



СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС  
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО  
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС  
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО  
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212\_2024\_3\_271  
MPHTI 67.11.29

**Р.Е. Лукпанов<sup>1</sup>, Д.В. Цыгулев<sup>2</sup>, Д.С. Дюсембинов<sup>3</sup>, А.Д. Алтынбекова<sup>4</sup>, С.Б. Енкебаев<sup>5</sup>**

ТОО «Solid Research Group», г. Астана, Казахстан

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

<sup>1</sup>E-mail: rauan\_82@mail.ru

<sup>2</sup>E-mail: denis\_riza\_72@mail.ru

<sup>3</sup>E-mail: dusembinov@mail.ru

<sup>4</sup>E-mail: kleo-14@mail.ru\*

<sup>5</sup>E-mail: Yenkebayev-serik@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СВАЙ ПЕРЕМЕННОГО ПРОФИЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ PLAXIS 2D

### PLAXIS 2D БАҒДАРЛАМАЛЫҚ КЕШЕНІНДЕ САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУДІ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ АЙНЫМАЛЫ ПРОФИЛЬДІ ҚАДА ӨНІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

#### STUDY OF VARIABLE PROFILE PILE PERFORMANCE USING NUMERICAL MODELING IN PLAXIS 2D SOFTWARE PACKAGE

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования работы нового типа свай переменного профиля с поворотными секциями. Исследования выполнены в плоской постановке задачи с использованием программного комплекса Plaxis 2D. Численное моделирование было выполнено в условиях однородной среды. Оценка работы свай выполнена по заданным перемещениям и заданным напряжениям. Целью исследования была оценка работы предлагаемого типа свай с традиционной призматической забивной сваей. Согласно результатам испытаний по заданным перемещениям было получено распределение бокового напряжения по стволу сваи, которое имело определенную закономерность: уменьшение напряжения под нижним концом сваи при увеличении количества сегментов, то есть чем больше сегментов, а, следовательно, зон уширений, тем больше околосвайный грунтовый массив включается в работу. Сравнив результаты испытаний было определено, что сваи типа 3 со средним количеством поворотных секций имеют наименьшую осадку. Наибольшая осадка грунта у сваи типа 2 (относительно свай с поворотными секциями) может быть объяснена слишком малой толщиной грунта на участках уширений (как следствие меньших лобовых сопротивлений грунта под уширениями), связанной со слишком малыми размерами секций. Исходя из результатов исследования, было получено технологическое решение оптимального типоразмера сваи, которому соответствует наилучшая ее работа в грунтовых условиях. Таким образом, если оценивать работу сваи в целом, то наилучшим вариантом с точки зрения наименьшей осадки являются сваи типа 3 с длиной поворотных секций 0,5 м.

**Ключевые слова:** фундамент глубокого заложения, забивная свая, свая переменного профиля с поворотными секциями, численное моделирование, околосвайный грунт, напряжение грунта.

**Аңдатпа.** Мақалада айнымалы секциялары бар жаңа түрдегі ауыспалы профильді қадалардың жұмысын зерттеу нәтижелері берілген. Зерттеулер Plaxis 2D бағдарламалық пакетін пайдаланып

есептің біркелкі тұжырымдауында жүргізілді. Сандық модельдеу біртекті ортада орындалды. Қадалардың жұмысының бағалануы берілген кернеулер және орын ауыстырулар бойынша орындалды. Зерттеудің мақсаты дәстүрлі призматикалық қадалары бар қаданың ұсынылған түрінің жұмысының бағалануы болды. Берілген қозғалыстарды сынау нәтижелеріне сәйкес, қаданың бөшкесі бойынша бүйірлік кернеудің таралуы алынды, оның белгілі бір заңдылығы бар: сегменттер санының ұлғаюымен қаданың төменгі ұшының астындағы кернеудің төмендеуі, яғни, неғұрлым көп сегменттер және, тиісінше, аймақтарды кеңейту, соғұрлым қадаға жақын топырақ массиві жұмысқа қосылады. Берілген кернеулер бойынша сынақ нәтижелерін салыстыра отырып, айнымалы секциялардың орташа саны бар 3 типті қадалардың ең аз шөгуді бар екені анықталды. 2 типті қадалар үшін топырақтың ең жоғары шөгуді (айнымалы секциялары бар қадаларға қатысты) тым кішігірім кесінді өлшемдерімен байланысты, кеңейтілетін аумақтардағы топырақтың тым аз қалыңдығымен (кеңейтулер астындағы топырақтың төмен тартылуының нәтижесінде) түсіндірілуі мүмкін. Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, топырақ жағдайында оның ең жақсы көрсеткіштеріне сәйкес келетін қаданың оңтайлы стандартты өлшемі үшін технологиялық шешім алынды. Осылайша, егер қада жұмысын тұтастай бағалайтын болсақ, онда ең аз шөгуді тұрғысынан, ең жақсы нұсқа-3 типті қадалар, айнымалы бөлімдердің ұзындығы 0,5 м болып табылады.

