

# Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал  
№ 8 (111)/2023 Том 1

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Макаровский Денис Анатольевич**

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

• **Штерензон Вера Анатольевна**

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

• **Синьковский Антон Владимирович**

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

• **Штерензон Владимир Александрович**

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

• **Зыков Сергей Арленович**

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ.-мат. наук

• **Дронсейко Виталий Витальевич**

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович  
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:  
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А  
E-mail: [info@euroasia-science.ru](mailto:info@euroasia-science.ru) ;  
[www.euroasia-science.ru](http://www.euroasia-science.ru)

Учредитель и издатель ООО «Логика+»  
Тираж 1000 экз.

# СОДЕРЖАНИЕ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Соколов Н.С.</i> СВАИ-ЭРТ С МНОГОМЕСТНЫМИ УШИРЕНИЯМИ .....3	<i>Соколов Н.С.</i> РЕКОНСТРУКЦИЯ ФУНДАМЕНТОВ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ ..... 12
<i>Соколов Н.С.</i> СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПОВЫШЕННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ.....6	<i>Соколов Н.С.</i> СВАИ ЭРТ ПРИ УСИЛЕНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ ..... 16
<i>Соколов Н.С.</i> ФУНДАМЕНТ ПОВЫШЕННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ .....9	<i>Соколов Н.С., Сергеев С.В.</i> БУРОИНЪЕКЦИОННЫЕ СВАИ НА СВАЯХ ЭРТ СТРУКТУРНО-НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ ..... 21

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Черкашин Ю.С.</i> ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ. ....26	<i>Хамидова Д.Н.</i> РАЗВЕРТЫВАНИЕ МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ STREAMLIT ..... 29
---	---

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 624.1

---

## СВАИ-ЭРТ С МНОГОМЕСТНЫМИ УШИРЕНИЯМИ

---

*Соколов Николай Сергеевич*

*Зав. кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», к.т.н.,  
доцент, член РОМГГиФ и ISSMGE. Директор  
ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», ООО НПФ «ФОРСТ»  
г. Чебоксары,*

### PILES-EDT WITH MULTI-SEAT EXTENSIONS

*Sokolov Nikolay Sergeevich*

*Head of the Department of "Construction Technologies, Geotechnics and Construction Economics", Ph.D.,  
Associate Professor, member of the ROMGGiF and ISSMGE. Director.  
FGBOU VO "ChSU named after I.N. Ulyanov", LLC NPF "FORST",  
Cheboksary.*

Возведение фундаментов с повышенными значениями несущей способности является актуальной задачей современного геотехнического строительства. Особенно оно востребовано при строительстве объектов в стесненных условиях и сооружений повышенной этажности. Часты случаи использования буронабивных свай по технико-экономическим соображениям не целесообразно. Буронабивные сваи-ЭРТ с множественными уширениями в этом случае оказываются максимально востребованы.

The construction of foundations with increased load-bearing capacity is an urgent task of modern geotechnical construction. It is especially in demand during the construction of facilities in cramped conditions and high-rise structures. There are frequent cases of using bored piles for technical and economic reasons is not advisable. Drilling-injection piles-ERTS with multi-seat extensions in this case are in maximum demand.

**Ключевые слова:** несущая способность, буронабивная свая, монолитный железобетонный ростверк, сваи-ЭРТ, множественные уширения, инъекции.

**Keywords:** bearing capacity, bored pile, monolithic reinforced concrete grillage, piles-EDT, multi-seat extensions, injections.

В современном геотехническом строительстве существуют технологии устройства фундаментов повышенной несущей способности. Одним из нормативных документов ТСН-306-2005 «Основания и фундаменты повышенной несущей способности» разработанным Министерством строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Ростовской области устанавливаются положения по улучшению строительных свойств грунтов оснований зданий и сооружений способами инъекции химических растворов, армирования основания через направленные гидроразрывы, армирования сваями-инъекторами и буронабивными элементами. Инъекции химическими растворами актуальны только для структурно-неустойчивых грунтов. Поэтому в современном геотехническом строительстве широко востребованы буронабивные сваи.

