



CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 11, № 3, 2020

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2020.3.02

УДК 624.154.4

ДИСТАНЦИОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВДАВЛИВАНИЯ СВАЙ

А.Н. Гайдо, А.Г. Погода, Л.М. Колчеданцев, Д.В. Вершинин

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 20 апреля 2020

Принята: 09 июня 2020

Опубликована: 30 сентября 2020

Ключевые слова:

сваи, вдавливание, информационная модель, контроль, фундаменты, автоматизация.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены результаты исследований в области разработки системы, которая в режиме реального времени позволяет отображать и дистанционно передавать основные технологические параметры вдавливания свай заводского изготовления (значения усилий вдавливания, количество и глубина погруженных свай, их смещения относительно проектного положения). В отличие от существующих аналогов, она позволяет дополнительно осуществлять наведение установки вдавливания на точки погружения свай без инструментального выноса их положения на местности. Это обеспечивается за счет ориентирования установки с помощью системы глобальной спутниковой навигации. Положение свай задается в автоматическом режиме посредством расчета их координат, получаемых из проекта в формате dxf, предварительно введенного в память бортового компьютера. Представлены составные элементы такой системы, а также интерфейс настройки и отображения технологических параметров. Основные технологические показатели процесса в дистанционном режиме могут отображаться на дисплее любого мобильного устройства.

Показано, что стоимость такой системы составляет 8 % от стоимости самой установки вдавливания свай. Установлено, что она окупается за счет сокращения затрат при последующем усилении конструкций ростверков. Эти дополнительные работы исключаются оперативным устранением выявленных отклонений, а также повышением точности установки свай в проектное положение.

Представлен алгоритм выполнения работ при настройке системы, получении и передаче соответствующей информации. Показано, какие участники на разных этапах будут задействованы в описанных процессах.

В заключение приведены различные показатели эффективности внедрения такой системы. На основании результатов хронометража доказано, что ее использование позволяет сократить продолжительность и трудозатраты как производства работ, так и составления исполнительной документации. К тому же полученная информация может быть интегрирована в информационную модель здания, что позволит анализировать показатели эксплуатационной надежности свайных фундаментов.

© ПНИПУ

© Гайдо Антон Николаевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: gaidoan@mail.ru.

Погода Анна Григорьевна – магистрант, e-mail: pogoda.ann@gmail.com.

Колчеданцев Леонид Михайлович – доктор технических наук, профессор, e-mail: orgst@spbgasu.ru.

Вершинин Дмитрий Владимирович – аспирант, e-mail: peter@petrov.ru.

Anton N. Gaido – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: gaidoan@mail.ru.

Anna G. Pogoda – Master Student, e-mail: pogoda.ann@gmail.com.

Leonid M. Kolchedantsev – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: orgst@spbgasu.ru.

Dmitriy V. Vershinin – Postgraduate Student, e-mail: vershinin.dm@ya.ru.

REMOTE CONTROL SYSTEM FOR TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF PRESSED PILES

A.N. Gaido, A.G. Pogoda, L.M. Kolchedantsev, D.V. Vershinin

¹Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 20 April 2020
Accepted: 09 June 2020
Published: 30 September 2020

Keywords:

piles, indentation, information model,
control, foundations, automation.

ABSTRACT

The article discusses the results of research in the field of developing a system that in real time allows you to display and remotely transmit the main technological parameters of indentation of factory-made piles (values of indentation forces, number and depth of immersed piles, their displacement relative to the design position). Unlike existing analogues, it allows you to additionally guide the installation of the indentation on the dive points of piles without instrumental removal of their position on the ground. This is done by orienting the installation through a global satellite navigation system. And the position of the piles is set automatically by calculating their coordinates obtained from the project in dxf format, previously entered into the memory of the on-board computer. The constituent elements of such a system are presented, as well as the interface for setting up and displaying technological parameters. The main technological indicators of the process in remote mode can be displayed on the display of any mobile device.

It is shown that the cost of such a system is 8 % of the cost of the installation of the indentation of piles. It has been established that it pays off by reducing costs with the subsequent strengthening of grillage structures. These additional works are eliminated due to the prompt elimination of identified deviations, as well as improving the accuracy of installation of piles in the design position.

The article presents an algorithm for performing work when setting up the system, receiving and transmitting relevant information. It is shown which participants at different stages will be involved in these processes.

In conclusion, various performance indicators for the implementation of such a system are presented. Based on the results of the timing, it is proved that its use allows to reduce the duration and labor costs of both the production of works and the preparation of executive documentation. In addition, the information obtained can be integrated into the building information model, which will allow analyzing the operational reliability indicators of pile foundations.