**Түйін сөздер:** Терең іргетас, жетекті қада, айнымалы секциялары бар ауыспалы профильді қада, сандық модельдеу, қада маңындағы топырақ, топырақ кернеуі.

**Abstract.** The paper presents the results of the study of the performance of a new type of variable profile piles with rotating sections. The studies were performed in a plane problem formulation using the Plaxis 2D software package. Numerical modeling was performed in conditions of homogeneous medium. The performance of the piles was evaluated using given displacements and given stresses. The aim of the study was to evaluate the performance of the proposed pile type with the conventional prismatic driven pile. According to the results of the predetermined displacement tests, the lateral stress distribution along the pile shaft was obtained, which had a definite pattern: the stress under the lower end of the pile decreased as the number of segments increased, i.e. the more segments, and hence the more extensions, the more the per-pile soil mass was included in the work. By comparing the test results for the given stresses, it was determined that Type 3 piles with an average number of pivoting sections have the lowest settlement. The highest settlement of Type 2 piles (relative to piles with pivoting sections) can be explained by the too small soil thickness at the extensions (as a consequence of the lower frontal resistance of the soil under the extensions) due to the too small size of the sections. Based on the results of the study, a technological solution of the optimal pile size was obtained, which corresponds to the best performance in soil conditions. Thus, if we evaluate the performance of the pile as a whole, the best option in terms of the lowest settlement is Type 3 piles, with a length of 0.5 m pivoting sections.

**Keywords:** Deep foundation, driven pile, variable profile pile with rotating sections, numerical modeling, near-pile soil, soil stress.

*Введение.* Современное строительство предъявляет инженерам и проектировщикам высокие стандарты и требования к процессу строительства и проектирования. В ответ на эти вызовы, устоявшиеся традиционные подходы постепенно уступают место новым, более экономически и экологически эффективным технологиям, способствующим энергосбережению и снижению негативного воздействия на окружающую среду (Chimdesa, Jilo, Hulagabali, Babalola, Tiyasha & Bhagat, 2023; Ивлев, 2022). В данном контексте вопрос актуализации технологических и технических решений коснулся и фундаментостроения, в частности технологии устройства фундаментов глубокого заложения (далее свайных фундаментов) (Al-Ne'aimi & Hussein, 2024).

Свайные фундаменты играют фундаментальную роль в строительной индустрии, обеспечивая устойчивость и долговечность зданий и сооружений (Pradel, 2021). С учетом стремительного развития современных строительных требований и инновационных достижений в инженерной сфере постоянное совершенствование свайных конструкций становится неотъемлемой частью процесса строительства (Batilas, Bahmani, Bannister, Roberts & Benson, 2021; Elsaywaf, Azzam & Elghrouby, 2023; Абелев, Абелева, Аверин, Чунюк & Алмазов, 2023). В последние десятилетия исследователи и инженеры по всему

миру активно работают над разработкой и совершенствованием свайных фундаментов, представляющих собой инновационное решение в области фундаментных конструкций (Fasano, Nappa, Özcebe & Bilotta, 2021; Singh & Chatterjee, 2020). Исследования в области свайных фундаментов и их совершенствования представляют собой обширную и многогранную область научных исследований и инженерной практики (Amar, 2021; Salih & Rashid, 2022; Venkatesan, Mayakrishnan & Shukla, 2024).

Свайные фундаменты сегодня находятся в центре внимания на стройплощадках Казахстана и востребованы как один из наиболее предпочтительных типов фундаментов. Это обосновывается не только потребностью в несущей способности для строительства зданий и сооружений, включая высотные конструкции, но и рядом других факторов, которые делают свайные фундаменты незаменимыми в современной строительной практике Казахстана. Последнее стало причиной появления новых технологий и оборудования по устройству свайных фундаментов, которые имеют непосредственные преимущества перед устоявшимися на строительном рынке технологиями (Orozco-Herrera et al., 2022; Zhang, Chen, Yao, Stive & Zeng, 2023; Suzuki & Nagai, 2023). Среди всего разнообразия свайных фундаментов на строительном рынке наиболее востребованными остаются забивные сваи. Преимуществом забивных свай являются: относительно простой процесс производства работ, гарантированная унификация свайного поля, стоимость и сроки инсталляции. К недостаткам можно отнести наличие вибрационных воздействий и шума при инсталляции, а также ограниченную несущую способность. При отсутствии ограничений, причисленных к недостаткам, использование забивных свай становится наиболее предпочтительным с экономической точки зрения (Cheng, Sui, Wang, Deng, Wei, Xu, He & Yang, 2023; Zhang, 2023).

