

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION



УДК 624.154.8

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-2-33-41>

Оценка конкурентоспособности способов устройства уширений буровых свай при возведении фундаментов многоэтажных зданий

С.Г. Османов , А.Э. Иняхин 

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ osmanov.tsp@ya.ru



EDN: OLEYQL

Аннотация

Введение. Буровые сваи — наиболее адаптированный к особенностям многоэтажного строительства тип свай. В статье рассмотрены существующие способы устройства уширений таких свай как основного инструмента минимизации их диаметра, длины и количества, а значит упрощения и снижения издержек проектирования и последующего возведения фундаментов. Установлено, что при известном многообразии этих способов информация о них разрознена, запутанна, а порой и противоречива, что затрудняет выбор оптимальных проектных решений. Для его облегчения предложена прикладная классификация рассматриваемых способов, и поставлена цель уточнения областей их рационального применения.

Материалы и методы. В исследовании использованы данные сборников производственных и сметных норм, справочной, нормативной и типовой проектной документации, а также отечественный опыт и предложения специализированных подрядных организаций. В ходе анализа этих материалов произведена систематизация сведений о преимуществах, недостатках и параметрах областей применения существующих способов устройства уширений буровых свай по критериям внутренних и внешних факторов выбора соответствующих решений в конкурентных условиях многоэтажного строительства. Конкурентоспособность трех наиболее перспективных из таких способов исследована методом комплексной (многокритериальной) оценки.

Результаты исследования. Установлено, что в рассмотренных обобщенных условиях самым конкурентоспособным среди отобранных способов является, как правило, разрядно-импульсная обработка ствола и (или) пяты свай. При этом соответствующие результаты представлены графически в виде столбчатых диаграмм удельных трудозатрат и стоимости устройства уширений исследованными способами и радиальных диаграмм совокупного влияния этих критериев, наряду с прочими учтенными, на решение поставленной оптимизационной задачи.

Обсуждение и заключение. Развита соображения об эффективности применения полученных результатов в современном проектировании, а также показано, как и при каких обстоятельствах они могли бы меняться с учетом конкретизации проектных данных и местных условий строительства, что в целом позволило уточнить области рационального применения рассмотренных способов и дать рекомендации по обновлению соответствующей нормативной базы.

Ключевые слова: многоэтажные здания, буровые сваи, уширения, механический способ, взрывной способ, разрядно-импульсная обработка, конкурентоспособность, внутренние факторы, внешние факторы, комплексная оценка

Для цитирования. Османов С.Г., Иняхин А.Э. Оценка конкурентоспособности способов устройства уширений буровых свай при возведении фундаментов многоэтажных зданий. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2024;3(2):33–41. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-2-33-41>

Evaluating the Competitiveness of the Methods of Bored Cast-in-Place Piles Underreaming when Constructing the Foundations of Multistorey Buildings

Sergey G. Osmanov , Alexander E. Inyakhin 

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ osmanov.tsp@ya.ru

Abstract

Introduction. The bored cast-in-place piles are the type of piles most adjusted to specifics of the multistorey building construction. The article studies the existing methods of underreaming such piles as the main tool to minimise their diameter, length, and quantity, thus optimise and reduce the cost of foundation design and its subsequent construction. It is acknowledged that despite the diversity of these methods, the information about them is scattered, confusing, and sometimes contradictory, making it difficult to choose the optimal design solutions. To facilitate the choice, an application-oriented classification of the methods under study has been proposed aiming to specify the areas of rational implementation thereof.

Materials and Methods. The study took into account the data of the guidebooks on norms of production and estimate norms, the reference, normative and standard design documentation, as well as national practices and solutions proposed by the professional subcontracting organisations. Upon analysis of the above materials, the information on the advantages, disadvantages and implementation area parameters of the existing methods of bored cast-in-place piles underreaming was systematised based on the internal and external factor criteria used for selecting the appropriate solutions in the competitive conditions of multistorey building construction. The competitiveness of three most advanced of such methods was investigated by a comprehensive (multi-criteria) evaluation method.

Results. It was found that under general conditions that were studied, the most competitive among the selected methods was mainly the pulse-discharging treatment of a pile shaft and (or) pile base. The respective results were presented graphically in the form of the bar charts of unit labour costs and costs of underreaming by the studied method, as well as the radial bar charts showing the cumulative effect of these and other taken into account parameters on solving the set task of optimisation.

