6 м диаметром 0,3 м (бетон В12,5)  
Примечание – составлено автором

При армировании под плитным фундаментом нагрузка от надлежащих конструкций передается на грунтовой массив через армирующие элементы посредством сил трения. В

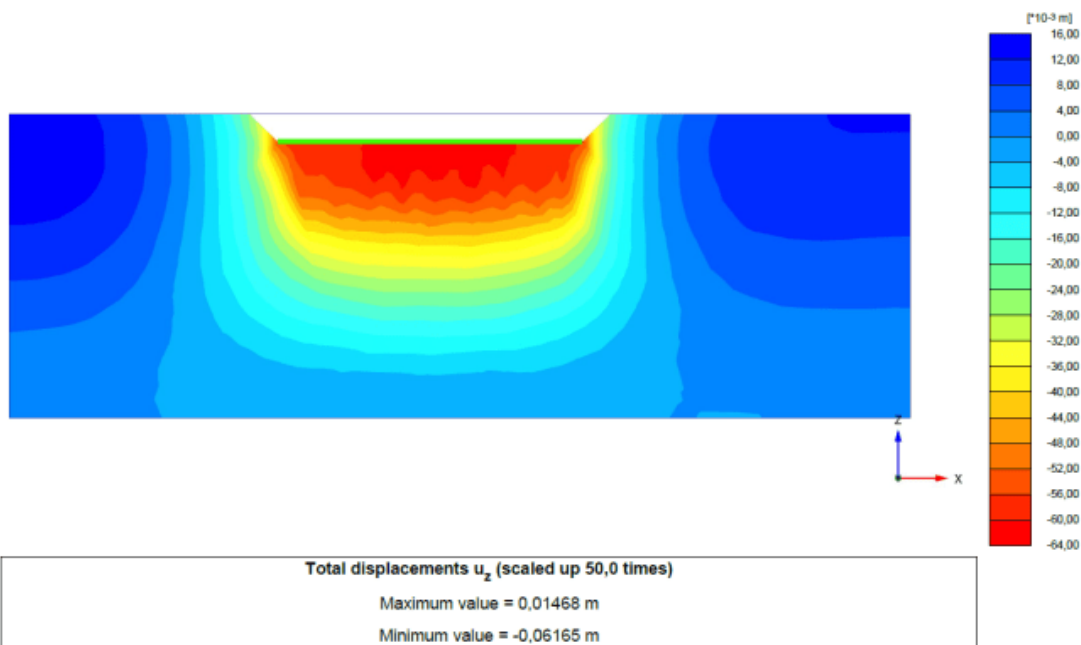
расчетной модели (рис. 8) работа армирующего элемента в грунте обеспечивается боковым обжатием и трением. Армирующий элемент принимает нагрузку через контактную поверхность с грунтом или плитным фундаментом своей верхней частью и передает ее на нижележащие слои нижней частью. Вертикальные бетонные армирующие элементы здесь выполняют функцию восприятия сжимающих напряжений (рис. 8).



