

## АННОТАЦИЯ

Диссертационная работа Аленова Каната Табыновича на тему: «Исследование напряжённо-деформированного состояния строительных конструкций при взаимодействии с деформируемой средой, упрочнённой армирующими элементами», представленная на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07365 – «Строительство».

**Актуальность темы диссертационного исследования.** Современное градостроительство характеризуется активным строительством многоэтажных зданий. В ряде случаев, особенно при дефиците свободных земельных участков в городах, здания возводятся на территориях, ранее считавшихся непригодными для строительства. Это, в свою очередь, требует правильного выбора инженерных решений для обеспечения качественного геотехнического проектирования фундаментов зданий.

Национальные строительные нормы многих стран рекомендуют рассматривать подобные вопросы на основе технико-экономического сопоставления традиционных и новых методов проектирования.

В условиях подобной застройки устойчивость и надежность многоэтажных зданий во многом зависит от правильного выбора расчётной модели, определяющей напряжённо-деформированное состояние строительных конструкций, фундаментов и основания грунта.

В настоящее время проектирование фундаментов на естественном основании в ряде стран, включая Казахстан, осуществляется в соответствии со стандартом EN 1997. Данный стандарт предусматривает использование в качестве расчётной модели модели грунта, описывающей поведение основания в рассматриваемом предельном состоянии.

Расчетно-экспериментальные исследования геотехнических сооружений, как правило, проводятся на основе двух наиболее распространённых моделей: упруго-пластической модели Кулона–Мора и модели упрочняющегося шоунья Hardening Soil, применяемой для армированных грунтов.

Строительные нормы проектирования, адаптированные к требованиям Еврокодов, предлагают решать проблему возведения зданий на просадочных грунтах путем армирования геотехнического массива вертикальными элементами. Данный метод позволяет улучшить механические свойства грунта, повысить его прочность и эффективно перераспределить нагрузки, передающиеся на фундамент. В таких условиях грунтовое основание следует рассматривать как искусственный геотехнический массив с улучшенными характеристиками, сформированными за счёт присутствия армирующих элементов.

В методах армирования природных грунтов в основаниях зданий и сооружений применяются вертикальные армирующие элементы из цементогрунта, щебня, песка, извести и других материалов. Эти элементы улучшают механические, фильтрационные и анизотропные свойства

геотехнического массива, повышают его несущую способность, а также ускоряют процесс консолидации основания при его уплотнении.

Такой укрепленный геотехнический массив способен воспринимать неравномерные деформации фундамента без повреждений и обеспечивает возможность строительства и реконструкции зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях.

Анализ проведенных исследований показывает, что одним из значимых преимуществ улучшения физико-механических свойств грунта посредством армирования геотехнического массива является возможность формирования необходимого основания из имеющегося (местного) грунта. Технология армирования геотехнического массива способствует снижению стоимости строительства и сокращению сроков возведения объектов, а также обеспечивает более эффективное использование геотехнических условий строительных площадок. Это упрощает работы по уплотнению геотехнического массива или его замене, повышает безопасность зданий и сокращает сроки строительства.

В настоящее время при помощи специализированного комплексного программного обеспечения, такого как MIDAS GTX и Plaxis 3D, возможно моделирование армирования грунтов с учетом нелинейных свойств в решении геотехнических задач. Такой подход позволяет более точно воспроизвести сложную природу поведения грунта и его реакцию на различные типы нагрузок, что, в свою очередь, повышает точность и надежность проектных решений.

**Степень разработанности темы.** Исследования, учитывающие совместную работу строительных конструкций и грунтового основания, берут начало с упрощенной модели упругого основания Винклера. В дальнейшем на её основе были разработаны другие методы расчёта, представленные в трудах Н.П. Пастернака, В.З. Власова, Н.Н. Леонтьева. Методика использования коэффициента жёсткости упругого основания для расчета деформированных конструкций изложена в работах Б.Т. Коренева.

Эффективность применения теории упругости для расчётов конструкций на упругом основании с использованием соответствующих соотношений теории упругости рассмотрена в трудах Н.А. Цитовича, В.А. Флорина, Б.Н. Жемочкина, А.П. Синцина, И.А. Симвулиди, М.М. Горбунова-Посадова, Т.К. Клейна и других исследователей.

