

Научная статья  
УДК 624.154  
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-38-46>  
EDN: QIYSDC



## ИСПЫТАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ОГОЛОВКОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ

**Д.В. Фурманов, Н.Н. Клочко** ✉, **Т.А. Краснобаев**  
Ярославский государственный технический университет,  
г. Ярославль, Россия  
✉ [mxim.klochco@yandex.ru](mailto:mxim.klochco@yandex.ru),  
✉ ответственный автор

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В статье рассмотрены требования к оборудованию для удаления оголовков железобетонных свай. Отмечается и подтверждается экспериментально, что производимые на сегодняшний день машины имеют избыточные силовые и прочностные параметры.

**Материалы и методы.** С помощью опытного образца рабочего оборудования на примере свай различного сечения были исследованы силовые параметры рабочего процесса, характер развития сил сопротивления резанию в цикле.

**Результаты.** Показаны методика и результаты экспериментальных исследований рабочего процесса срезания свай непосредственно на объекте. Скачкообразный рост сил сопротивления резанию и затем резкое падение этих сил на всей области осциллограммы указывает на хрупкий характер разрушения свай. Отмечается также, что зависимость сил сопротивления срезанию оголовка от высоты оголовка имеет линейный характер. Были исследованы технологические и конструктивные особенности нового оборудования. Показана высокая производительность машины в целом.

**Обсуждение и заключение.** На основании результатов проведённых испытаний авторами сделано заключение о целесообразности дальнейшей работы по исследованию рабочего процесса удаления оголовков железобетонных свай.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** бетон, разрушение бетона, свая, срезание оголовка свай, оборудование для срезания оголовка свай

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** авторы выражают благодарность редакции журнала «Вестник СибАДИ» и рецензентам статьи.

Статья поступила в редакцию 09.10.2023; одобрена после рецензирования 17.01.2024; принята к публикации 20.02.2024.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Прозрачность финансовой деятельности:** авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Фурманов Д.В., Клочко Н.Н., Краснобаев Т.А. Испытание оборудования для удаления оголовков железобетонных свай // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 1. С. 38-46. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-38-46>

© Фурманов Д.В., Клочко Н.Н., Краснобаев Т.А., 2024



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-38-46>

EDN: QIYSDC

## TESTING OF EQUIPMENT FOR REMOVING REINFORCED CONCRETE PILE CAPS

Denis V. Furmanov, Natalya N. Klochko ✉, Timofey A. Krasnobaev

Yaroslavl State Technical University (YSTU),

Yaroslavl, Russia

✉ [maxim.klochco@yandex.ru](mailto:maxim.klochco@yandex.ru),

✉ corresponding author

### ABSTRACT

**Introduction.** The article discusses the requirements for equipment for removing pile caps of reinforced concrete piles. The machines produced nowadays have excessive power and strength parameters which has been noted and proved experimentally.

**Materials and methods.** Using a prototype of operational equipment on the different piles of different cross-section the force parameters of the working process, the character of development of cutting resistance forces in the cycle were investigated.

**Results.** The stick-slip nature of cutting resistance forces and then a sharp drop of these forces on the whole area of the oscillogram indicates the brittle character of the pile fracture. It is also noted that the dependence of head shearing resistance forces on the height of the pile cap is linear. Technological and constructive features of the new equipment were investigated. High productivity of the machine as a whole was shown.

**Discussion and conclusion.** Based on the results of the tests, the authors concluded that further work on the study of the working process of removal of reinforced concrete pile caps is reasonable.

**KEYWORDS:** concrete, concrete destruction, pile, pile head cutting, pile head cutting equipment

**CONFLICT OF INTEREST:** The authors declare no conflict of interest.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** The authors express their gratitude to the Russian Automobile and Highway Industry Journal editorial staff and the reviewers of the article.

The article was submitted 09.10.2023; approved after reviewing 17.01.2024; accepted for publication 20.02.2024.

The author has read and approved the final manuscript.