© PNRPU

Введение

В условиях строительства в городской черте при устройстве свайных фундаментов следует применять технологии, характеризующиеся минимальными воздействиями на конструкции соседних зданий и обеспечением качества стволов свай в различных инженерно-геологических условиях. Для решения таких задач эффективна технология вдавливания свай заводского изготовления [1–4].

Для ее рационального применения в ходе производства работ следует контролировать и оперативно передавать в службы технического и авторского надзора различные показатели: значения отклонений от проектного положения, количество и глубину погруженных свай, значения конечных усилий вдавливания.

В настоящее время оформление такой информации ведут преимущественно на бумажных носителях. Это, в свою очередь, приводит к существенной задержке сроков при ее подготовке и передаче, что препятствует оперативному принятию решений по корректировке проектной документации. Такая необходимость возникает при выявлении в ходе работ отклонений свай в плановом положении, снижении значений их несущей способности и т.п.

Для решения этой проблемы следует разрабатывать методики дистанционного контроля и передачи данных, содержащих значения технологических параметров для их последующего включения в единую информационную модель здания [5].

Для этого необходимо выполнить следующее:

1. Оснастить установки вдавливания соответствующими системами контроля и передачи данных, в том числе для автоматизации процесса подготовки исполнительной документации.

2. Организовать обучение персонала по работе с такими системами, а также по расшифровке и анализу получаемых данных.

3. Ввести в специализированных организациях практику первичного анализа технологических параметров до их передачи в проектные организации.

В этой связи был выполнен анализ известных научных работ, в которых исследованы указанные вопросы в области создания и обоснования систем оперативного контроля и передачи технологических параметров при производстве работ нулевого цикла. Первой такой системой в России были оснащены установки вдавливания УСВ-120М, эксплуатируемые в Санкт-Петербурге (1992 г.). Значения параметров вдавливания, получаемые по показаниям давления в гидравлической системе, отображались чернилами на диаграммной ленте хода погружения свай. Из-за сложности в эксплуатации дальнейшее развитие эта система не получила.

В работе А.И. Полищука и С.С. Нуйкина (2014, 2018) представлены результаты исследований по фиксации, сохранению и анализу значений усилий вдавливания посредством прибора «Измеритель-1» [6, 7]. Приведен пример анализа получаемых значений с учетом характеристик геологического разреза. Однако решений по дистанционной передаче всех технологических показателей процесса не представлено.

В статье С.В. Юшубе и В.А. Сулима (2015) приведены результаты исследований по контролю несущей способности свай по известным методикам [8]. Способы контроля таких значений для комбинированных свай вдавливания описаны в статье В.В. Крутова и др. (2016) [9]. В работе А.В. Савинова (2006) описан опыт погружения и испытания свай сечения 250×250 и 300×300 мм [10]. Контроль значений технологических параметров во всех приведенных источниках выполнен традиционными методами с их последующей камеральной обработкой.

В работах зарубежных авторов W. Chen, J.Y. Shi, W.B. Zhao (2000) A.D. Deeks, D.J. White, M.D. Bolton (2005), К.-Р. Mahutka, E. Koenig, J. Grabe (2006) приведены результаты исследований по определению параметров напряженно-деформированного состояния грунта и перераспределению порового давления при вдавливании свай, в также численному моделированию этого процесса [11–15]. Во всех указанных работах информацию о значениях технологических параметров получали прямыми измерениями.

В работе А.Н. Гайдо, А.Г. Погоды (2019) приведены теоретические подходы к созданию систем контроля и анализа различных технологических параметров при устройстве свайных фундаментов [5]. Отмечается необходимость их учета в составе единой цифровой модели строительства.

Основная часть

Из представленного анализа следует практически важный вывод о том, что сформулированная выше проблема малоизучена в современных работах, несмотря на ее актуальность и практическую значимость.

В этой связи на кафедре «Технологии строительного производства» СПбГАСУ совместно со специалистами ООО «Вертикаль» и компании ООО «ХИТС» разработана и прохо-

дит апробацию система программно-аппаратного комплекса (далее – система), которая в режиме реального времени позволяет фиксировать, отображать и передавать соответствующую информацию о технологических параметрах всем заинтересованным участникам строительства. При этом такая система позволяет контролировать не только значения усилий вдавливания по глубине погружения свай, но и их положение в плане. Кроме того, имеется возможность без дополнительной геодезической выверки положения установки выполнять ее выверку на местности.