Значительный вклад в изучение лёгких глинистых грунтов как основания под здания и сооружения внесли зарубежные учёные К. Терцаги, А. Скемптон, А. Бишоп, Л. Шукле, Б.И. Далматов, М.Ю. Абелев, А.А. Бартоломей, П.А. Коновалов, Ю.К. Зарецкий, З.Г. Тер-Мартirosян и другие.

Среди казахстанских исследователей, внёсших весомый вклад в развитие геотехнического проектирования и строительства, следует отметить научные труды Ж.С. Ержанова, Ш.М. Айталиева, Б.Б. Тельтаева, Е.А. Исаханова, А.Ж. Жусупбекова, Е.Т. Бесимбаева, В.А. Хомякова и других ученых.

В 1994 году В.К. Федорович и С.Г. Безволев предложили методику расчёта напряжённо-деформированного состояния свайной зоны и других вертикально армированных грунтовых насыпей. Технология укрепления геомассива армирующими элементами была обоснована в трудах О.А. Маковецкого и И.Т. Мирсаяпова.

Современные вычислительные комплексы, опираясь на методы расчёта конструкций на упругом основании, позволяют учитывать совместную работу фундамента и элементов здания, точно моделировать строительные конструкции и обеспечивать их эффективную эксплуатацию.

Тем не менее, наблюдается недостаточность инженерных методов для оценки и верификации проектных решений с учётом заданных физико-механических свойств геотехнического массива, искусственно улучшенного армирующими элементами. Эта проблема указывает на необходимость дополнительных исследований и разработки методик для точной оценки надёжности и безопасности конструкций при армировании или ином способе усиления основания.

**Объект исследования.** Плитный фундамент многоэтажного жилого здания, грунтовое основание (геотехнический массив). Совместная работа системы «здание – фундамент – основание», усиленного вертикальными армирующими элементами. Переменный коэффициент жёсткости грунта. Расчётные геомеханические модели в программном комплексе PLAXIS.

**Цель диссертационной работы** заключается в исследовании напряжённо-деформированного состояния строительных конструкций при их взаимодействии с деформируемой средой — геотехническим массивом, усиленным вертикальными армирующими элементами с заданными физико-механическими характеристиками, а также в повышении устойчивости и надёжности строительных конструкций.

**Основные задачи исследования.**

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

1. Разработка обоснования взаимодействия строительных конструкций с грунтовым основанием и армирования геотехнического массива арматурными элементами на раскатных скважинах.
2. Обоснование применения метода конечных элементов и упруго-пластической, упрочнённой модели Hardening Soil для определения напряжённо-деформированного состояния плитных фундаментов, установленных на геотехническом массиве, усиленном вертикальными армирующими элементами.
3. Моделирование взаимодействия системы «здание – фундамент – основание» на упрочнённом основании с использованием программного комплекса PLAXIS, а также изучение зависимости характера этого взаимодействия от переменного коэффициента жёсткости грунта методом конечных элементов.

4. Расчёт напряжённо-деформированного состояния и осадки плитных фундаментов на просадочных грунтах с применением армирования геотехнического массива вертикальными элементами.

5. Определение зависимости коэффициента жесткости геотехнического массива от количества и длины вертикальных арматурных элементов, установленных в раскатных скважинах, а также оценка их эффективности на основе численного моделирования.

### **Научная новизна работы:**

1. Систематизировано и разработано научно-техническое обоснование эффективного взаимодействия строительных конструкций в геотехническом массиве, усиленном вертикальными арматурными элементами, способствующими повышению надежности зданий и сооружений. Это открытие предлагает новые инженерные решения для взаимодействия строительных конструкций и грунтового фундамента, а также для повышения их устойчивости и надежности.
2. Обоснованы геотехнические решения устройства плитных фундаментов, на осадочных грунтах, усиленными вертикальными армирующими элементами, на раскатных скважинах. Эти решения позволяют улучшить механические свойства грунта и обеспечивают устойчивость напряжённо-деформированного состояния фундаментов.
3. Обоснованы условия применения модели Hardening Soil для прогнозирования напряжённо-деформированного состояния плитных фундаментов в геотехническом массиве, усиленном вертикальными армирующими элементами. Применение данной модели позволяет точно рассчитать механические свойства геотехнического массива.
4. На основе численных экспериментов подтверждена зависимость эквивалентного модуля деформации грунта от процента армирования геотехнического массива армирующими элементами. Этот результат позволяет принимать эффективные решения при повышении прочности грунта и проектировании конструкций фундамента.
5. Проведены численные эксперименты, доказавшие зависимость коэффициента жёсткости геотехнического массива от количества, длины и расстояния между вертикальными армирующими элементами. Эти зависимости предоставляют важную информацию для оптимизации строительных проектов.
6. Определены условия применения армирования геотехнического массива вертикальными элементами для предотвращения осадки фундаментов на слабых просадочных грунтах, а также практическая значимость, направленная на снижение стоимости строительства и сокращение сроков возведения. подтверждённая решениями конкретных строительных объектов. Эти решения принимаются в зависимости от условий конкретного строительного объекта.