**Рисунок 8.** Пространственная модель с вертикальными армирующими элементами (длина элемента – 6 м).

*Примечание – составлено автором*

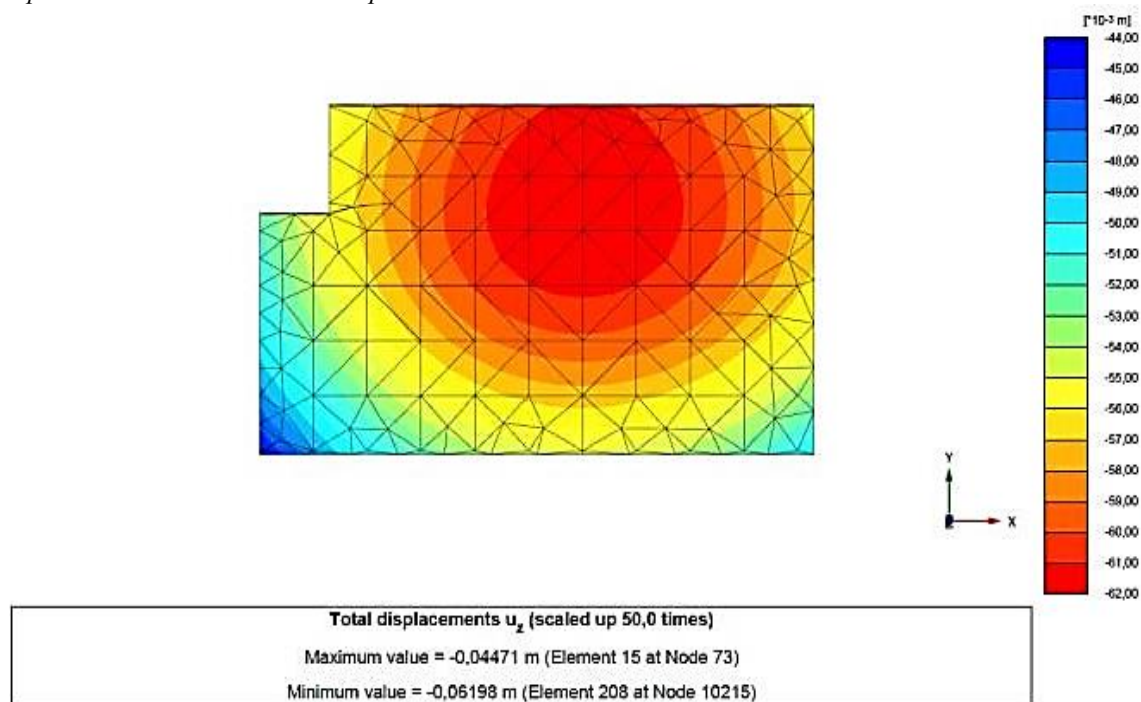
Результаты расчетов, представленные на рис. 9-10, демонстрируют уменьшение осадки грунта под плитным фундаментом.



**Рисунок 9.** Осадка с учетом усиления основания (max 61,5 мм)



Примечание – составлено автором



**Рисунок 10.** Вертикальные перемещения фундамента (max 61,9 мм)

Примечание – составлено автором

Относительная разность осадок. Разность осадок  $(S1 - S2) / L = (61,9 - 44,0) / 30900 = 0,0005 < 0,005$ .

В результате проведенных расчетов конструктивное решение вертикально армированного основания плитного фундамента многоэтажного здания включает следующие параметры: расстояние между армирующими элементами составляет 2x2 м, длина элементов – 6,0 м, диаметр – 300 мм, материал – бетон класса В12,5. При этом максимальная расчетная осадка плитного фундамента составляет  $S=3,99$ . Согласно нормативным требованиям, предельная осадка для многоэтажных зданий с железобетонным каркасом составляет 15 см. Для фундаментов в виде сплошных плит допустимо увеличение предельного значения средней осадки в 1,5 раза, что дает  $[S] = 6,19 \times 1,5 = 9,28$  см. Так как максимальная расчетная осадка плитного фундамента  $S = 3,99$  см меньше предельно допустимого значения средней осадки  $[S] = 9,28$  см, расчеты по деформациям основания плитного фундамента считаются выполненными успешно.

Повышение несущей способности основания также связано с процессом бурения скважины с использованием специального бурового наконечника с раскаткой. Этот метод основан на уплотнении стенок скважины во время бурения. Важно учитывать, что плотность грунта вокруг стенок скважины увеличивается в 2 раза, что значительно повышает сопротивление ствола сваи за счет бокового трения. При этом также необходимо исключить возможность возникновения технологического зазора при погружении сваи.

*Заключение.* Проведенные экспериментальные и теоретические исследования подтвердили эффективность использования армированных оснований на сильно сжимаемых

грунтах, позволяя формировать жесткие армирующие элементы с заданными геометрическими, физико-механическими и деформационными характеристиками.