Представленное в статье технологическое решение конструкции забивной сваи относится к вопросу улучшения работы сваи в грунте и увеличению удельной несущей способности сваи. Эффект технологического решения достигается путем модернизации фундамента глубокого заложения, связанной с изменением его геометрии. При этом основополагающим критерием модернизации станет увеличение несущей способности по грунту при одинаковой материалоемкости с классической забивной сваей квадратного сечения, рис. 1.

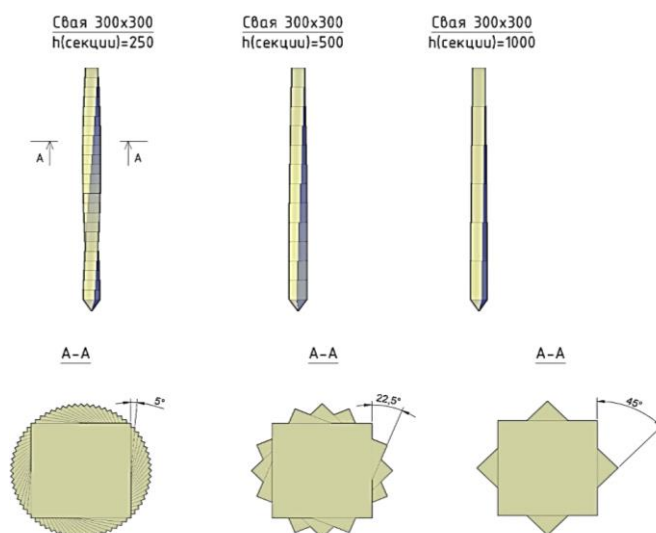


Рисунок 1. Сваи переменного профиля с поворотными секциями

*Примечание – составлено автором*

Технологический эффект по увеличению несущей способности по грунту достигается за счет посекционного смещения сегментов сваи на разный угол поворота относительно оси симметрии сваи. В целом эффект достигается путем изменения характера бокового контакта сваи с грунтом, из-за чего появляются дополнительные участки сопротивления. В результате получим экономический эффект, связанный со снижением затрат нулевого цикла строительства: увеличение несущей способности отдельного фундамента приведет к уменьшению общего их количества. То есть эффективность прямо пропорциональна несущей способности свай и обратно пропорциональна их количеству. Тем не менее, определение оптимального, а значит наиболее приемлемого, технологического решения требует более глубокого изучения, расчета и анализа данных, таких как: оценка увеличения несущей способности сваи от длины поворотных секции или угла поворота секции; оптимизация смещения относительно грунтовых условий; оценка увеличения стоимости изготовления; оценка сопротивления при забивке при разных технологических решениях и прочее. В рамках данной статьи будет рассмотрен один из основных оценочных критериев технологического решения: влияние длины поворотной секции на напряженно-деформированное состояние околосвайного грунтового массива.

Исследование работы свай с использованием метода численного моделирования в программном комплексе Plaxis 2D отражено в значительном количестве научных статей и исследований (Толмачев & Рамазанов, 2023; Tyter, Paraskevopoulou, Shah, Miller & Kavvadas, 2023). Данная методика позволяет более точно оценивать и прогнозировать поведение свай в различных грунтовых условиях, что важно для обеспечения стабильности и надежности фундаментов. Важно отметить, что исследования, проведенные с использованием метода численного моделирования в программном комплексе Plaxis 2D, предоставляют более точные и надежные результаты, что способствует разработке более эффективных и устойчивых фундаментов. Эти исследования оказывают значительное влияние на практику строительства и способствуют развитию инженерной науки в области фундаментов.