7. Через численное моделирование доказана возможность управления пригодностью геотехнического массива к эксплуатации конкретного строительного объекта путём усиления вертикальными армирующими элементами. Этот метод позволяет управлять процессом уплотнения основания во время строительства.

**Практическая значимость работы** заключается в эффективной модели проектирования плитных фундаментов, расположенных на слабых просадочных грунтах, а также в возможности управления процессом осадки плитного фундамента за счёт армирования геотехнического массива вертикальными армирующими элементами. Технология армирования геотехнического массива вертикальными раскатными элементами способствует снижению стоимости строительства и сокращению сроков возведения, а также позволяет эффективно использовать геотехнические условия строительных площадок. Это облегчает работы по уплотнению или замене грунта, повышает безопасность зданий и сокращает сроки строительства.

**Выносимые на защиту выводы:**

1. Анализ и Научно-техническое обоснование взаимодействия строительных конструкций и геотехнического массива, армированных вертикальными арматурными элементами.

2. Методика расчёта и проектирования напряжённо-деформированного состояния плитных фундаментов, расположенных на слабом просадочном геотехническом массиве, усиленным вертикальными армирующими элементами.

3. Результаты расчётов и условия применения модели Hardening Soil для прогнозирования напряжённо-деформированного состояния плитного фундамента.

4. Результаты численных экспериментов зависимости эквивалентного модуля деформации геотехнического массива от армирования вертикальными элементами.

5. Проектные решения по предотвращению развития процессов осадки плитных фундаментов через усиление геотехнического массива вертикальными армирующими элементами на конкретном объекте.

6. Проектные результаты, подтверждающие эффективность технологии установки вертикальных армирующих элементов при усилении геотехнического массива.

**Достоверность результатов работы** подтверждается применением гипотез, принятых в механике деформируемого твёрдого тела, а также соответствием решений численных расчётов, выполненных методом конечных элементов в современном программном комплексе Plaxis.

**Личный вклад автора** заключается в постановке цели и задач диссертации, сборе и обобщении исследовательского материала, проведении численных и экспериментальных исследований, интерпретации полученных

результатов, формулировании основных положений и выводов, а также написании научных статей по теме диссертации.

**Публикации по результатам исследования.** В ходе научно-исследовательской работы опубликовано 14 научных статей в отечественных и зарубежных научных изданиях, а также на международных научно-теоретических и практических конференциях. В их числе: 2 статьи в журналах, входящих в научно-метрические базы данных Web of Science и Scopus; 5 статей в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в области образования и науки МОН РК; 1 статья, переданная в печать и имеющая соответствующую справку; 1 статья в сборнике зарубежной научной конференции; 2 статьи на международных научно-теоретических и научно-практических конференциях; а также 4 статьи в других научных журналах.

**Публичность работы.** Количество и объем публикаций по теме исследования соответствуют требованиям «Правил присвоения учёных степеней». Результаты, положения и выводы диссертации отражены и опубликованы в 14 научных статьях, из которых: - 5 статей (и 1 статья с подтверждённой справкой о публикации) опубликованы в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в области образования и науки Республики Казахстан.

#### **Публикации в международных рецензируемых научных журналах, входящие в БД Scopus/Web of Science**

1. Modelling and efficiency assessment of vertically reinforced slab foundation of multi-storey building. (статья) NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION A Scientific Internet-Journal 2025 • Tom 17 • No. 2. P 151 – 172. Percentile 49% ISSN 2075-8545. Bessimbayev Y. T., Bissenov K.A., Shadkam A.S., Niyetbay S.E., Moldamuratov Zh.N.