**Financial transparency:** the author has no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

*For citation.* Furmanov D.V., Klochko N.N., Krasnobaev T.A. Testing of equipment for removing reinforced concrete pile caps. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (1): 38-46. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-38-46>

© Furmanov D.V., Klochko N.N., Krasnobaev T.A., 2024



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

## ВВЕДЕНИЕ

Железобетонная свая – это сложный композитный материал<sup>1</sup> с ориентированным размещением арматурного каркаса. Забивание или погружение железобетонных свай квадратного сечения осуществляется до определенного уровня или до отказа. В результате над поверхностью остается оголовок высотой более 30 см.

Срезание оголовков свай специальным навесным оборудованием для экскаватора – ответственная технологическая операция, которая позволяет отказаться от ручного труда, повысить производительность и скорость выполнения работ на объекте. Однако к этой операции предъявляется ряд специфических требований, обусловленных конструктивными и технологическими особенностями фундамента в целом и требованиями, предъявляемыми к нему<sup>2</sup>. К таким требованиям относятся: необходимость срезания сваи до проектной отметки (зачастую заказчик требует срезать оголовок сваи до уровня грунта) и недопустимость продольного растрескивания тела сваи ниже уровня срезания [1]. Кроме того, выше уровня отметки требуется оставлять продольные стержни арматуры, которые впоследствии образуют единый арматурный каркас сваи и ростверка.

Широкое разнообразие оборудования, которое может быть предложено рынком на сегодняшний день, реализует статический метод разрушения зубьями бетонного наполнителя, расположенного внутри арматурного каркаса. Отдельные элементы отделяются от массива и последовательно удаляются. Большинство машин такого вида являются предметом интуитивного конструирования без какого-либо обоснования размеров и формы зубьев и необходимой для их вдавливания силы.

Сила сопротивления разрушению бетона зубьями является основным параметром оборудования. Величина этой силы зависит от конструкции разрушающего элемента<sup>3</sup> [2], прочностных характеристик бетона [3, 4, 5], размера сваи [6, 7], ее качества и технологии армирования [8, 9, 10, 11, 12], а также высоты срезаемой части [13]. Указанное количество исходных данных и отсутствие достоверных методических рекомендаций по расчету оборудования для срезания железобетонных свай заставляет разработчиков новых машин идти либо по пути копирования существующих или подобных машин, либо обосновывать выбор конструктивных и технологических параметров оборудования решениями, опирающимися на ложные представления о рабочем процессе. С целью обоснования характера разрушения железобетонных свай были проведены экспериментальные исследования по определению нагрузок на режущие элементы при срезании оголовков железобетонных свай квадратного сечения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поскольку сила резания на разрушающих элементах оборудования для срезания свай является главным параметром, то первоначальной задачей будет определить значение этих сил на реальной машине.

С этой целью в экспериментальных работах исследовалась работа оборудования для удаления оголовков железобетонных свай РСК-400 производства ООО «Меркурий», г. Ярославль с возможностью работы со сваями, сечение 300, 350 и 400 мм (рисунок 1). Оборудование является перспективным, а его конструкция включает в себя решения для обеспечения качества реза<sup>4,5</sup> и обеспечения

<sup>1</sup> Васильев В.В. Механика конструкций из композитных материалов / под ред. Н.Н. Малинина. М.: Машиностроение, 1988. 270 с.

<sup>2</sup> СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. М., 2011. Дата введения 2011-05-20.

<sup>3</sup> Фурманов Д. В., Ключко Н. Н., Чижов В. С. Экспериментальная оценка рациональных углов заострения зубьев машин для разработки прочных дорожно-строительных материалов. В сб. Наземные транспортные-технологические комплексы и средства: материалы XVIII Международной научной-технической конференции; под общ. ред. Ш. М. Мерданова. Тюмень: ТИУ, 2019. 317 с. С. 277–281.

<sup>4</sup> Патент № 198971 Российская Федерация, МПК E02D 9/00 (2006.01) E04G 23/08 (2006.01) B28D 1/26 (2006.01). Устройство для срезания железобетонных свай: № 2019139765: заявл. 04.12.2019: опубл. 05.08.2020 / Фурманов Д.В., Ключко Н.Н. 3 с.