Принцип работы системы заключается в вычислении местоположения и ориентации установки в пространстве на основании данных, получаемых от систем глобальной спутниковой навигации и систем базовых станций. Выполняется автоматическая корректировка и их привязка к геодезической разбивочной основе объекта строительства. Данные о положении установки вдавливания относительно проектного положения свай на местности отображаются на мониторе бортового компьютера (БК), установленного в кабине машиниста.

На рис. 1 представлена схема размещения элементов системы на установке вдавливания.

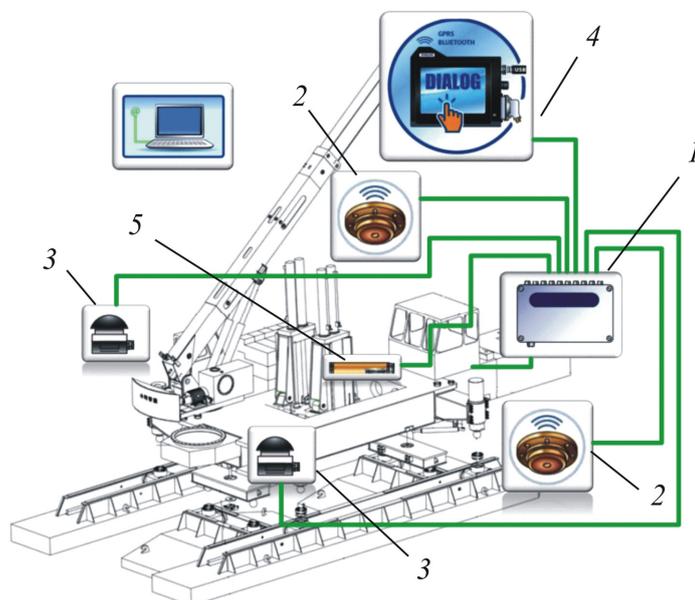


Рис. 1. Схема размещения элементов системы программно-аппаратного комплекса на установке вдавливания (использовано оборудование фирмы HITS Russia Inc): 1 – аппаратный блок; 2, 3 – соответственно антенны ГНСС и RTK; 4 – контроллер; 5 – датчик положения свай
Fig. 1. Layout of the elements of the hardware-software complex at the indentation installations (equipment from HITS Russia Inc is used): 1 – hardware unit; 2, 3 – respectively GNSS and RTK antennas; 4 – controller; 5 – pile position sensor

К аппаратному блоку 1 подсоединены антенны глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) 2 и получения плановых координат (RTK – *real time kinematic*) 3, а также контроллер 4 и датчик положения свай 5. Антенны ГНСС и RTK закреплены на корпусе установки, а контроллер 4 устанавливается внутри кабины для удобства его использования.

До начала работ в память БК заносят координаты планового положения свай в автоматическом режиме посредством загрузки файла проекта формата dxf с положением свай. Его необходимо предварительно получить от проектной организации. Это позволяет выполнять погружение свай без предварительной геодезической разбивки их положения на местности, только на основе информации, получаемой машинистом посредством монитора БК (рис. 2).