[https://nanobuild.ru/en\\_EN/journal/download-number/2-2025.pdf](https://nanobuild.ru/en_EN/journal/download-number/2-2025.pdf)

2. An aggregated method for determining railway defects and obstacle parameters (материалы конференции). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. T317, B1. 2018 DOI 10.1088/1757-899X/317/1/012021 Scopus General Engineering – 25% процентиль Loktev D., Loktev A., Stepanov R., Pevzner V. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/317/1/012021/meta>

#### **Статьи в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МН и ВО РК**

3. Применение одного математического метода при решении краевых задач собственных колебаний прямоугольной вязкоупругой пластинки, находящейся под поверхностью деформируемой среды (статья). Вестник Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилёва. - 2015. - №6 (109). - Астана: ЕНУ. 22-28 б. ISSN 1028-9364. Джанмулдаев Б.

4. Предельные случаи приближенного уравнения поперечного колебания плоской пластинки с учетом влияния температуры(статья). Вестник Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилёва.. - 2017. - №2 (117). - Астана: ЕҰУ. 43-46 б. ISSN 1028-9364. Джанмулдаев Б.

5. General formulation of flat element oscillation below the deformable medium surface by reference to temperature(статья). Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Technical science and technology series. №4(125)/2018. С 8-16. IRSTI 624.044:69.058.2. Dzhhanmuldayev B.D

6. Approval accountability revenue of the disabled control contracts developed under the defined central building construction(статья). Вестник Казахской головной архитектурно-строительной академии 2019. №3 (73). - С 145-152. Dzhhanmuldayev B.D

7. Design Of A Slab Foundation With Vertically Reinforcing Elements.(статья) QazBSQA Хабаршысы. N1 (95), С 127- 143 2025. Строительство. ISSN1680-080X(print) Bessimbayev E.T., Shadkam A.S., Niyetbay S.E.

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2025.1-08>

#### **Статьи, опубликованные в других научных журналах и изданиях**

8. Dynamic calculation of constructions taking into account of vertical movements of support.(статья) Вестник Университета имени Коркыт Ата г. Кызылорда. Республиканский научно-методический журнал. № 1 (52) 2019. ISSN 1607-2782. Zhanmuldayev B.D., Loktev A.A.

<https://rmebrk.kz/journals/5513/55780.pdf>

9. Поперечные колебания секции плиты в основании безбалластного пути. (статья) МИР ТРАНСПОРТА, том 17, № 2, С.72–78(2019). Джанмулдаев Б. Локтев А., Фазилова З.Т. <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1604>

10. Построение линейной теории динамического поведения строительных конструкций в виде пластин, находящихся под поверхностью деформируемой среды. (статья). НАУКА И МИР Международный научный журнал, № 5 (21), 2015, Том 1–С 46–53. ISSN 2308-4804. Джанмулдаев Б. [https://scienceph.ru/f/scienceandworldno5%2821%29mayvol.i\\_0.pdf](https://scienceph.ru/f/scienceandworldno5%2821%29mayvol.i_0.pdf)

11. Деформацияланатын ортадағы изотропты пластинаның сызықты емес жағдайдағы тербелісі. (статья). Международный научный журнал Молодой учёный № 5.2 (109.2) / 2016. Джанмулдаев Б.

<https://moluch.ru/archive/109/26715/>

[file:///C:/Users/User/Downloads/moluch\\_109.2.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/moluch_109.2.pdf)

#### **Международные научно-практические конференции**

12. Оценка эффективности укрепления геомассива вертикальными армирующими элементами в набивных сваях. (статья). (Чтения Сатпаева — 2025). Искусственный интеллект в инженерных и производственных системах: материалы международной научно-практической конференции по

оптимизации процессов и решениям автоматизации 12 апрел 2025 ж. II Том. 361-368б. ISBN 978-601-323-574-5 ISBN 978-601-323-576-9.

Мауленов Ф. Бесімбаев Е. Шадқам А. Қаипова А.