Discussion and Conclusion. The reflections upon the efficiency of implementing the obtained results in the present-day designing have been further evolved, and the ways and circumstances of changing thereof depending on the project specification and local conditions of construction have been presented. On the whole, that allowed for specifying the areas of rational implementation of the studied methods and providing the recommendations on updating the relevant regulatory framework.

Keywords: multistorey buildings, bored cast-in-place piles, underreaming, mechanical method, explosive method, pulse-discharging treatment, competitiveness, internal factors, external factors, comprehensive evaluation

For citation. Osmanov SG, Inyakhin AE. Evaluating the Competitiveness of the Methods of Bored Cast-in-Place Piles Underreaming when Constructing the Foundations of Multistorey Buildings. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(2):33–41. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-2-33-41>

Введение. При возведении многоэтажных зданий, особенно повышенной этажности и высотных, их плитно-свайные фундаменты чаще всего устраивают с применением буровых свай (далее — БС), преимущества которых в полной мере соответствуют основным вызовам современного многоэтажного строительства [1–3]. В связи с этим является весьма значимой возможность назначения размеров таких свай в широких пределах (например, диаметра/длины для свай круглого сечения — от 0,15/3 до, соответственно, 2/70 м и даже более), что позволяет [2, 3] гибко и эффективно решать проблему больших нагрузок от веса зданий на основания. К БС, разумеется, относятся и бареттные сваи (прямоугольные в сечении, изготавливаемые в грунте с помощью плоских грейферов), и они могут выигрывать у круглых (буронабивных и буруинъекционных) в несущей способности, однако являются, как было установлено, не менее чем на 20 % более трудозатратными в изготовлении и используются в основном лишь при возведении уникальных объектов. Отчасти этому способствует возможность дополнительного повышения несущей способности круглых БС рядом способов [4], к которым зачастую приходится прибегать, т.к. имеющие место большие диаметр/длина свай и их малый шаг приводят на практике к ряду весьма существенных затруднений и издержек, причем как расчетно-конструкторского, так и организационно-технологического толка.

Первые обусловлены большими значениями расхода конструкционных материалов, а также (в ряде случаев) высокой трудоемкостью и стоимостью проектирования фундамента. Вторые — повышенной сложностью увязки работы задействованных в стесненных условиях машинокомплектов и отдельных multifunctional установок (далее — МФУ) и вспомогательных машин в их составе, а также увеличением срока строительства из-за

ограниченной возможности вести работы поточно в связи с необходимостью соблюдения указаний по их совмещению, регламентированных СП 45.13330.2017 «Земляные сооружения, основания и фундаменты» (выполнять бетонирование свай не позже 24/8 часов после окончания бурения под них скважин в устойчивых/неустойчивых грунтах соответственно) и СП 412.1325800.2018 «Конструкции фундаментов высотных зданий и сооружений. Правила производства работ» (не разбуривать скважины на расстоянии менее 4-х их диаметров от центров ранее изготовленных смежных свай до набора бетоном последних 50 % проектной прочности). Выполнение указанных условий и компенсация сопряженных рисков — непростая инженерная задача на любом объекте, тем более с учетом его масштабности и сложности.

Наиболее рациональным решением, позволяющим минимизировать описанные сложности, является проектирование круглых БС с уширением ствола и (или) пяты, что, собственно, и повышает несущую способность каждого элемента свайного поля, увеличивает их шаг, обеспечивая потенциал для рассредоточения свайных работ по фронту и их гибкой поточной организации [2, 4, 5]. Оправданность применения этого решения во многом зависит от того, каким способом оно будет реализовано, и как при его выборе учтены внешние (обусловленные местными условиями строительства) и внутренние (производственные) факторы. Поэтому исследование особенностей и возможностей существующих способов устройства уширений БС представляется весьма актуальным.

На сегодняшний день разработано множество таких способов. Однако, как было установлено, доступная информация о них довольно разрознена, запутана, а иногда (например, при соотношении их применимости с инженерно-геологическими условиями (далее — ИГУ) выделенного участка и плотностью окружающей застройки) даже противоречива. Во многом это обусловлено как незрелостью рынка строительных технологий, проявляющейся в необоснованности применения одного из способов (как правило, наиболее дорогостоящего), так и неполнотой либо банальной утратой актуальности некоторой нормативной, методической и типовой проектной документации по рассматриваемой тематике. Представленная на рис. 1 в виде блок-схемы прикладная классификация существующих способов устройства уширений БС, предложенная авторами по результатам соответствующего анализа, устанавливает связь конкретных способов с реализуемой ими формой уширений свай (влияющей на их несущую способность [4]), а также действующим нормативным обеспечением, способствуя большей ясности на начальном этапе проектирования. Причем любопытно, что только разрядно-импульсная обработка (далее — РИО) регламентирована отдельным документом.