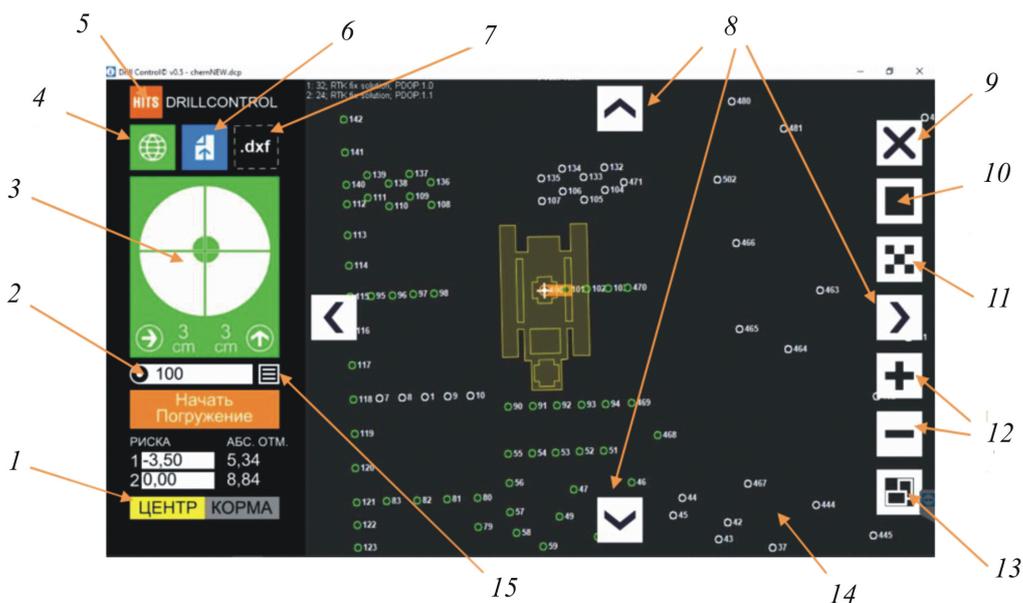


Рис. 2. Показания, отображаемые на мониторе БК при погружении свай: 1 – выбор вдавливающего узла установки; 2 – выбор номера сваи; 3 – положение центра вдавливающего узла при его наведении на сваю; 4 – индикация активности сигнала со спутников; 5–7 – соответственно показания выполнения экспорта данных, загрузки и выбора файла проекта; 8–13 – индикаторы отображения рабочего пространства проекта – соответственно навигации, завершения работ, центрирования, масштабирования; 14 – положение свайного поля; 15 – журнал работ, содержащий основные показатели технологического процесса

Fig. 2. Indications displayed on the monitor when piling: 1 – selection of the pressing unit; 2 – selection of the number of piles; 3 – position of the center of the pressing unit when pointing to the pile; 4 – indication of signal activity from satellites; 5–7 – respectively, indications of export data, loading and selecting a project file; 8–13 – indicators for displaying the project workspace – navigation, completion, centering, scaling, respectively; 14 – position of the pile field; 15 – work log containing based indicators Tehnological process

С учетом показаний, представленных на рис. 2, машинист выполняет наведение центра вдавливающего узла на плановое положение свай. Это осуществляется в режиме реального времени в соответствии с цветовой индикацией, которая отображает погружаемые элементы. Кроме того, все показатели процесса, включая отклонения свай от положения в плане, сохраняются в памяти БК и формируются в разделе «Журнал работ» для дальнейшего анализа.

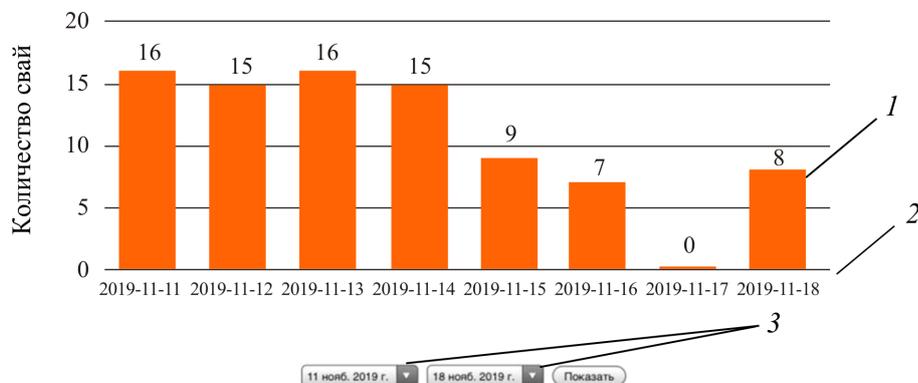
Доступ к этим данным могут получить все заинтересованные участники строительства – представители проектировщиков, заказчика, инженеры производственных отделов и т.п.

Так, на рис. 3 представлен графический режим отображения информации о фактически погруженных сваях за определенный период. Доступ к ним получают посредством приложения, устанавливаемого на любом мобильном устройстве.

Анализ данных, представленных на рис. 3, позволяет контролировать количество погруженных свай, а также наличие их отклонений от проектного положения. Основные показатели эффективности внедрения рассмотренной системы приведены в таблице.

Анализ данных, приведенных в таблице, свидетельствует об эффективности внедрения рассматриваемой системы как при производстве работ, так и при анализе технологических параметров. Стоимость монтажа такого оборудования составляет примерно 1 400 000 руб., или 8 % от стоимости установки вдавливания. Эти затраты окупаются при

реализации 2–3 объектов, так как при традиционной практике инструментального выноса положения свай на местности наблюдают их отклонения в плановом положении. Это вызвано различными факторами, включая смещения положения геодезических знаков на местности [2–4, 16].