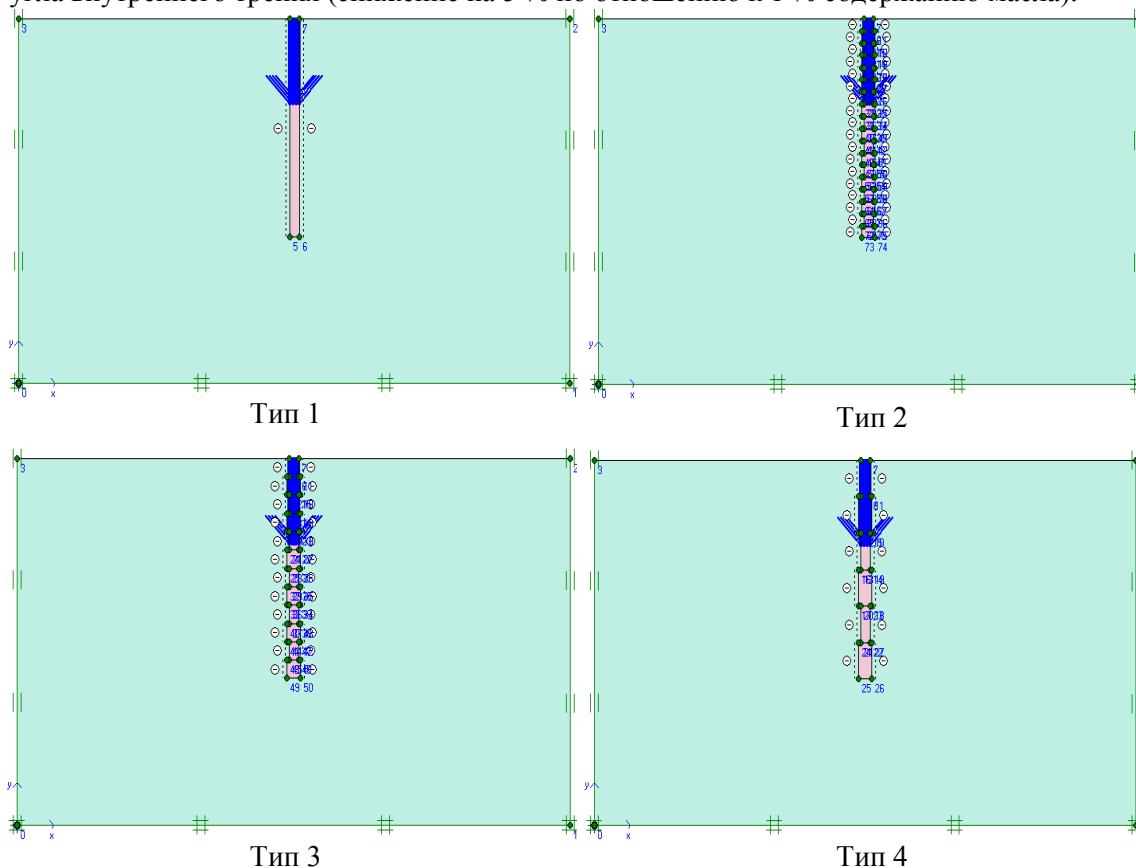
*Материалы и методы исследования.* Для оценки работоспособности предлагаемого типа сваи, а также оценки напряженно-деформированного состояния грунта был использован метод численного моделирования в программном комплексе Plaxis 2D. Моделирование выполнено в двухмерной постановке задачи Plane strain в модели Мора-Кулона для следующих типов свай:

- тип 1 – стандартная призматическая свая квадратного сечения 3х3 см, длиной 60 см;
- тип 2 – свая сечением 3х3 см с длиной поворотных секций 3,33 см (из условия 3 секций на 1 м сваи), поворотом секций 45° относительно друг друга, общей длиной 60 см;
- тип 3 – свая сечением 3х3 см с длиной поворотных секций 3,33 см (из условия 3 секций на 1 м сваи), поворотом секций 45° относительно друг друга, общей длиной 60 см;
- тип 4 – свая сечением 3х3 см с длиной поворотных секций 5,0 см (из условия 3 секций на 1 м сваи), поворотом секций 45° относительно друг друга, общей длиной 60 см.

Оценка работы предлагаемого типа сваи была выполнена в сравнении с традиционной свайей, а также с вариативными по длине поворотных секций типами свай. На рис. 2 показаны расчетные схемы сравниваемых типов свай.

Геометрия, в частности длина сваи 6 м, была определена из условия ранее проведенных модельных испытаний, а точнее пространственного ограничения испытательного стенда. То есть принятые размеры свай позволили использовать стенд без влияния его граничных условий на напряженно-деформированное состояние грунта. Для моделирования эквивалентного грунта был выбран песок мелкой фракции 0,125

содержанием 57,98 % (в среднем) с добавлением масла для увеличения удельного сцепления. Оптимальным решением по содержанию масла в составе грунта стало 4 %. При таком соотношении наблюдался прирост удельного сцепления (увеличение на 72 % по отношению к 1 % содержанию масла) при относительно незначительном снижении угла внутреннего трения (снижение на 5 % по отношению к 1 % содержанию масла).