<sup>5</sup> Патент № 198943 Российская Федерация, МПК E02D 9/00 (2006.01) E04G 23/08 (2006.01) B28D 1/26 (2006.01). Оборудование для срезания железобетонных свай: № 2019139764: заявл. 04.12.2019: опубл. 04.08.2020 / Фурманов Д.В., Ключко Н.Н. 2 с.

реза на необходимой отметке<sup>6</sup>. Оборудование для удаления оголовков стандартных железобетонных свай<sup>7</sup> устанавливается на экскаватор или экскаватор-погрузчик грузоподъемностью не менее трех тонн и давлением в гидросистеме не менее 20 МПа. В ходе эксперимента использовался экскаватор-погрузчик Volvo BL-71.

Работы проводились на свайном поле строящегося гражданского объекта. В качестве объекта разрушения были выбраны сваи сечением 300×300 мм (С 30.15, ГОСТ 19804–2012).

В основные задачи эксперимента включены определение максимальных сил сопротивления резанию при работе оборудования, определение зависимости этих сил от высоты срезаемого оголовка, определение характера развития сил сопротивления резанию в процессе разрушения элемента.

В дополнительные задачи эксперимента включены оценка технологических показателей качества реза, возможности срезания оголовка на одном уровне с грунтом, оценка удобства эксплуатации и производительности.

В методическую основу оценки сил сопротивления резанию на режущих элементах оборудования положено измерение и непрерывная запись значений давления, развиваемого в поршневых полостях гидроцилиндров оборудования (рисунок 2).



Рисунок 1 – Оборудование для срезки оголовков железобетонной сваи, установленное на экскаваторе Volvo BL-71.

Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Reinforced concrete pile head shearing equipment mounted on a Volvo BL-71 excavator. Source: compiled by the authors.



Рисунок 2 – Оборудование для регистрации давления в гидроцилиндре: а – датчик давления; б – измерительная система

Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Equipment for registration of pressure in the hydraulic cylinder. a - pressure sensor, b - measuring system Source: compiled by the authors.

<sup>6</sup> Патент № 2716537 Российская Федерация, E02D 9/00 (2006.01) Устройство для срезания железобетонных свай: №2019111582: заявл. 04.07.2019: опубл. 12.03.2020 / Фурманов Д.В. 2 с.

<sup>7</sup> ГОСТ 19804–2012 Сваи Железобетонные заводского изготовления. Общие технические условия. М., 2012.

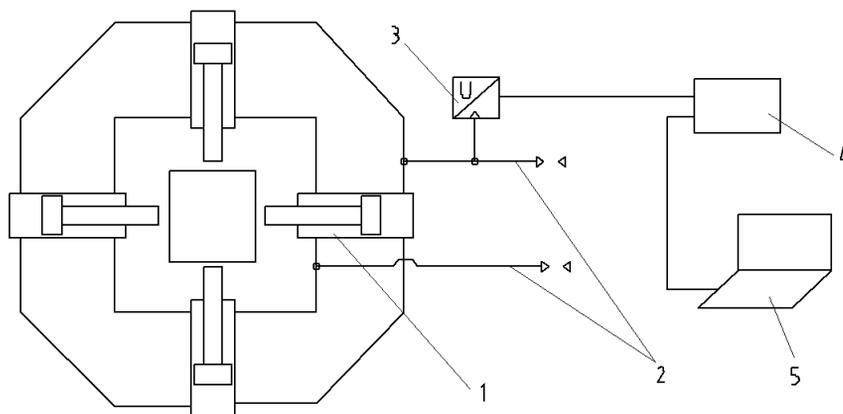


Рисунок 3 – Функциональная схема оборудования с установленной измерительной системой:  
 1 – гидроцилиндры оборудования; 2 – магистрали высокого давления от гидросистемы экскаватора;  
 3 – преобразователь давления; 4 – аналого-цифровой преобразователь; 5 – персональный компьютер  
 Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Functional scheme of the equipment with installed measuring system.  
 1 – hydraulic cylinders of the equipment, 2 – high pressure lines from the hydraulic system of the excavator,  
 3 – pressure transducer, 4 – analog-to-digital converter, 5 – personal computer  
 Source: compiled by the authors.