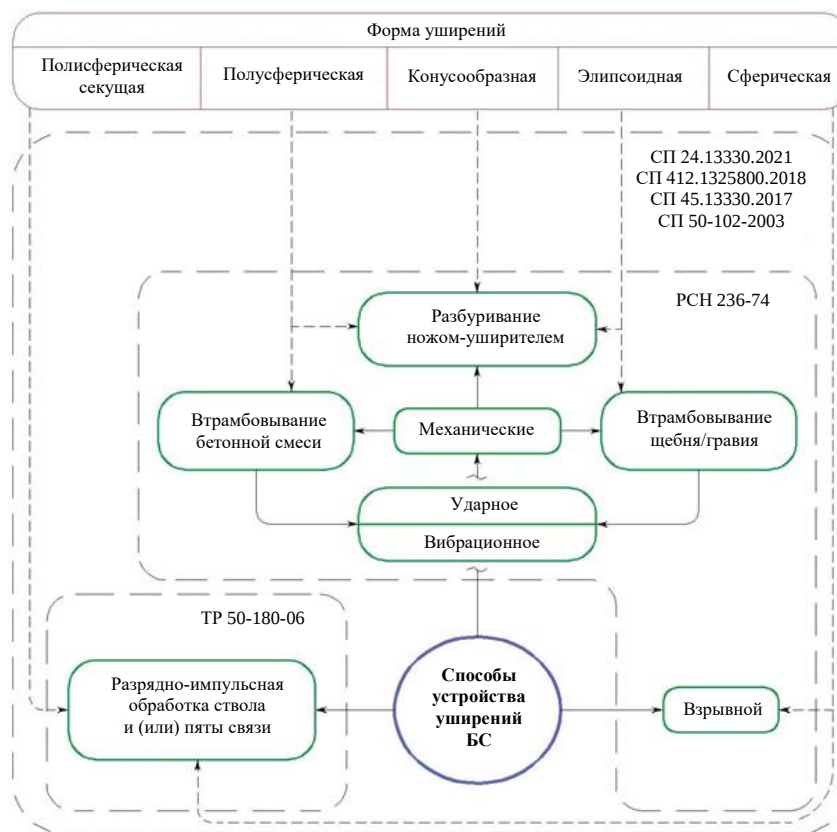


Рис. 1. Предложенная классификация и нормативное обеспечение существующих способов устройства уширений БС

Как видно из вышеизложенного, выбор оптимального способа устройства уширений БС нередко весьма сложен, и для его некоторого облегчения авторами поставлена цель уточнения областей рационального применения данных способов, в т.ч. на основе результатов оценки конкурентоспособности наиболее значимых из них для практики многоэтажного строительства в спектре условий, когда такой выбор наиболее неочевиден. Это позволило бы повысить качество проектирования свайных фундаментов и работ, а также сократить его сроки.

Материалы и методы. Анализируя справочную и нормативную документацию по исследуемой проблематике, равно как и соответствующий отечественный опыт строительства, авторы пришли к выводу, что для грамотного выбора способа устройства уширений БС в общем случае достаточно, в зависимости от назначения, уровня ответственности и конструктивных особенностей возводимого объекта, учесть совокупное влияние и приоритетность как минимум 8 локальных критериев (C_i), поровну распределенных между внешними и внутренними факторами. При этом в увязке с такими критериями удалось обобщить, дополнить и затем систематизировать известные представления о преимуществах, недостатках и параметрах областей применения рассматриваемых способов, результаты чего (таблица 1) могут быть полезны в качестве инструментария предварительного обоснования выбора соответствующих проектных решений.

Так, например, уже из этих данных нетрудно понять, что самые существенные для многоэтажного строительства недостатки имеют способы, основанные на втрамбовывании. Следует особо обратить внимание на отсутствие нормативных методик задания нужной геометрии и оценки несущей способности получаемых таким образом уширений из-за невозможности достоверно судить о характере [6] их взаимодействия с основанием. Для компенсации этой неопределенности приходится закладывать в проект повышенное значение соответствующего коэффициента запаса, но едва ли такое решение можно назвать оптимальным в случае доступности иных вариантов, особенно при возведении многофункциональных зданий и комплексов как повышенной этажности, так и высотных.