**Рисунок 2.** Расчетные схемы свай

*Примечание – составлено автором*

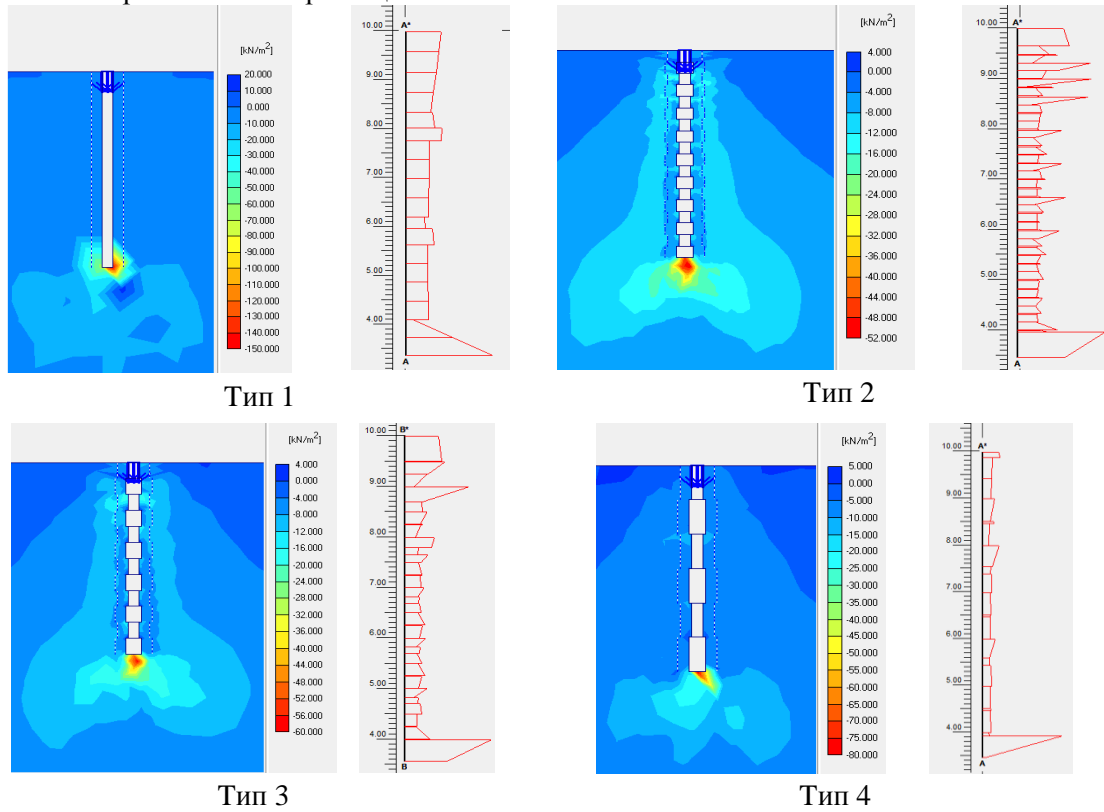
Характеристики эквивалентного грунта, принятые для моделирования: сцепление – 4,33 кН/м<sup>2</sup>; угол внутреннего трения 28°, модуль Юнга – 6400 кН/м<sup>2</sup>; коэффициент Пуассона – 1; плотность в сухом состоянии – 17 кН/м<sup>3</sup>; плотность во влажном состоянии – 19 кН/м<sup>3</sup>; водопроницаемость – 1 м/сутки (в обоих направлениях).

*Результаты и их обсуждение.* Сравнивая характер расположения изолиний на рис. 2 можно заключить, что стабилизация смещений грунта у свай типа 1 происходит менее стабильно по сравнению с другими типами, смещение околоствайного массива распространяется на большие расстояния от источника.

На рис. 3 представлены полные напряжения, возникающие при заданном перемещении свай 40 мм. Для визуализации распределения напряжения по стволу сваи и под ее концом показаны mean shading, а также эпюры напряжений околоствайного грунта.

На рис. 4 показан характер распределения результирующих перемещений, на рис. 5 – полученные значения вертикальных перемещений (осадок) сравниваемых типов свай, численные значения полученных результатов осадок приведены в табл. 1.