Сила, сосредоточенная на разрушающих элементах, определялась при помощи датчика давления (рисунок 2, а), установленного в линию подвода рабочей жидкости к поршневой полости гидроцилиндра. С датчика давления со встроенным усилителем показания передавались на аналого-цифровой преобразователь ZET 017-U8, полученные данные записывались на жесткий диск ПК (рисунок 2, б).

На оголовок сваи (рисунок 3) одновременно воздействуют режущие элементы, установленные на штоках четырех гидроцилиндров. Это способствует более высокому качеству срезаемой поверхности и снижению сил сопротивления резанию на штоках гидроцилиндров.

Запись значений давления во время каждого цикла представляет собой осциллограмму, в которой имеет место несколько характерных зон (рисунок 4).

В зоне 1 давление соответствует закрытым золотникам гидрораспределителя гидравлической системы экскаватора. При этом давление, отраженное на участке осциллограммы, соответствует давлению в сливной магистрали гидравлической системы экскаватора.

Зона 2 соответствует моменту выдвигания зубьев до упора в сваю. Характерные скачки вызваны трением при выдвигании штоков

гидроцилиндров. После остановки зубьев в материале сваи давление в гидравлической системе увеличивается. В то же время в теле сваи развиваются внутренние напряжения, что приводит к последующему разрушению материала. Эта зона характеризуется быстрым, почти скачкообразным повышением давления в поршнях гидроцилиндров. Пик зоны 3 на графике соответствует силе, которая образует крупные магистральные трещины и разрушает сваю.

Зона 4 соответствует моменту отделения бетона от арматуры, а в зоне 5 бетон разрушен и полностью отделен от арматуры. Далее срабатывает предохранительный клапан гидравлической системы экскаватора (зона б).

Полученные данные были записаны во время работы оборудования на объекте, что позволило получить результаты с частотой для одного случая.

Сила резания определялась из соотношения

$$F = 0,25 \pi D^2 (p_1 - p_0),$$

где  $D$  – диаметр поршня гидроцилиндра, мм;

$p_2$  и  $p_1$  – давление в начальный момент выдвигания штоков гидроцилиндра и измеренное давление в текущий момент работы оборудования, МПа.