Поэтому способы, связанные с глубинным трамбованием, из последующего анализа исключены, тогда как оставшиеся (разбуривание ножом-уширителем (далее — механический), взрывной и РИО) для названной выше категории объектов при их классе КС-2 по ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» признаны наиболее значимыми (основными), выбор между ними — неочевидным, а его условия при устройстве БС небольшого диаметра и средней длины (до $0,4 \div 0,5$ и $30 \div 35$ м соответственно), висячих, в связных грунтах с $I_L = 0,3 \div 0,7$ на участках со средней плотностью застройки — наиболее конкурентными. Именно в такой, более конкретизированной, постановке методом комплексной (многокритериальной) оценки [7] исследована конкурентоспособность указанных трех способов, и в качестве обобщенного критерия ее предпочтительного уровня, учитывая существенную степень неопределенности, выбран адаптированный максимальный критерий Вальда, часто называемый «пессимистическим»:

$$W = \max_i \min_j \sum (C_{i, NC}^E; \bar{C}_{NC}^I),$$

где $C_{i, NC}^E$ и $\bar{C}_{NC}^I$ — соответственно откорректированные нормализованные значения C_i^E и аналогично преобразованные, а затем подвергнутые свертке (путем осреднения для каждого j -го способа) значения C_i^I , имеющие в рассматриваемом общем случае в целом несколько меньшую весомость.

Корректировка нормализованных величин $C_{i, N}$ для всех локальных критериев произведена с учетом их приоритетности p по формуле:

$$C_{i, NC} = 1 - (1 - C_{i, N})p,$$

тогда как процедура нормализации для критериев с установленными тенденциями возрастания (C_1^E, C_2^E, C_3^I и C_4^I) и убывания (C_1^I, C_2^I, C_3^E и C_4^E) при стремлении к оптимуму — соответственно по формулам:

$$C_{i \uparrow, N} = C_{i \uparrow} / \max_j (C_{ij \uparrow}) \text{ и } C_{i \downarrow, N} = \min_j (C_{ij \downarrow}) / C_{i \downarrow},$$

что, в свою очередь, позволило привести для удобства все задействованные критерии к единой тенденции и выразить их значения в долях единицы.

Таблица 1

Систематизация сведений о преимуществах, недостатках и параметрах областей применения исследуемых способов по критериям внешних и внутренних факторов их выбора в многоэтажном строительстве

Локальные критерии	Механические способы			Взрывной способ	РИО
	Разбуривание ножом-уширителем	Втрамбовывание бетонной смеси	Втрамбовывание щебня/гравия		
Внешних факторов	Применимость в зависимости от плотности застройки, C_1^E	Не ограничена (при наличии места для маневрирования бура МФУ)	Зависит от итогов предварительной оценки допустимости уровня шума и динамических воздействий на здания/инженерные сети ближе $20 \div 25 / 10 \div 15$ м	То же, не ближе расстояния, рассчитываемого по РСН 263-74	Ограничена необходимостью мониторинга допустимости в ходе работ скоростей амплитуд колебаний объектов ближе 10 м
	Применимость в зависимости от особенностей ИГУ участка, C_2^E	Повышенная (в приоритете/ допустим связный/ неустойчивый грунт)	Средняя (в приоритете несвязные грунты средней плотности и связанные с показателем текучести $I_L = 0,4 \div 0,5$)	Низкая (связный ($I_L \leq 0,5$) устойчивый грунт в приоритете)	Высокая (не подходит для грунтов с напорными водами, илов, торфяников, иногда скальных и крупнообломочных)
	Опасность для окружающей застройки, C_3^E	Низкая	Повышенная	±	Средняя
	Травмоопасность, C_4^E	Пониженная	Средняя	–	Повышенная
Внутренних факторов	Трудоемкость, C_1^I	Повышенная (из-за циклическости чистки бура/скважины)	Высокая, из-за больших количества и (или) длительности циклов втрамбовывания	Низкая (при шаге БС более радиуса соприкосновения)	Средняя (получение отказов часто требует циклической подачи разрядов в бетонную смесь)
	Удельная стоимость, C_2^I	Средняя	Повышенная (из-за большой мощности ведущей машины)	Низкая	Повышенная (из-за дороговизны материалов и механизации работ)
	Возможность выбора геометрии/уширения, C_3^I	Есть (задаются форма и размеры)	Нет (достоверная методика отсутствует)	Есть (задается только диаметр)	Есть, в любой части БС (задаются форма и диаметр)
	Возможность оценки и гарантии несущей способности, C_4^I	Есть (методикой не учтена вариативность формы уширения)	–	±	–
Сопутствуют повышению несущей способности из-за уплотнения грунта вблизи уширений					
Примечание: «+» и «–» — соответственно преимуществу и недостатку рассмотренных способов, их ранжирование между собой дано по 5 уровням					