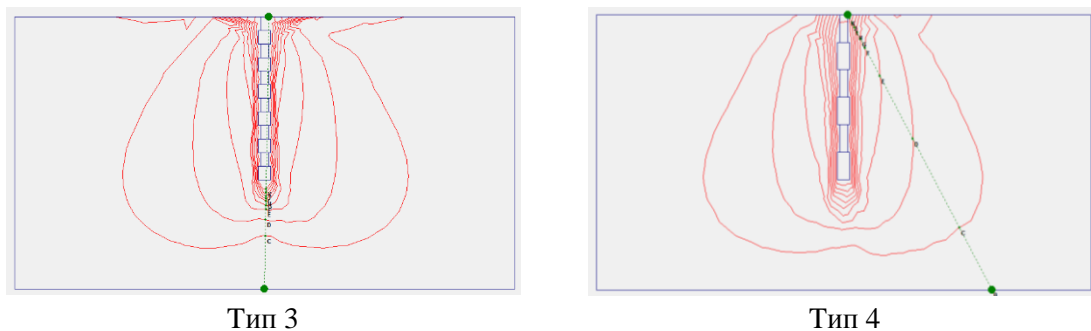
Из графиков вертикальных перемещений (рис. 5, табл. 1) видим, что наибольшее значение осадки у свай типа 1 (47 мм), наименьшие – у свай типа 3 (31 мм). У свай типа 4 и типа 2 вертикальные перемещения составили 36 мм и 42 мм соответственно.



**Рисунок 3.** Распределение total stress

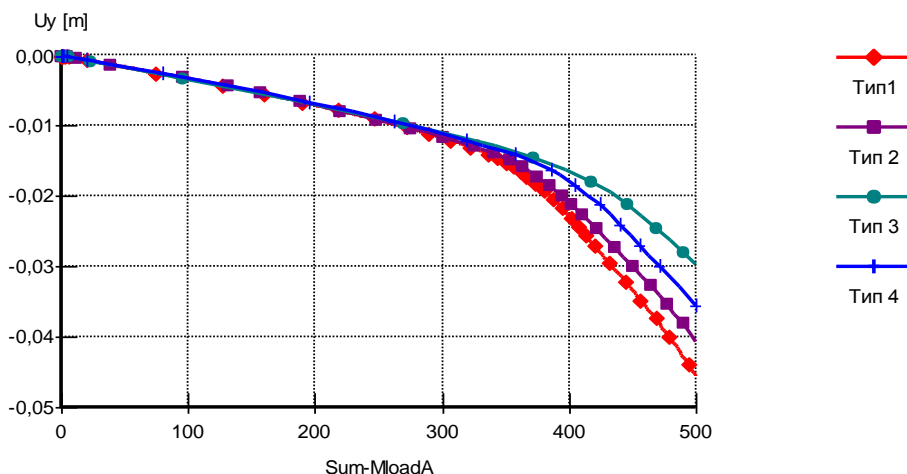
*Примечание – составлено автором*





**Рисунок 4.** Результирующие перемещения сравниваемых типов свай

Примечание – составлено автором



**Рисунок 5.** Вертикальные перемещения свай

Примечание – составлено автором

**Таблица 1.** Полученные данные перемещений свай

Тип сваи	Осадка (вертикальное перемещение) сваи, мм				
	100 кН	200 кН	300 кН	400 кН	500 кН
Тип 1	4	7	12	23	47
Тип 2	4	7	11	21	42
Тип 3	4	7	10	16	31
Тип 4	4	7	11	18	36

Примечание – составлено автором

Полученные диаграммы не позволяют сделать однозначных выводов о влиянии количества секций свай на работу их в грунте. У свай с наибольшим количеством секций наблюдается большая осадка, чем у свай со средним и наименьшим количеством секций. В то же время у свай со средним количеством секций осадка сваи меньше, чем у свай с наименьшим количеством секций. В настоящих инженерно-геологических условиях сваи типа 3 являются оптимальным технологическим решением. Наименьшая осадка грунта у сваи типа 2 (относительно других свай с поворотными секциями) может быть объяснена слишком малой толщиной грунта на участках уширений (меньших лобовых сопротивлений грунта под уширениями), связанной со слишком малыми размерами секций. Также

можно предположить, что при непрерывном нагружении сваи грунт в выступах поворотных секций не успевает восстановиться в связи с малой длиной секций типа 2 относительно свай типа 3 и 4. В любом случае сваи с сегментами показали меньшие значения перемещений по сравнению с классической свайей.

Полученные результаты коррелируют с ранее проведенными экспериментами в испытательном лотке в масштабе 1:25. Согласно ранее проведенным модельным испытаниям, наилучший показатель по несущей способности относительно наименьшего вертикального смещения сваи под нагрузкой показали сваи типа 3, наименьшие – сваи типа 1. В целом, численное моделирование показало идентичное качество изменения напряженно-деформированного состояния свай разного профиля, а различия в количественных данных связано с условиями экспериментов. В последующем будут проведены натурные испытания свай в реальных условиях залегания грунтов природного сложения с последующей корреляцией (и корректировкой) результатов к численному моделированию. Последнее позволит производить быструю оценку работоспособности свай переменного профиля численным моделированием.