Блок № 0
объекта К7

Количество свай		182
Количество смонтированных свай		137
Количество не смонтированных свай		45
Количество свай, смонтированных в допуске		133
Количество свай, смонтированных не в допуске		4

Рис. 3. Интерфейс мобильного приложения, позволяющего контролировать основные параметры работ: 1 – количество свай; 2, 3 – дата производства работ
 Fig. 3. The interface of the mobile application that allows you to control the main parameters of the work: 1 – the number of piles; 2, 3 – the date of work

Показатели эффективности внедрения системы автоматизированного контроля качества параметров вдавливания свай

Performance indicators for the implementation of an automated quality control system for piling

Наименование показателя, операции	Показатели процесса контроля качества до и после внедрения системы	
	до	после
Обеспечение соответствия проектному положению свай	инструментально при участии геодезиста	в автоматическом режиме
Передача информации о сменной выработке	вербально производителем работ	то же
Продолжительность наведения установки на точку вдавливания свай, мин	15–20	5–10
Трудозатраты при подготовке исполнительной документации	100 % (0,044–0,006 чел.-час/свая)	60–70 %
Время передачи исполнительной документации представителям авторского надзора	1–7 сут	1–4 ч
Возможность оперативного контроля несущей способности сваи по результатам усилия вдавливания	расчет выполняется в камеральных условиях на основании значений усилий вдавливания	имеется – в автоматическом режиме с использованием БК

Для компенсации таких отклонений при устройстве ростверков выполняют их уширения или погружают дополнительные сваи – дублеры. При этом возникают дополнительные затраты, которые в зависимости от конструктивных особенностей фундаментов могут составлять от 500 000 до 1 700 000 руб. Этим затратам можно избежать при использовании рассматриваемой системы, позволяющей повысить точность установки свай в проектное положение.

Дополнительно к указанному, следует учитывать факторы повышения производительности работ, которые наблюдаются при реализации предлагаемой системы. Так, на рис. 4 представлена диаграмма распределения продолжительности технологических операций при традиционных режимах вдавливания секционных свай длиной 18 м, сечения 400×400 мм.

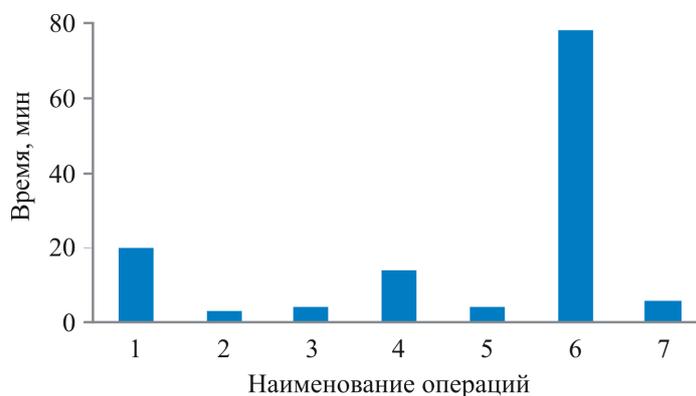


Рис. 4. Продолжительность технологических операций по вдавливанию свай: 1 – наведение установки на точку вдавливания; 2 – строповка свай; 3, 5 – подъем и перемещение соответственно нижней и верхней секций свай в зажимное устройство; 4, 7 – вдавливание соответственно нижней и верхней секций свай; 6 – устройство и изоляция сварного стыка секций свай

Fig. 4. Duration of technological operations for piling the piles: 1 – pointing the installation to the punching point; 2 – piling the piles; 3, 5 – lifting and moving the lower and upper sections of the piles respectively in the clamping device; 4, 7 – indentation of the lower and upper sections of the pile, respectively; 6 – device and insulation of the welded joint sections of piles

Как видно из рис. 4, продолжительность операций по традиционному наведению установки на точки вдавливания составляет 20 мин, или 15 % общей продолжительности процесса вдавливания свай. В предлагаемом автоматическом режиме продолжительность этой операции сокращается более чем в 2 раза, что позволяет увеличить сменную выработку на одну-две дополнительные сваи в смену.

На основании накопленного опыта разработана организационно-технологическая схема выполнения работ с использованием рассматриваемой системы (рис. 5).

Представленный на рис. 5 алгоритм позволяет определить состав исполнителей, задействованных в различных операциях по обработке и передаче соответствующей информации, а также наладке самой системы [17].