Возведение подземной части любого сооружения требует особого внимания [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10] со стороны геотехников. Любое внедрение в основание элементов в виде строительных конструкций, а также извлечение из него грунта изменяет сложившееся в течение длительного геологического периода напряженно-деформированное состояние основания (НДС). Также извлечение из него грунтов приводит к его

разуплотнению. При этом, чем больше диаметр рабочего органа буровой установки, тем значительны негативные последствия на основание как следствие вынутаго грунта из него. Для сведения отрицательных влияний к минимуму с целью восстановления существовавшего НДС при производстве буровых свай необходимо использовать технологии способствующие восстановлению структуры грунтов основания.

Проектные организации, как правило, при нагрузках на сваи чаще всего проектируют буронабивные сваи диаметром = 600 мм и более.

Практически любой инженер-строитель знает, что чем больше диаметр сваи, тем больше ее несущая способность. Можно назначить буронабивную сваю любого диаметра. Но основным критерием окончательного назначения типа (величины диаметра и длины) буронабивной сваи является кроме технической целесообразности также экономическая эффективность.

Инвестор всегда вкладывает денежные средства в наиболее экономичный и в то же время надежный тип фундамента. Таким образом, для случая свайного фундамента экономическая эффективность рассматривается совместно со стоимостью свайного поля и монолитных железобетонных ростверков [5, 6, 7, 8, 9, 10].

Для доказательства вышесказанного ниже приводятся выкладки доказывающие преимущества буринъекционных свай, изготовленных по разрядно-импульсной технологии (свай-ЭРТ) по сравнению с буронабивными сваями.

Определение несущей способности  $F_d$  производится по формуле (7.11) СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты»

$$F_d = \gamma_c(\gamma_{cR} \cdot R \cdot A + u \sum(\gamma_{cf} f_i h_i)), (1)$$

где  $\gamma_c$  - коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый равным 1;  $R$  - расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа (тс/м<sup>2</sup>), принимаемое по табл. 7.2 СП 24.13330.2011;  $A$  - площадь опирания сваи на грунт, м;  $u$  - наружный периметр поперечного сечения сваи, м;  $f_i$  - расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта основания по боковой поверхности сваи, кПа (тс/м<sup>2</sup>), принимаемое по СП 24.13330.2011;  $h_i$  - толщина  $i$ -го слоя грунта, соприкасающегося с

боковой поверхностью сваи, м;  $\gamma_{cf}$  - коэффициент условий работы грунта соответственно под нижним концом и по боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения сваи на значения расчетного сопротивления грунта и принимаемые по табл. 7.6 СП 24.13330.2011;  $\gamma_{cR}$  - коэффициент условий работы под нижним концом сваи согласно п. 7.26 СП 24.13330.2011.

По формуле (1) произведены расчеты несущей способности  $F_d$  по грунту различных типов буровых свай прорезающих текучепластичный суглинок с  $I_L = 0.9$ , мягкопластичный суглинок с  $I_L = 0.6$ . Пята сваи заделана в полутвердую глину. В качестве типов буровых свай использованы: 1) буринъекционные сваи-ЭРТ без уширений и с уширениями под пятой и вдоль ствола; 2) буронабивные сваи Ø 600, 800, 1000 мм, изготавливаемые в обсадных трубах, под защитой тиксотронной глины, а также укладываемые с помощью глубокой вибрации. Результаты расчетов  $F_d$  по приведённым схемам на рис. 1 сведены в табл. 1.



Примечания по столбцам: 5- буринъекционная свая-ЭРТ без уширений; 6 - буринъекционная свая-ЭРТ с уширениями под пятой; 7 - буринъекционная свая-ЭРТ с уширениями под пятой и стволу; 8 - буринъекционная свая-ЭРТ с уширениями под пятой и двумя уширениями вдоль ствола сваи; 9 – буронабивные сваи диаметром 600, 800, 1000 мм; 11 – коэффициенты  $\gamma_{cf}$  для буровых свай поз. 3 а табл. 7.6 СП 24.13330.2011; 12 - коэффициенты  $\gamma_{cf}$  для буровых свай поз. 3 б табл. 7.6 СП 24.13330.2011; 13 – коэффициенты  $\gamma_{cf}$  для буровых свай поз. 3 в табл. 7.6 СП 24.13330.2011.