Средние трудозатраты и стоимость устройства уширений БС интересующими способами определены в универсальных удельных величинах (из расчета на 1 м³ свай соответствующего исполнения) на основе анализа сборников ЕНиР, ГЭСН, типовой организационно-технологической проектной документации, а также общедоступных производственных данных и расценок в составе коммерческих предложений подрядных организаций г. Москвы и Московской области, занимающихся проектированием и производством рассматриваемых свайных работ. В то же время методом экспертных оценок на основе средневзвешенных результатов дистанционного опроса инженерно-технических работников этих фирм установлены величины p и оцифрованы все прочие (неисчисляемые) критерии C_i в диапазонах 0÷1 и 0÷10 соответственно.

Результаты исследования. Полученные значения исчисляемых критериев (C_1^I и C_2^I) для большей наглядности представлены графически в виде столбчатых диаграмм (рис. 2). Аналогично в виде радиальных диаграмм (рис. 3) — комплексное влияние этих и прочих исследованных критериев на выбор наиболее конкурентоспособного способа устройства уширений БС с учетом введенных авторами ограничений, что справедливо при установленных величинах p , составивших 1,0; 0,7; 0,5; 0,3; 0,8; 1,0; 0,4 и 0,6 для критериев C_1^E , C_2^E , C_3^E , C_4^E , C_1^I , C_2^I , C_3^I и C_4^I соответственно.

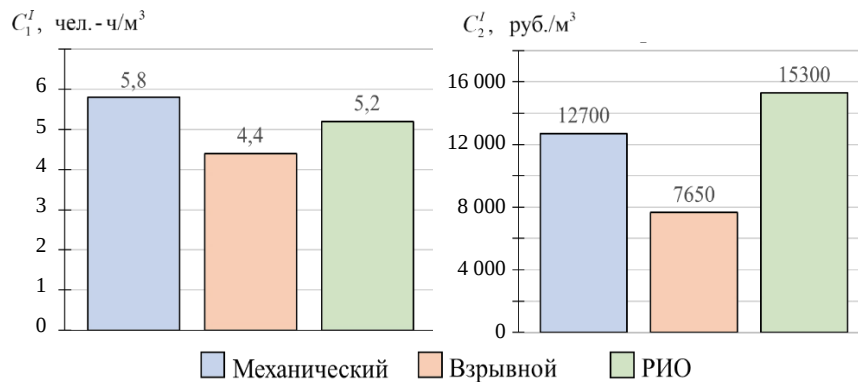


Рис. 2. Сопоставление трудоемкости и удельной стоимости реализации основных способов устройства уширений БС

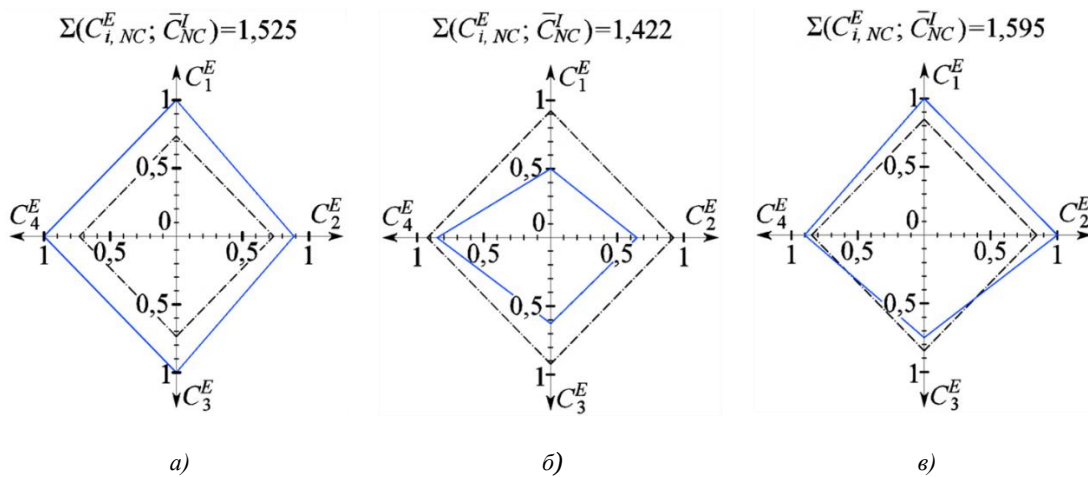


Рис. 3. Влияние внешних и внутренних факторов ($C_{i,NC}^E$ и $\bar{C}_{NC}^I$ — сплошная синяя и прерывистая черная линии соответственно) на конкурентоспособность исследованных способов: а — механический; б — взрывной; в — РИО