*Заключение.* Анализ работы свай с разной длиной поворотных секций выполнен в плоской постановке задачи в программном комплексе Plaxis 2D. Численное моделирование было выполнено в условиях однородной среды. Исследования работы сваи были выполнены по заданным перемещениям и заданным напряжениям.

Согласно результатам испытаний по заданным перемещениям было получено распределение бокового напряжения по стволу сваи, которое имело определенную закономерность: уменьшение напряжения под нижним концом сваи при увеличении количества сегментов, то есть чем больше сегментов, а следовательно и зон уширений, тем больше околосвайный грунтовый массив включается в работу.

Согласно результатам испытаний по заданным напряжениям было определено, что сваи типа 3 со средним количеством поворотных секций имеют наименьшую осадку. Наибольшая осадка грунта у сваи типа 2 (относительно свай с поворотными секциями) может быть объяснена слишком малой толщиной грунта на участках уширений (как следствие меньших лобовых сопротивлений грунта под уширениями), связанной со слишком малыми размерами секций. Таким образом, если оценивать работу сваи в целом, то наилучшим вариантом с точки зрения наименьшей осадки являются сваи типа 3 с длиной поворотных секций 0,5 м.

Проведенные исследования показали эффективность, а главное валидность применения численного моделирования для оценки работоспособности свай переменного профиля в грунтовых условиях. Полученные результаты нагрузки-осадки качественно коррелируют с ранее проведенными модельными исследованиями свай в масштабе. В перспективе будут проведены контрольные натурные испытания свай в реальных грунтовых условиях, что даст возможность практического применения расчетного аппарата численным моделированием свай переменного профиля.

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

*Благодарности.* Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19680068 – «Разработка технологии производства фундамента глубокого заложения повышенной прочности и несущей способности с применением комплексной модифицирующей добавки на основе отходов промышленности»).

#### Список литературы

Chimdesa F.F., Chimdesa F.F., Jilo N.Z., Hulagabali A., Babalola O.E., Tiyasha T., Bhagat, S.K. (2023).