Рис. 1 Схемы к определению несущей способности  $F_d$  буровых свай.

Таблица 1

**Результаты расчетов  $F_d$**

№ п.п.	Тип сваи	Позиция	Несущая способность, кН	Расчетная нагрузка	Примечания	Объем сваи, м <sup>3</sup>	Удельная несущая способность, кН/м <sup>3</sup>	Удельная расчетная нагрузка, кН/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Буронабивная свая Ø600	1	2330,0	1665,0	Буронабивная свая в обсадных	5,6	416,0	297,3
		2	2300,0	1640,0		5,6	410,7	293,0

	$A=0,2826 \text{ м}^2$	3	2465,0	1760,0	трубах	5,6	440,2	314,3
2	Буронабивная свая Ø800 $A=0,50 \text{ м}^2$	1	3760,0	2685,0		10,0	376,0	268,5
		2	3725,0	2660,0		10,0	372,5	266,0
		3	3935,0	2810,0		10,0	393,5	281,0
3	Буронабивная свая Ø1000 $A=0,785 \text{ м}^2$	1	5540,0	3960,0	15,7	352,9	252,2	
		2	5500,0	3930,0	15,7	350,3	250,3	
		3	5770,0	4120,0	15,7	367,5	263,4	
5	Буронабивная свая Ø2000 $A=6,28 \text{ м}^2$	1	19400,0	13860,0	62,8	308,9	220,7	
		2	19850,0	14180,0	62,8	316,1	225,8	
		3	19860,0	14200,0	62,8	316,2	226,1	
6	Буроинъекционные сваи-ЭРТ Ø350 $A=0,10 \text{ м}^2$	4	1515,0	1080,0	буроинъекционная свая-ЭРТ без уширений	2,0	757,5	540,0
		5	1680,0	1200,0	буроинъекционная свая-ЭРТ с уширениями под пятой	2,0	840,0	600,0
		6	1880,0	1340,0	буроинъекционная свая-ЭРТ с уширениями под пятой и вдоль ствола	2,0	940,0	670,0
		7	1930,0	1380,0	буроинъекционная свая-ЭРТ с уширениями под пятой и двумя уширениями вдоль ствола сваи	2,0	965,0	690,0