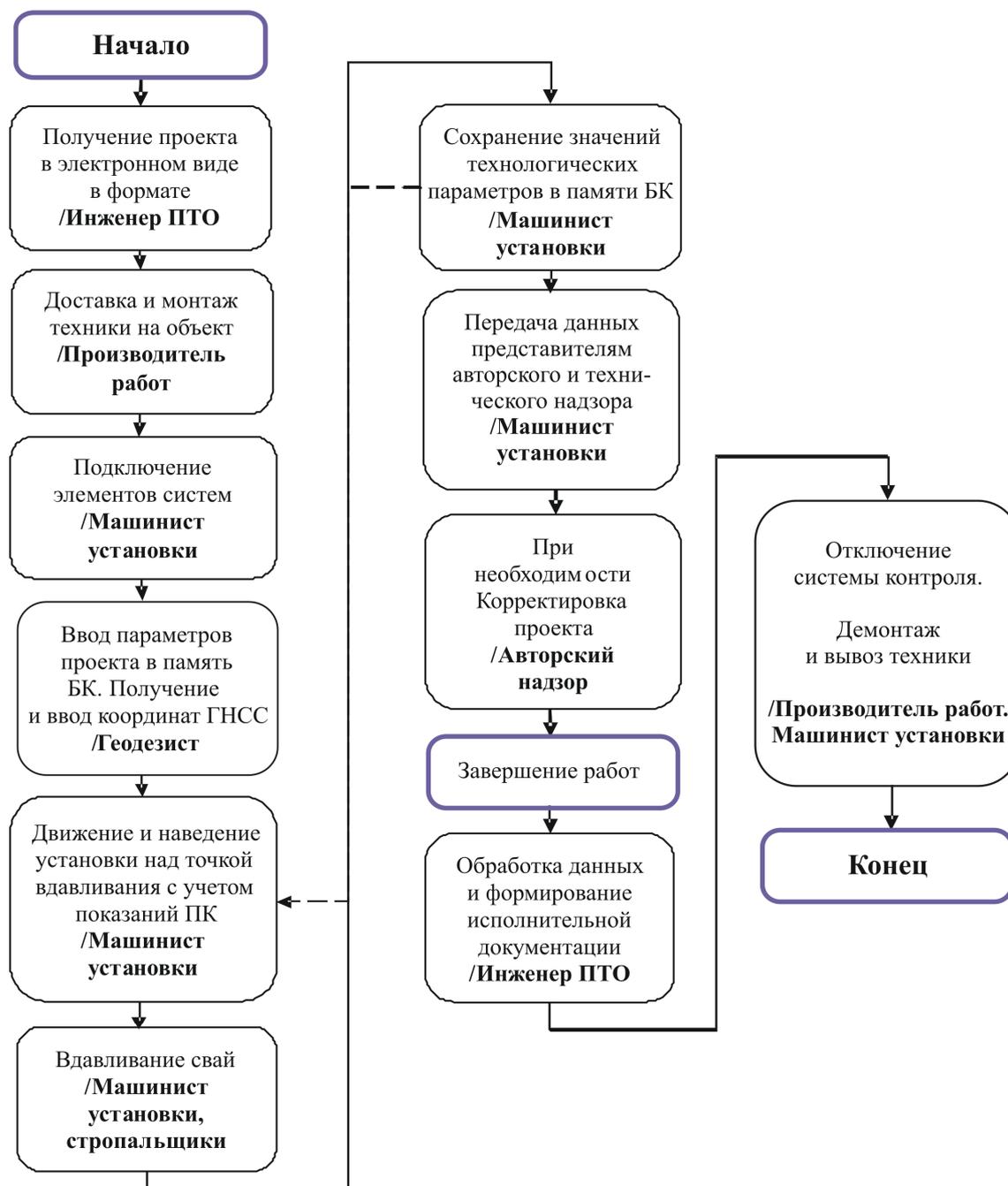


Рис. 5. Организационно-технологическая схема контроля и дистанционной передачи значений технологических параметров вдавливания свай

Fig. 5. Organizational and technological scheme of monitoring and remote transmission of values of technological parameters of piling

Заклучение

В статье представлены результаты опытной апробации системы контроля основных технологических параметров процесса вдавливания свай. При этом, в отличие от имеющихся аналогов, она позволяет не только выполнять контроль и анализ значений усилий вдавливания, но и осуществлять выверку установки на точке погружения свай. Представлен алгоритм организационно-технологических мероприятий по контролю, хранению и дистанционной передаче значений технологических параметров. Это позволяет оперативно

принимать решения при необходимой корректировке проекта и сокращать дополнительные затраты на усиление конструкций ростверков.