Таким образом, из рис. 3 видно, что значение W в рассмотренных обобщенных условиях достигается при устройстве уширений по способу РИО, а значит именно его и следует в подобных случаях рекомендовать к применению в первую очередь. Однако в конкурентоспособности ему механический способ, а вслед за ним и взрывной (по ниспадающей примерно с тем же шагом, равным в среднем $\sim 0,09$), уступают достаточно мало, что, с одной стороны, подтверждает правильность выбора условий решенной оптимизационной задачи, а с другой стороны, свидетельствует о высокой на сегодняшний день степени взаимозаменяемости исследованных способов, а также определяющей роли при их окончательном выборе дополнительных критериев и (или) прочих условий, более детально и точно конкретизирующих особенности реализуемого проекта. При этом в зависимости от их сочетания и уровня детализации может даже

потребуется некоторая корректировка примененной расчетной методики, например, в части свертки значений критериев не внутренних, а внешних факторов.

Обсуждение и заключение. На основе анализа полученных результатов и сопоставления их с опытом современного многоэтажного строительства можно сделать вывод о целесообразности более широкого применения БС с уширениями, полученными путем РИО. Главным препятствующим этому фактором является повышенная себестоимость таких свай (в среднем примерно на 20 % больше, чем при использовании механического способа) из-за дороговизны бетона, отличающегося в данном случае большим расходом цемента и модификаторов, а также высокой стоимости и энергоемкости электровзрывного оборудования. Однако следует понимать, что поскольку РИО гораздо чаще производится при учетном в исследовании буроинъекционном исполнении БС, чем при традиционном [8, 9] буронабивном, то в целом (т.е. из расчета на весь объем работ) как по трудо-, так и по материалоемкости соответствующие конструктивно-технологические решения являются гарантированно выгоднее, чем применение существенно больших по диаметру буронабивных свай с разбуриваемыми уширениями. Последние, ко всему прочему, весьма сложны по изготовлению в неустойчивых, в т.ч. водонасыщенных, грунтах из-за необходимости постоянно работать под защитой глинистого раствора и начинать бетонирование не позже 2÷4 часов после промывки уширений, что вынуждает выполнять все основные процессы, включая устройство скважин и армирование, последовательным методом.

Кроме того, следует обратить внимание на характерные для РИО, в отличие от прочих исследованных способов, возможность и простоту операционного контроля и корректировки качества свайных работ в части обеспечения заданных проектом геометрии и несущей способности свай с помощью гибкой методики обработки забоя до «отказа». Механический способ такой возможности, по сути, лишен, а номенклатура и число типоразмеров буров, выпускаемых промышленностью довольно ограничены. Взрывной же способ в основном предполагает мгновенное образование уширений, после чего что-либо исправить на практике зачастую уже едва ли возможно. Повторное камуфлетирование значительно увеличивает значения критериев C_1^I и C_2^I , а групповое и кольцевое и вовсе целесообразно рассматривать лишь при изготовлении БС диаметром более 1 м.

В то же время нельзя не отметить, что как субъективно, так и особенно на нормативном уровне взрывной способ на сегодняшний день сильно недооценен. Например, уже разработаны и активно продвигаются его современные усовершенствованные варианты, учтенные в данном исследовании, основанные на выполнении микровзрывов под слоем самоуплотняющейся бетонной смеси, что весьма эффективно при устройстве БС небольших диаметров (причем даже существенно менее 0,4 м, вопреки РСН 263-74) в более стесненных, чем допускалось ранее, условиях, т.к. по степени опасности для окружающей застройки и задействованного персонала это вполне сопоставимо с процессами забивки и вибропогружения готовых свай. Столь существенное расширение диапазона применимости взрывного способа достигнуто в немалой степени благодаря исключению зависания смеси и пробкообразования в бетонолитной трубе, с чем также ранее нередко приходилось сталкиваться на практике. Поэтому некоторая большая конкретизация условий решенной задачи вполне могла бы вывести в лидеры взрывной способ. Однако здесь полезно иметь в виду, что чем меньше диаметр БС, тем более неизбежен и их малый шаг [10], и если его величина не превысит радиус сотрясения, то из-за необходимости камуфлетирования при этом смежных свай не ранее чем по достижению бетоном соседних 70 % прочности могут резко возрасти трудозатраты. Тем не менее прочие вышеуказанные обстоятельства свидетельствуют о необходимости соответствующего обновления нормативного обеспечения взрывного способа.