13. Постановка общей задачи колебания плоского элемента, находящегося под поверхностью деформируемой среды, с учетом температуры. (статья). Международный научный журнал Молодой учёный № 20.1 (79.1) 2014. III Международная научная конференция «Современная наука и инновации» Университет «Болашак», г. Кызылорда, Казахстан, декабрь, 2014 г. 1-3 б. Джанмулдаев Б. <https://moluch.ru/archive/79/14079>

14. Dynamic interaction of flat isotropic elements with the deformable environment taking into account the temperature. analysis of the approximate equation of vertical oscillations of the plate under the layer.. (статья). XVI Международная научная практическая конференция «Ключови въпроси в съвременната наука -2020» 15-22 апрель 2020 г. София, «Бял ГРАД-БГ ОДД» 2020. Volume 6 .<https://pps.kaznu.kz/kz/Main/FileShow2/165690/105/3/18186/0/>

### **Основные научные и практические результаты диссертационной работы:**

1. Систематизировано и разработано научно-техническое обоснование эффективного взаимодействия строительных конструкций с геотехническим массивом, усиленным армирующими элементами. В результате научных исследований сформулированы положения об устойчивости упругого основания, деформационных перемещениях грунта и зависимости устойчивости массива от переменности коэффициента жёсткости грунта.
2. Проведён анализ простых моделей геотехнической грунтовой среды, обоснована направленность применения их математических моделей в зависимости от структурного состояния грунта. На основе сравнительной характеристики грунтовых моделей установлены возможности определения осадки, внутренних сдвиговых деформаций и напряжённого состояния геотехнического массива. Обоснованы преимущества применения модели Hardening Soil — модели упрочняющегося грунта.
3. Теоретически обоснованы закономерности деформационного поведения геотехнического массива, усиленного вертикальными армирующими элементами, в зависимости от физико-механических свойств грунта и армирующих элементов, их количества и размеров, а также бокового давления между ними. Разработано теоретическое обоснование рассмотрения напряжённо-деформированного состояния геотехнического массива, усиленного армирующими элементами, как модели трансверсально-изотропного слоя.
4. В результате исследований обоснована функция армированного массива между вертикально установленным армирующим элементом и плитным фундаментом как пространственной осесимметричной задачи,

способствующей эффективному перераспределению нагрузок от здания на армирующие элементы. Установлено, что высота подстилающего слоя в пределах 50–60 см является достаточной для распределения нагрузки от здания на армирующие элементы в виде конусообразной схемы.

5. При проектировании деформационного поведения геотехнического массива, армированного арматурными элементами, используется эффективный модуль деформации  $E_{эф}$  из зоны преобразованного грунта. Этот эффективный модуль деформации  $E_{эф}$  является основным параметром, определяющим количество арматурных элементов и их расположение.
6. С использованием модели грунта Hardening Soil была установлена зависимость между объемом армирования грунта (%) и коэффициентом жесткости укрепленного массива. При увеличении объема армирования наблюдается рост коэффициента жесткости массива.
7. При численном моделировании взаимодействия вертикальных арматурных элементов с грунтом было доказано преимущество установки арматурного элемента в раскатных скважинах. В процессе раскатки скважины происходит дополнительное уплотнение грунта у стенок скважины, вследствие чего увеличивается сила трения между арматурным элементом и грунтом, что повышает несущую способность укрепленного массива.
8. В ходе моделирования осадки многоэтажного жилого здания и оценки напряжённо-деформационного состояния плитного фундамента была обоснована целесообразность применения модели твердеющего грунта Hardening Soil для определения напряжённо-деформационного состояния плитного фундамента и армирующих элементов. Было выявлено, что по сравнению с широко применяемой моделью Кулона-Мора расчетные показатели модели Hardening Soil ниже примерно на 20 %, что свидетельствует о её повышенной точности и адекватности.
9. Рассмотрены технические возможности установки армирующих элементов раскатных скважинах, а также сделаны выводы о её эффективности с точки зрения укрепления геотехнического массива, технико-экономической целесообразности и технологической оптимальности. Преимущества данного метода по сравнению с традиционными технологиями обоснованы на современном уровне техники и технологий, что позволяет существенно сократить сроки выполнения работ по усилению оснований и снизить затраты на земляные работы.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав и заключения и занимает 149 страниц. Работа

иллюстрирована 111 рисунками, содержит 13 таблиц и список литературы из 119 наименований.

**Заключение диссертации.** Диссертационная работа охватывает важное научное исследование, основанное на новых теоретических и экспериментальных результатах, а также на проектных решениях конкретного объекта. Работа посвящена изучению напряжённо-деформированного состояния строительных конструкций и их взаимодействия с деформируемым геотехническим массивом, усиленным вертикальными армирующими элементами, а также направлена на повышение устойчивости и надёжности строительных конструкций.