Результаты расчетов показали, что конструктивные параметры вертикально армированного основания плитного фундамента, такие как шаг расположения, диаметр и длина армирующих элементов, следует назначать с учетом инженерно-геологических условий строительной площадки.

Применение вертикально армирующих элементов в реальных объектах позволило повысить несущую способность основания и сократить деформативность вдвое, что значительно уменьшает временные и финансовые затраты, необходимые для создания искусственных оснований.

Использование раскатного оборудования при установке буронабивных вертикальных армирующих элементов является перспективным и надежным методом обеспечения несущей способности и контролируемой деформативности основания. Формирование вокруг армирующего элемента уплотненной зоны, диаметром превышающей его размер, повышает жесткость грунта в межэлементном пространстве, что значительно увеличивает несущую способность основания.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Благодарности.* Это исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по гранту № BR21882292 – «Комплексное развитие устойчивой строительной отрасли: инновационные технологии, оптимизация производства, эффективное использование ресурсов и создание технологического парка».

#### Список литературы

- Usmanov R, Mrdak I, Vatin N, Murgul V. Reinforced soil beds on weak soils. Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Т. 13, №3. – С. 369–385.
- Попов А.О. Расчет конечной осадки глинистых оснований, армированных вертикальными элементами. Magazine of Civil Engineering – 2015. – №3 // Popov A.O. Raschet konechnoj osadki glinistyh osnovanij, armirovannyh vertikal'nymi elementami. Magazine of Civil Engineering – 2015. – № 3.
- Свод правил Республики Казахстан. СП РК EN 1997-2:2007/2011. Геотехническое проектирование. Часть 2. Исследования и испытания грунта. – 2015. – №3 // Svod pravil Respubliki Kazahstan. SP RK EN 1997-2:2007/2011. Geotekhnicheskoe proektirovanie. Chast' 2. Issledovaniya i ispytaniya grunta. – 2015. – №3.
- НТП РК 07-01.3-2011 Проектирование и устройство упрочнения основания вертикальными армирующими элементами, Астана, 2015 // NTP RK 07-01.3-2011 Proektirovanie i ustrojstvo uprochneniya osnovaniya vertikal'nymi armiruyushchimi elementami, Astana, 2015.
- Simões J.T., Luis C. Neves, Armando N. Antão, Nuno M.C. Guerra. Reliability assessment of shallow foundations on undrained soils considering soil spatial variability. Computers and Geotechnics Volume 119, March 2020, 103369.
- Маковецкий О. Расчет и конструирование искусственного основания «Структурный геотехнический массив» 05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук // Makoveckij O. Raschet i konstruirovaniye iskusstvennogo osnovaniya «Strukturnyj geotekhnicheskij massiv» 05.23.02 – Osnovaniya i fundamenty, podzemnye sooruzheniya. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk.
- Попов А.О. Расчет конечной осадки глинистых оснований, армированных вертикальными элементами. Канд. техн. наук, заведующий кафедрой Magazine of Civil Engineering, No.4, 2015 // Popov A.O. Raschet konechnoj osadki glinistyh osnovanij, armirovannyh vertikal'nymi elementami. Kand. tekhn. nauk, zaveduyushchij kafedroj Magazine of Civil Engineering, No.4, 2015.
- Semet.C. (2023) Comparison Mohr-Coulomb and Hardening soil models numerical estimation of ground surface settlement caused by tunneling. Computers and Geotechnics 6 (1988) 277-290 A new model for geosynthetic reinforced soil Madhira R. Madhav Professor of Civil Engineering Indian Institute of Technology Kanpur – 208 016, India Hormoz B. Poorooshab Professor of Civil Engineering Concordia University 1455 de Maisonneuve Blvd. West Montreal, Que. H3G 1M8 Canada.
- Lina J., Yehya T., Fadi H.C., Yasser E. (2018) Effect of soil – Structure interaction constitutive models on dynamic response of multi-storey buildings.