Перспективы развития представленных в статье результатов авторы видят в следующем:

– создании режима отображения различных технологических показателей в едином графическом визуальном интерфейсе;

– разработке алгоритма автоматической передачи данных и формировании исполнительной документации в виде специализированных журналов работ, ведомостей, актов на скрытые работы и т.п.;

– составлении и согласовании регламента передачи указанной документации заказчикам в электронном виде без ее дублирования на бумажных носителях.

Авторы статьи выражают благодарность начальнику управления нулевых работ ООО «Вертикаль», заведующему базовой кафедрой ТСП СПбГАСУ Я.В. Иванову за значимые замечания и советы при проведении исследований и оформлении данной статьи.

Библиографический список

1. Гайдо А.Н. Пути совершенствования технологических решений устройства свайных фундаментов жилых зданий в условиях городской застройки // Жилищное строительство. – 2015. – № 9. – С. 12–15.

2. Геотехнический мониторинг жилого дома / А.Б. Пономарев, А.В. Захаров, С.А. Сазонова, С.В. Калошина, М.А. Безгодов, Р.И. Шенкман, Д.Г. Золотозубов // Жилищное строительство. – 2015. – № 9. – С. 41–45.

3. Мангушев Р.А., Осокин А.И., Сотников С.Н. Геотехника Санкт-Петербурга. Опыт строительства на слабых грунтах. – М.: Изд-во АСВ, 2018. – 386 с.

4. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. – СПб.: Изд-во «Стройиздат Северо-Запад», 2010. – 551 с.

5. Гайдо А.Н., Погода А.Г. Особенности построения цифровых информационных моделей объектов на стадии строительства нулевого цикла // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: сб. междунар. конф. – 2019. – № 2. – С. 64–69. DOI: 10.23968/VIMAS.2019.011

6. Полищук А.И., Нуйкин С.С. Совершенствование способа устройства свай вдавливанием на площадках городской застройки // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 3. – С. 53–60.

7. Полищук А.И., Нуйкин С.С. Экспериментальные исследования усилия вдавливания железобетонных свай заводского изготовления в глинистые грунты // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2018. – Т. 9, № 4. – С. 58–68. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.4.06

8. Юшубе С.В., Сулима В.А. Контроль несущей способности свай, погружаемых методом вдавливания в глинистые грунты // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 5 (52). – С. 105–109.

9. Крутов И.К. Исследование вдавливаемых железобетонных свай с уширенным основанием // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 10. – С. 42–45.

10. Савинов А.В. Повышение эффективности применения свай, погружаемых вдавливанием, в условиях плотной городской застройки // Вестник СГТУ. Архитектура и строительство. – 2006. – № 3 (15), вып. 2. – С. 95–100.

11. Chen W., Shi J.Y., Zhao W.B. Mechanism of penetration and soil compaction effect of jacked pile // Coastal geotechnical engineering in practice. – 2010. – No. 1. – P. 255–260.
12. Deeks A.D., White D.J., Bolton M.D. A comparison of jacked, driven and bored piles in sand // Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2005. – No. 1 (5). – P. 2103–2106.
13. Mahutka K.P., Koenig E., Grabe J. Numerical modelling of pile jacking, driving and vibratory driving // Numerical modelling of construction processes in geotechnical engineering for urban environment. – 2006. – 235 p.
14. Behaviour of jacked and driven piles in sandy soil / J. Yang, L.G. Tham, P.K.K. Lee, S.T. Chan, F. Yu // Geotechnique. – 2006. – No. 56 (4). – P. 245–259. DOI: 10.1680/geot.2006.56.4.245
15. Monitoring and analysis of PHC pipe piles under hydraulic jacking using FBG sensing technology / Li Guo-Wei, Pei Hua-Fu, Yin Jian-Hua, Lu Xiao-Cen, Teng Jun // Measurement. – 2014. – No. 49. – P. 358–367. DOI: 10.1016/j.measurement.2013.11.046
16. Офрихтер Я.В., Пономарев А.Б. Использование волновой теории удара для определения несущей способности свай // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 3. – С. 35–43. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.04
17. HITS: сайт. – URL: <https://hits-group.ru/#technology> (дата обращения: 02.02.2020).