Результаты и глубина выполненного исследования также вполне позволяют прогнозировать возможные изменения решения рассмотренной задачи не только при уточнении, но и при выходе значений проектных параметров и местных условий строительства за установленные авторами пределы. Так, при возведении многоэтажных зданий на участках с пониженной и тем более низкой плотностью застройки и (или) грунтами с $I_L < 0,3$ в уровне пят БС, в т.ч. диаметром свыше 0,5 м, самым конкурентоспособным способом устройства их уширений был бы взрывной.

В то же время при проектировании свай-стоек либо диаметрах или длине БС более 0,5 и 35 м соответственно, равно как и при классе возводимых объектов КС-3 по ГОСТ 27751–2014 (вопреки ТР 50-180-06), наибольшей конкурентоспособностью из исследованных способов обладал бы механический. Ведь с одной стороны, относительно высокая несущая способность свай с уширениями, полученными путем РИО, обусловлена в основном их множественностью и сложной полисферической формой — это выгодно для висячих свай, тогда как для свай-стоек особой значимости не имеет. С другой стороны, увеличенные диаметр и длина БС исключают возможность работы в ресурсоэффективном буроинъекционном исполнении и тем самым сильно сказываются не только на росте значений C_2^I , но и на самой возможности электровзрывной проработки соответствующего забоя.

Наконец, анализ современного опыта многоэтажного строительства показывает, что у БС с РИО пяты и ствола (характерного его малого диаметра) несущая способность по материалу сваи значительно выше, чем по грунту, что, хоть и допустимо, может весьма негативно сказываться на надежности и долговечности плитно-свайных фундаментов зданий повышенного уровня ответственности, в т.ч. высотных и уникальных, срок службы которых, как известно, должен быть не менее 100 лет. Именно поэтому область применения ТР 50-180-06 нуждается в корректировке.

Изложенные выше соображения уточняют области рационального применения исследованных авторами способов, в связи с чем очевидно, что применение полученных результатов в современной практике строительного проектирования позволит в ряде случаев уже на довольно ранних его этапах в короткие сроки, без проведения трудоемкого технико-экономического анализа, принимать наиболее конкурентоспособные и обоснованные варианты устройства уширений БС в составе фундаментов многоэтажных зданий. Соответствующая же актуализация изученной нормативной, методической и типовой проектной документации может не только этому значительно поспособствовать, но и сильно повысить привлекательность рассмотренных конструктивно-технологических решений.