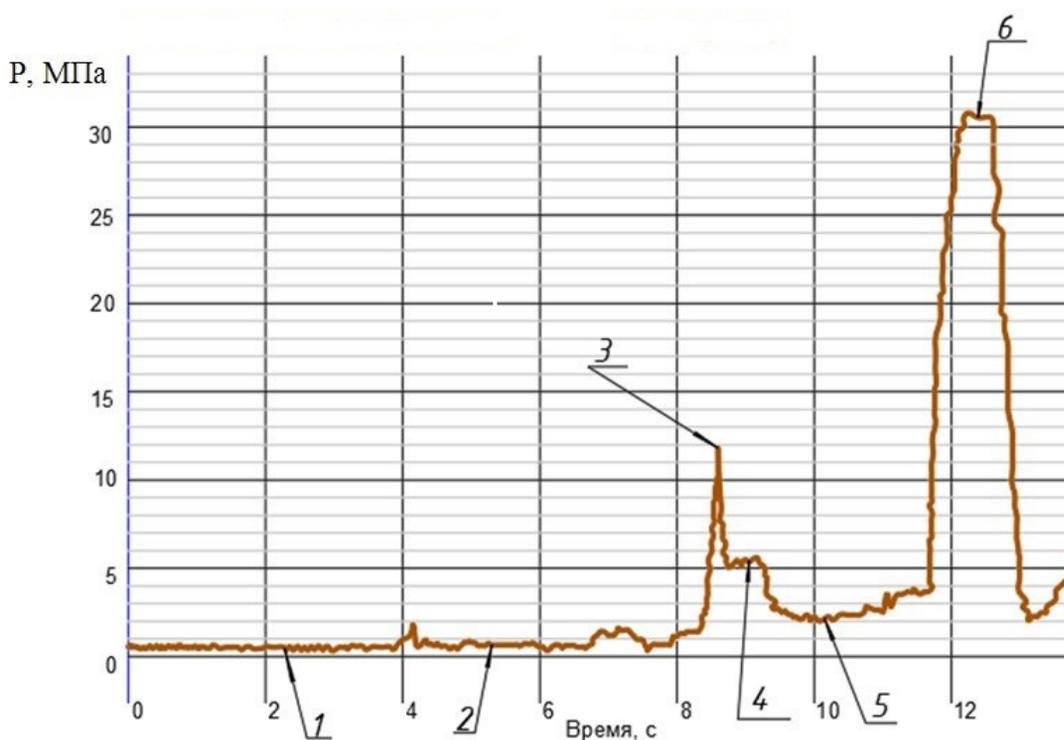


Рисунок 4 – Осциллограмма давления в поршневой полости гидроцилиндров оборудования для удаления оголовков железобетонных свай  
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Oscillogram of pressure in the piston cavity of hydraulic cylinders of the equipment for removal of reinforced concrete pile caps.  
Source: compiled by the authors.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Следует отметить, что многочисленные повторения эксперимента не обнаружили изменений характера осциллограммы.

Выводами к проделанной работе являются ответы на поставленные задачи эксперимента:

- максимальные силы сопротивления, сосредоточенные на зубьях оборудования, имеют линейный характер в зависимости от высоты срезаемого оголовка (рисунок 5) и принимают значения от 148 до 200 кН при срезании оголовка сваи высотой от 100 до 200 мм для указанных свай квадратного сечения размером 300 мм;

- учитывая, что значение сил сопротивления срезанию оголовка сваи составляют не более 30% от максимально возможных для выбранного оборудования, представляется рациональным проектирование специального устройства для срезания оголовков свай имен-

но этого сечения, тем более что именно такие сваи получили широкое распространение в строительстве промышленных и гражданских объектов (по оценочным данным, до 80% от общего объема свайных фундаментов);

- пиковый характер давления на всех осциллограммах в начале процесса разрушения свидетельствует об устойчивом развитии магистральной трещины, что позволило характеризовать процесс как хрупкое разрушение, описываемое энергетическими критериями [14].

В числе технологических показателей следует отметить коробчатую конструкцию рамы, которая дала возможность эксплуатировать оборудование с легким экскаватором-погрузчиком за счет существенного снижения веса. Угловое размещение гидроцилиндров на раме позволило обеспечить высокое качество образованной поверхности на уровне основания (рисунок 6). При этом вертикальные арматурные стержни не деформированы.