- Numerical analysis of pile group, piled raft, and footing using finite element software PLAXIS 2D and GEO5. *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, 15875, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42783-x>.
- Ивлев И.М. (2022). Разработка оптимального решения фундаментов резервуаров в условиях массового недопогружения свай. *Вестник НИЦ «Строительство»*, № 3, 66-78. // Ivlev I.M. (2022). *Razrabotka optimal'nogo resheniya fundamentov rezervuarov v usloviyah massovogo nedopogruzheniya svaj. Vestnik NIC «Stroitel'stvo»*, № 3, 66-78.
- Al-Ne'aimi R.M.S., Hussein K.Q. (2024). Numerical study of pile raft foundation behavior under vertical loads and large moments. *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 42, no. 1, 97-119, <https://doi.org/10.1007/s10706-023-02558-7>.
- Pradel D. (2021). Numerical Modelling for Slope Stabilizations in Modern Geotechnical Practice. *Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk: Volume 4 Testing, Modeling and Risk Assessment 5th*, vol. 2, no. 1, 65-79, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-60706-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-60706-7_4).
- Batilas A.V., Bahmani B., Bannister D.P., Roberts D.M., Benson A.D. (2021). Design Methodology for Bridge Abutment Pile Group Foundations—A Case Study. *Piling 2020: Proceedings of the Piling 2020 Conference*. – ICE Publishing, vol. 4, no. 1, 103-108.
- Elsawwaf M., Azzam W., Elghrubby N. (2023). The effect of jet grouting on enhancing the lateral behavior of piled raft foundation in soft clay (numerical investigation). *Advances in Geological and Geotechnical Engineering Research*, vol. 5, no. 1, 24-39, <https://doi.org/10.30564/agger.v5i1.5347>.
- Абелев М.Ю., Абелева А.М., Аверин И.В., Чунюк Д.Ю., Алмазов А.А. (2023). Особенности строительства на лессовых просадочных при замачивании грунтах. Москва: Издательство АСВ, 144. // Abelev M.YU., Abeleva A.M., Averin I.V., CHunyuk D.YU., Almazov A.A. (2023). *Osobennosti stroitel'stva na lessovykh prosadochnykh pri zamachivanii gruntah. Moskva: Izdatel'stvo ASV*, 144.
- Fasano G., Nappa V., Özcebe A. G., Bilotta E. (2021). Numerical modelling of the effect of horizontal drains in centrifuge tests on soil-structure interaction in liquefiable soils. *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 19, 3895-3931, <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01084-2>.
- Singh A. P., Chatterjee K. (2020). Influence of soil type on static response of cantilever sheet pile walls under surcharge loading: a numerical study. *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 13, 1-11, <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5170-x>.
- Amar Bouzid D. (2021). Analytical quantification of ultimate resistance for sand flowing horizontally around monopile: New py curve formulation. *International Journal of Geomechanics*, vol. 21, no. 3, 04021007, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.000192](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.000192).
- Salih A.G., Rashid A.S.A., Salih N.B. (2022). Finite element analysis of the load-settlement behavior of large-scale shallow foundations on fine-grained soil utilizing plaxis 3D. *International Conference on Geotechnical Engineering-IRAQ*. – Singapore : Springer Nature Singapore, 249-260, [https://doi.org/10.1007/978-981-19-7358-1\\_22](https://doi.org/10.1007/978-981-19-7358-1_22).
- Venkatesan V., Mayakrishnan M., Shukla S.K. (2024). Effect of pile spacing in helical pile groups in soft clays under combined loading. *Marine Georesources & Geotechnology*, vol. 42, no. 4, 432-452, <https://doi.org/10.1080/1064119X.2023.2196962>.
- Orozco-Herrera J. E. et al. (2022). Continuous impact pile driving modeling to elucidate settlement-PPV-soil density-input energy relationships. *Geo-Congress 2022*, 113-122.
- Zhang R., Chen Y., Yao P., Stive M.J.F., Zeng, J. (2023). Numerical Simulations of Effects of the Layout of Permeable Pile Groin Systems on Longshore Currents. *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 11, 1823, <https://doi.org/10.3390/jmse11091823>.
- Suzuki N., Nagai K. (2023). Piling Data-Driven Framework for Optimized Pile Structures Based on Minimizing the Expected Total Cost. *Appl. Sci.*, vol. 13, 10216, <https://doi.org/10.3390/app131810216>.
- Cheng H., Sui G., Wang G., Deng J., Wei H., Xu R., He Y., Yang W. (2023). Study on the Optimization of Pile Length of Micropiles in Soil Landslides. *Appl. Sci.*, vol. 13, 9980, <https://doi.org/10.3390/app13179980>.
- Zhang D. (2023). Influences of Deep Foundation Pit Excavation on the Stability of Adjacent Ancient Buildings. *Buildings*, vol. 13, 2004, <https://doi.org/10.3390/buildings13082004>.
- Толмачев Д.А., Рамазанов А.Г. (2023). Определение несущей способности одиночной сваи путем моделирования испытаний в программном комплексе PLAXIS 2D. *ИВД*, №7 (103). // Tolmachev D.A., Ramazanov A.G. (2023). *Opređenje nesushchej sposobnosti odinochnoj svai putem modelirovaniya ispytanij v programnom komplekse PLAXIS 2D. IVD*, №7 (103).
- Tyrer J., Paraskevopoulou C., Shah R., Miller R., Kavvadas M. (2023). Tunnelling with Full-Face Shielded Machines: A 3D Numerical Analysis of an Earth Pressure Balance (EPB) Excavation Sequence Using the Finite Element Method (FEM). *Geosciences 2023*, vol. 13, 244, <https://doi.org/10.3390/geosciences13080244>.

## Information about authors

**Lukpanov Rauan** – PhD, associated professor, senior researcher, LLP «Solid Research Group», Astana, Kazakhstan. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: rauan\_82@mail.ru, ORCID:0000-0003-0085-9934, +7 701 188 44 44

**Tsygulev Denis** – Candidate of Technical Science, Associate Professor, scientific supervisor, LLP «Solid Research Group», Astana, Kazakhstan. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: denis\_riza\_72@mail.ru, ORCID:0000-0002-7061-699X, +7 777 151 28 72

**Dyusseminov Duman** – Candidate of Technical Science, Associate Professor, researcher, LLP «Solid Research Group», Astana, Kazakhstan. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: duseminov@mail.ru, ORCID:0000-0001-6118-5238, +7 705 428 38 58

**Altynbekova Aliya** – PhD, junior researcher, LLP «Solid Research Group», Astana, Kazakhstan. Senior lecturer Department of Technology of Industrial and Civil Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: kleo-14@mail.ru, ORCID:0000-0003-1010-9328, +7 777 973 08 59

**Yenkebayev Serik** – Candidate of Science, Associate Professor, senior researcher, LLP «Solid Research Group», Astana, Kazakhstan. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: yenkebayev-serik@mail.ru, ORCID:0000-0002-5984-9346, +7 701 642 79 89