Список литературы / References

1. Бородин Е.Д., Кузнецова Е.В. Устройство буронабивных свай в условиях Оренбуржья в зимний период. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2022;120(6):12–17. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.120.6.003>
Borodina ED, Kuznetsova EV. Bored Piles Structure in the OrenBurg Region in Winter. *International Research Journal*. 2022;120(6):12–17. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.120.6.003> (In Russ.).
2. Готман А.Л., Гавриков М.Д. Исследование особенностей работы вертикально нагруженных длинномерных буронабивных свай и их расчет. *Construction and Geotechnics*. 2021;12(3):72–83. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2021.3.08>
Gotman AL, Gavrikov MD. Calculation of a Large-Size Bored Pile on a Vertical Load. *Construction and Geotechnics*. 2021;12(3):72–83. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2021.3.08> (In Russ.).
3. Соснин А.В., Абросов А.А. Влияние точности определения перемещений буронабивных свай на результаты анализа их реакции от действия горизонтальных нагрузок. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2022;22(4):15–32. URL: <https://clck.ru/3AHPns> (дата обращения: 01.02.2024).
Sosnin AV, Abrosov AA. Influence of Displacements Determination Accuracy of Bored Piles on Analysis Results of Their Response under Lateral Loads. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. "Construction Engineering and Architecture"*. 2022;22(4):15–32. URL: <https://clck.ru/3AHPns> (accessed: 01.02.2024). (In Russ.).
4. Купчикова Н.В. О факторах, влияющих на надежность свайных фундаментов с уширениями. *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. 2021;37(3):54–61. <https://doi.org/10.52684/2312-3702-2021-37-3-54-61>
Kupchikova NV. On the Factors Affecting the Reliability of Pile Foundations with Widening. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. 2021;37(3):54–61. <https://doi.org/10.52684/2312-3702-2021-37-3-54-61> (In Russ.).
5. Ушакова Е.А. Применение детерминистических и стохастических моделей для анализа организационно-технологической последовательности возведения буронабивных свай. *Современное строительство и архитектура*. 2022;27(3):29–34. <https://doi.org/10.18454/mca.2022.27.4>
Ushakova EA. Application of Deterministic and Stochastic Models for the Analysis of the Organizational and Technological Sequence of the Construction of Bored Piles. *Modern Construction and Architecture*. 2022;27(3):29–34. <https://doi.org/10.18454/mca.2022.27.4> (In Russ.).
6. Картопольцев В.М., Картопольцев А.В., Алексеев А.А. К вопросу совершенствования штамповых испытаний грунта в основании буронабивных свай при строительстве опор мостов. *Вестник ТГАСУ*. 2023;25(2):207–222. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2023-25-2-207-222>
Kartopoltsev VM, Kartopoltsev AV, Alekseev AA. Improvement of Soil Plate-Bearing Test of Drilled Pile Foot during Bridge Support Construction. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta (Journal of Construction and Architecture)*. 2023;25(2):207–222. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2023-25-2-207-222> (In Russ.).
7. Жолобов А.Л., Жолобова Е.А. Комплексная оценка конкурентоспособности строительных технологий. *Инженерный вестник Дона*. 2013;2. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1705> (дата обращения: 06.02.2024).
Zholobov AL, Zholobova EA. Complex Evaluation Competitiveness of Construction Technologies. *Engineering Journal of Don*. 2013;2. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1705> (accessed: 06.02.2024). (In Russ.).
8. Снежков Д.Ю., Леонович С.Н., Будревич Н.А. Однородность ствола буронабивных свай по результатам четырехканального межскважинного ультразвукового мониторинга. *Наука и техника*. 2023;22(3):216–223. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-3-216-223>

Snezhkov DYu, Leonovich SN, Budrevich NA. Homogeneity of Bored Piles According to Results of Four-Channel Cross-Well Ultrasonic Monitoring. *Nauka i tehnika (Science & Technique)*. 2023;22(3):216–223. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-3-216-223> (In Russ.).

9. Попов Д.В., Савинова Е.В. Метод расчета устойчивости стенок буровой скважины при устройстве буронабивных свай. *Construction and Geotechnics*. 2020;11(1):62–67. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2020.1.06>

Popov DV, Savinova EV. Method for Calculating the Stability of the Walls of a Drilling Well when Installing Bored Piles. *Construction and Geotechnics*. 2020;11(1):62–67. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2020.1.06> (In Russ.).

10. Yang T, Men Y, Rutherford CJ, Zhang Z. Static and Dynamic Response of Micropiles Used For Reinforcing Slopes. *Applied Sciences*. 2021;11(14):6341. <https://doi.org/10.3390/app11146341>

Об авторах:

Османов Сергей Гарунович, доцент кафедры «Технология строительного производства» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-9151-1111), osmanov.tsp@ya.ru

Иняхин Александр Эдуардович, студент кафедры «Технология строительного производства» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-9151-1111), alexandrinyahin@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

С.Г. Османов: научное руководство, формирование основной концепции, цели, задач исследования и его общее планирование, участие в реализации исследования, анализ его результатов, доработка и развитие выводов, глубокое редактирование текста, корректировка оформления рукописи.

А.Э. Иняхин: участие в планировании исследования и реализация его основных этапов, проведение расчетов, обработка и анализ полученных результатов, формулировка выводов, подготовка иллюстраций, первоначального текста и общее оформление рукописи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила в редакцию 05.04.2024

Поступила после рецензирования 23.04.2024

Принята к публикации 10.05.2024

About the Authors:

Sergey G. Osmanov, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Construction Operation Technology Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-9151-1111), osmanov.tsp@ya.ru

Alexander E. Inyakhin, Student of the Construction Operation Technology Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-9151-1111), alexandrinyahin@gmail.com

Claimed Contributorship:

Osmanov SG: scientific supervision, formulating the main concept, aim and objectives of the study and its general planning, participation in the research implementation, analysis of the research results, fine-tuning and evolving the conclusions, deep text editing, correcting the format of the manuscript.

Inyakhin AE: participating in research planning and carrying out its main stages, making the calculations, processing and analysing the results obtained, formulating the conclusions, preparing the illustrations, draft of the text and general formatting of the manuscript.

Conflict of Interest Statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Received 05.04.2024

Revised 23.04.2024

Accepted 10.05.2024