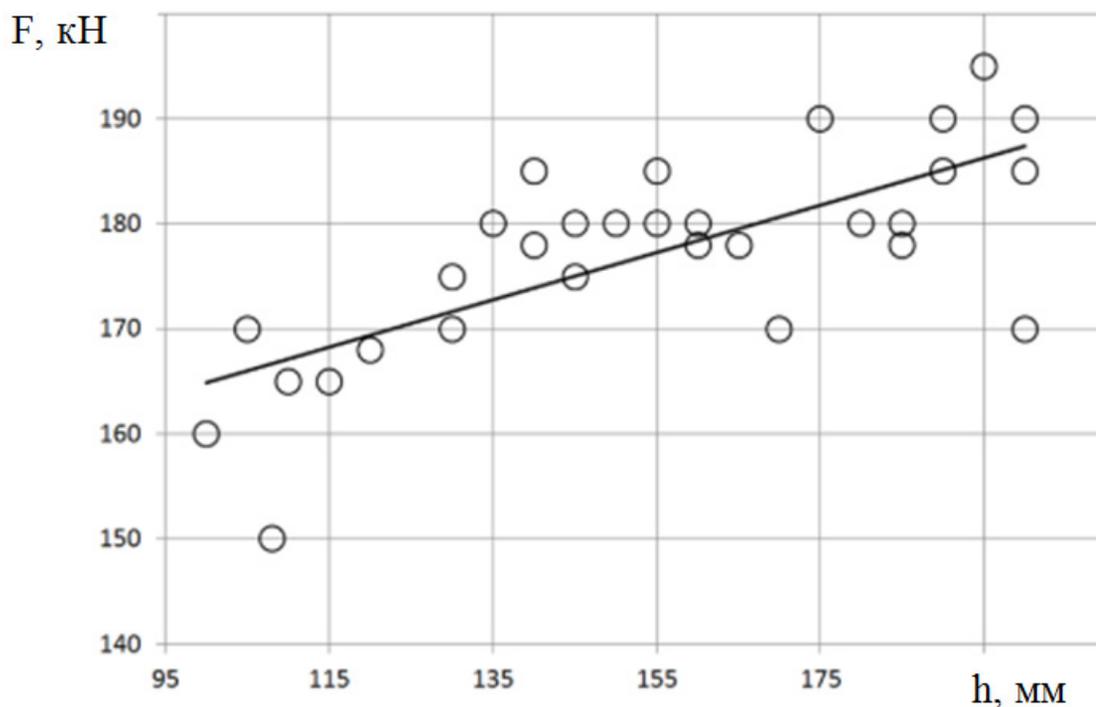


Рисунок 5 – Зависимость силы, необходимой для разрушения оголовка сваи, от высоты срезаемого оголовка  
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Characteristic curve of the force required to break the pile head on the height of the sheared head  
Source: compiled by the authors.



Рисунок 6 – Полное срезание оголовка железобетонной сваи до уровня основания  
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Complete shearing of the cap of a reinforced concrete pile to the base level  
Source: compiled by the authors.

Производительность оборудования при общей высоте оголовков от 30 до 50 см и высоте среза части оголовка от 10 до 15 см составляет до 110 свай в смену. Замкнутое сечение рамы и четыре гидроцилиндра позволяют отделять оголовки частями и транспортировать его в отдельное место.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые испытания оборудования для удаления оголовков железобетонных свай показали следующее. Разрушение свай носит хрупкий характер исходя из результатов эксперимента. Установлена прямая зависимость силы, необходимой для разрушения оголовка свай, от высоты срезаемого оголовка.

Обнаружено, что параметры оборудования для срезания свай сечением 300×300 выбраны нерационально, и большая часть развиваемой мощности оборудования оказалась не востребована, так как усилие, развиваемое на штоках гидроцилиндров, составило не более 30% от максимально возможных.

Таким образом, выполненная работа подтвердила эффективность конструктивных решений нового оборудования и сформулировала поиск направлений дальнейших исследований рабочего процесса удаления оголовков железобетонных свай.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ/ REFERENCES

1. Jeong-Ho, Lee & Myoung-Ho, Kim & Kim, Youngsuk & Cho, Moon-Young. Experimental Study for the Improvement of an Automated PHC Pile Head Cutter. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2005. 6.
2. Furmanov, Denis & Klochko, N & Tyuremnov, Ivan. Analysis and experimental evaluation of contact interaction of simple punch shapes with concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 560. 012062. 10.1088/1757-899X/560/1/012062.
3. KWAK, HYO-GYOUNG & Filippou, Filip. Finite element analysis of reinforced concrete structures under monotonic loads. 1990.
4. Tasong W.A., Lynsdale C.J., Cripps J.C., Aggregate-cement paste interface. ii: influence of aggregate physical properties. *Cement and Concrete Research*. 1998. Volume 28, Issue 10: 1453-1465, ISSN 0008-8846, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00126-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00126-4).
5. Mishuk Bhattacharjee, Md. Arifur Rahman, Muhammad Ashrafuzzama, Shovon Barua. Effect of Aggregate Properties on the Crushing Strength of Concrete. *International Journal of Materials Science and Applications*. 2015; Vol. 4, No. 5: 343-349. doi: 10.11648/j.ijmsa.20150405.19.
6. Sørensen, Jesper & Hoang, Linh & Ravn, Uffe. Experimental Investigation of Size Effect in

Shear Critical Reinforced Concrete Pile Caps. 2023. 10.1007/978-3-031-32511-3\_56.

7. Suzuki, Kuniyasu & Otsuki, Kazuo & Tsuchiya, Tsutomu. Influence of edge distance on failure mechanism of pile caps. 2000. 22. 361-368.

8. Barzegar-Jamshidi, Fariborz & Schnobrich, W.C. Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Under Short Term Monotonic Loading. 1986.