- Amjad H.B., Shahnawaz Z., Ghulam S.B., Muhammad A.Z., Riaz B., Bashir A.M., Muhammad M.B. (2019). Mohr-Coulomb and hardening soil model comparison of the settlement of an embankment dam.
- Голубев А.И., Селецкий А.В. Выбор модели грунта и ее параметров в расчетах геотехнических объектов. Журнал «Труды международной конференции по геотехнике». Геотехнические проблемы мегаполисов. Москва, 7-10 июня 2010 г. (Geomos 2010). – С. 1727-1732 // Golubev A.I., Seleckij A.V. Vybora modeli grunta i eyo parametrov v raschyotah geotekhnicheskikh ob'ektov. Zhurnal «Trudy mezhdunarodnoj konferencii po geotekhnike». Geotekhnicheskie problemy megapolisov. Moskva, 7-10 iyunya 2010 g. (Geomos 2010). – S. 1727-1732.
- Пonomarev A.B., Сычкина Е.Н. Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния регулируемого фундамента и грунтового основания в программном комплексе ansys workbench // Ponomarev A.B., Sychkina E.N. Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politekhnicheskij universitet, Perm', Rossiya. Rezul'taty modelirovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya reguliruемого fundamenta i gruntovogo osnovaniya v programmnom komplekse ansys workbench.
- Тер-Мартirosян З.Г. Усиление слабых грунтов в основании фундаментных плит с использованием технологии струйной цементации грунта / Тер-Мартirosян З.Г., Струнин П.В. // Вестник МГСУ: сб. науч. тр. – М.: МГСУ, 2010. – Вып. 4. – С. 310-315 // Ter-Martirosyan Z.G. Usilenie slabых gruntov v osnovanii fundamentnyh плит s ispol'zovaniem tekhnologii strujnoj cementacii grunta / Ter-Martirosyan Z.G., Strunin P.V. // Vestnik MGSU: sb. nauch. tr. – М.: MGSU, 2010. – Вып.4. – С. 310-315.
- Мирсаяпов И.Т. Исследование прочности и деформируемости просадочных грунтовых оснований, армированных вертикальными элементами / Мирсаяпов И.Т., Мустакимов В.Р. // «Взаимодействие сооружений и оснований: методы расчета и инженерная практика»: труды международной конференции по геотехнике, том 2. – СПб. ПГУПС, 2005. – С 40-45. // Mirsayapov I.T. Issledovanie prochnosti i deformiruемости prosadochnyh gruntovyh osnovanij, armirovannyh vertikal'nymi elementami / Mirsayapov I.T., Mustakimov V.R. // «Vzaimodejstvie sooruzhenij i osnovanij: metody rascheta i inzhenernaya praktika»: trudy mezhdunarodnoj konferencii po geotekhnike, tom 2. – SPb. PGUPS, 2005. – S. 40-45.

#### Information about authors

**Bessimbayev Yerik Turashevich** – Doctor of Technical Sciences, Kazakh National Research Technical University named after Satpayeva, Almaty, Kazakhstan, E-mail: y.bessimbayev@satbayev.university, ORCID: 0000-0002-0869-3513.

**Shadkam Assylbek Safaraliuly** – Master of Technical Sciences, Kazakh National Research Technical University named after Satpayeva, Almaty, Kazakhstan, E-mail: asylbekshadkam@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5759-0337, +7 707 529 23 62.

**Kuldeev Erzhan Itemenovich** – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Kazakh National Research Technical University named after Satpayeva, Almaty, Kazakhstan, E-mail: e.kuldeyev@satbayev.university, ORCID: 0000-0001-8216-679X.

**Zhumadilova Zhanar Orazbekovna** – PhD, Kazakh National Research Technical University named after Satpayeva, Almaty, Kazakhstan, E-mail: z.zhumadilova@satbayev.university, ORCID: 0000-0001-9487-2018.

**Begaliev Ulugbek Turdalievich** – Doctor of Technical Sciences, International University of Information Technology, Bishkek, Kyrgyzstan, E-mail: utbegaliev@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5596-5737.

---

---