References

1. Gaido A.N. Puti sovershenstvovaniya tekhnologicheskikh resheniy ustroystva svaynykh fundamentov zhilykh zdaniy v usloviy gorodskoy zastroyki [Ways to improve technological solutions for the construction of pile foundations of residential buildings in urban areas]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*, 2015, vol. 9, pp. 12–15.
2. Ponomarev A.B., Zakharov A.V., Sazonova S.A., Kaloshina S.V., Bezgodov M.A., Shenkman R.I., Zolotozubov D.G. Geotekhnicheskii monitoring zhilogo doma [Geotechnical monitoring of a residential building]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*, 2015, vol. 9, pp. 41–45.
3. Mangushev R.A., Osokin A.I., Sotnikov S.N. Geotekhnika Sankt-Peterburga. Opyt stroitel'stva na slabykh gruntakh [Geotechnics of St. Petersburg. Experience in construction on soft soils]. Moscow, ASV, 2018, 386 p.
4. Ulitskiy V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Geotekhnicheskoye soprovozhdeniye razvitiya gorodov Sankt-Peterburga [Geotechnical support for the development of cities of St. Petersburg]. Saint Petersburg, Stroyizdat Severo-Zapad, 2010, 551 p.
5. Gaido A.N., Pogoda A.G. Osobennosti postroyeniya tsifrovyykh informatsionnykh modeley ob'yektov na stadii stroitel'stva nulevogo tsikla [Features of the construction of digital information models of objects at the stage of construction of the zero cycle]. *Sbornik mezhd.konferentsii Bim-modelirovaniye v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury*, 2019, vol. 2, pp. 64–69. DOI: 10.23968/BIMAC.2019.011
6. Polishchuk A.I., Nuykin S.S. Sovershenstvovaniye sposoba ustroystva svay vdavlivaniyem na ploshchadkakh gorodskoy zastroyki [Improving the method of piling indentation at urban sites]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 3, pp. 53–60.
7. Polishchuk A.I., Nuykin S.S. Eksperimental'nyye issledovaniya usiliya vdavlivaniya zhelezobonnykh svay zavodskogo izgotovleniya v glinistyye grunty [Experimental studies of the pressure of pressing factory-made reinforced concrete piles into clay soils]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2018, vol. 9, no. 4, pp. 58–68. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.4.06.

8. Yushube S.V., Sulima V.A. Kontrol' nesushchey sposobnosti svay, pogruchayemykh metodov vdavlivaniya v glinistyye grunty [Monitoring the bearing capacity of piles, immersed methods of indentation into clay soils]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2015, vol. 5, no. 52, pp. 105–109.
9. Krutov I.K. Issledovaniye vdavlivayemykh zhelezobetonnykh svay s ushirennym osnovaniyem [Research of pressed-in reinforced concrete piles with a widened base]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*, 2016, vol. 10, pp. 42-45.
10. Savinov A.V. Povysheniye effektivnosti primeneniya svay, pogruchayemykh vdavlivaniyem, v usloviyakh plotnoy gorodskoy zastroyki [Improving the efficiency of the application of piles, immersed by indentation, in the conditions of dense urban development]. *Vestnik SGTU. Arkhitektura i stroitel'stva*, 2006, vol. 3 (15), iss. 2, pp. 95-100.
11. Chen W., Shi J.Y., Zhao W.B. Mechanism of penetration and soil compaction effect of jacked pile, *Coastal geotechnical engineering in practice*, 2010, no. 1, pp. 255-260.
12. Deeks A.D., White D.J., Bolton M.D. A comparison of jacked, driven and bored piles in sand. *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2005, no. 1 (5), pp. 2103-2106.
13. Mahutka K.-P., Koenig E., Grabe J. Numerical modelling of pile jacking, driving and vibratory driving. *Numerical modelling of construction processes in geotechnical engineering for urban environment*, 2006, 235 p.
14. Yang J., Tham L.G., Lee P.K.K., Chan S.T., Yu F. Behaviour of jacked and driven piles in sandy soil. *Geotechnique*, 2006, no. 56 (4), pp. 245-259. DOI: 10.1680/geot.2006.56.4.245
15. Li Guo-Wei, Pei Hua-Fu, Yin Jian-Hua, Lu Xiao-Cen, Teng Jun. Monitoring and analysis of PHC pipe piles under hydraulic jacking using FBG sensing technology. *Measurement*, 2014, no. 49, pp. 358-367. DOI: 10.1016/j.measurement.2013.11.046
16. Ofrikhter Ya.V., Ponomarev A.B. Ispol'zovaniye volnovoy teorii udara dlya opredeleniya nesushchey sposobnosti svay [Using the wave theory of shock to determine the bearing capacity of piles]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2019, vol. 10, no. 3, pp. 35–43. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.04
17. HITS, available at: <https://hits-group.ru/#technology> (accessed 2 February 2020).