9. Lu, Wen-Yao & Lee, Tung-Ming & Ko, Hsueh-Cheng & Tsai, Jui-Ting. Ultimate loads for reinforced concrete square pile caps. *Magazine of Concrete Research*. 2021. 74. 1-36. 10.1680/jmacr.21.00221.

10. Boulifa, Ridha & Samai, Mohamed & Benhassine, Mohamed & Tekkouk, Abdelhadi. Predicting Strength Capacity of Three-Dimensional Concrete Struts in Pile Caps. *ACI Structural Journal*. 2021; 118. 10.14359/51729344.

11. Abdul-Razzaq, Khattab & Farhood, Mustafa. Design and behavior of reinforced concrete pile caps: a literature review. *International Journal of Engineering Research and Science & Technology*. 2017; Volume 6, no. 4 :2319-5991.

12. de AraÚjo J. M. Reliability analysis of rigid pile caps using an iterative strut-and-tie model. *Architecture, Civil Engineering, Environment*. 2017; T. 10. no. 1: 65-75.

13. de AraÚjo J. M. Design of rigid pile caps through an iterative strut-and-tie model. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2016; T. 14. no. 8: 397-407.

14. Jankowiak T., Lodygowski T. Identification of parameters of concrete damage plasticity constitutive model. *Foundations of civil and environmental*. 2005; 6: 53–69.

## ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Фурманов Д.В. Постановка цели и задачи исследования; описание проблемы, с которой связано исследование; разработка алгоритма методики проведения исследования; обработка результатов проведения исследования; разработка математической модели; составление статьи; окончательное утверждение версии для публикации

Клочко Н.Н. Описание методов проведения исследований; обработка результатов проведения исследования; анализ и интерпретация данных; концепция и дизайн работы; составление статьи; итоговая переработка статьи;

Краснобаев Т.А. Описание материалов и методов проведения исследования; обзор литературы, связанной с исследованием; анализ и интерпретация данных; составление статьи; итоговая переработка статьи;

## STATED CONTRIBUTION OF AUTHORS

Denis V. Furmanov The purpose and objectives of the study statement; the problem with which the study is associated statement; development of the algorithm of the research methodology; processing of the results of the study; a mathematical model development; drafting the article; final approval of the version for publication.

*Natalya N. Klochko Description of methods and materials for conducting research; processing of the results of the study; data analysis and interpretation; concept and design of the work; drafting the article; final revision of the article.*

*Timofey A. Krasnobaev Description of materials for conducting research; the literature related to the study review; data analysis and interpretation; concept and design of the work; drafting the article; final revision of the article.*

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фурманов Денис Владимирович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные и дорожные машины» Ярославского государственного технического университета (150023, г. Ярославль, Московский проспект, 88), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6932-6477>, SPIN-код: 6237-2284.

Клочко Наталья Николаевна – ст. преп. кафедры «Инфраструктура и транспорт» Ярославского государственного технического университета (150023, г. Ярославль, Московский проспект, 88), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8801-2169>, SPIN-код: 4241-8230, e-mail: [maxim.klochco@yandex.ru](mailto:maxim.klochco@yandex.ru)

Краснобаев Тимофей Андреевич – аспирант Ярославского государственного технического университета (150023, г. Ярославль, Московский проспект, 88), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0934-6178>

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

Denis V. Furmanov – Cand. of Sci., Associate Professor, Construction and Road Machines Department, Yaroslavl Technical University (Moskovsky Prospekt 88, Yaroslavl, 150023), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6932-6477>, SPIN-код: 6237-2284.

Natalya N. Klochko – Senior lecturer, Infrastructure and Transport Department, Yaroslavl Technical University (Moskovsky Prospekt 88, Yaroslavl, 150023), <https://orcid.org/0000-0001-8801-2169>, SPIN-код: 4241-8230, e-mail: [maxim.klochco@yandex.ru](mailto:maxim.klochco@yandex.ru)

Timofey A. Krasnobaev – Graduate student, Yaroslavl Technical University (Moskovsky Prospekt, 88, Yaroslavl, 150023), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0934-6178>