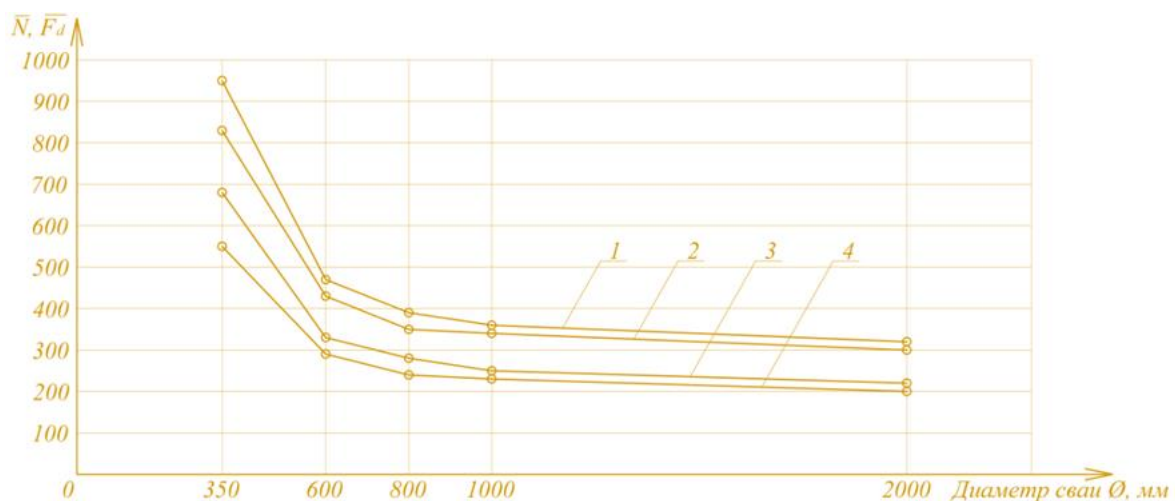


Рис. 2 Графики зависимости  $f(\Phi, \overline{N})$  и  $f(\Phi, \overline{F}_d)$

где  $\overline{F}_d$  – удельная несущая способность [ $\text{кН/м}^3$ ],  $\overline{N}$  – удельная расчетная нагрузка; 1 и 2 – графики  $f(\Phi, \overline{F}_d)$ ; 3 и 4 – графики  $f(\Phi, \overline{N})$ .

Примечания: 350-диаметр сваи-ЭРТ; 600, 800, 1000, 2000 – диаметры буронабивных свай [мм].

Для оценки величин несущей способности свай и расчетных нагрузок на них в табл. 1 имеются величины удельных значений, это удельная несущая способность  $\overline{F}_d$  соответствующая  $\overline{F}_d = \frac{F_d}{V_c}$  и удельная расчетная нагрузка  $\overline{N}$  соответствующая  $\overline{N} = \frac{N}{V_c}$ , где  $V_c$  – объем рассматриваемой сваи.

Наиболее характерны графики зависимости  $\overline{N}$  и  $\overline{F}_d$  от диаметра и типа свай приведенные на рис. 2. Ярко прослеживается преобладание  $\overline{N}$  и  $\overline{F}_d$  для свай-ЭРТ с многоместными уширениями. Оно превышает в 2,5÷4,5 раз значений  $\overline{N}$  и  $\overline{F}_d$  для буронабивных свай. При этом с увеличением диаметра свай функции  $f(\Phi, \overline{F}_d)$  и  $f(\Phi, \overline{N})$  выполаживаются, стремясь к асимптоте.

**Список использованных источников**

1. Ильичев В.А., Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2012. № 2. С. 17-20.
2. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: Георекострукция, 2010. 551 с.
3. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов. М.: АСВ, 2009. 550 с. 5 Ухов С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: Высшая школа. 2007. 561 с.
4. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Гид по геотехнике (путеводитель по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям). Издание второе, дополненное. Санкт-Петербург. – 2012. 284 с.
5. Соколов Н.С, Викторова СС. Исследование и разработка устройства для изготовления буроинъекционных свай ЭРТ // Строительство: Новые технологии - новое оборудование. 2017. №12.С. 37-42.
6. Sokolov N., Ezhov S., Ezhova S. PRESERVING THE NATURAL LANDSCAPE ON
7. Соколов Н.С. Технология увеличения несущей способности основания // Строительные материалы. 2019. №6.С. 67-71.
8. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н., Федоров П.Ю. Использование буроинъекционных свай ЭРТ в качестве оснований фундаментов повышенной несущей способности // Промышленное и гражданское строительство. 2017. №9.С. 66-70.
9. Никанорова И.В., Соколов Н.С. Строительство и территориальное освоение оползнеопасных склонов Чебоксарского водохранилища // Жилищное строительство. 2017. №9. С.13-19.
10. Соколов Н.С, Викторова СС. Исследование и разработка устройства для изготовления буроинъекционных свай ЭРТ // Строительство: Новые технологии - новое оборудование. 2017. №12.С. 37-42.

УДК 624.1

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПОВЫШЕННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ*****Соколов Николай Сергеевич***

*Зав. кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», к.т.н., доцент, член РОМГГиФ и ISSMGE. Директор ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», ООО НПФ «ФОРСТ» г. Чебоксары,*

**BURIED REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH INCREASED LOAD-BEARING CAPACITY*****Sokolov Nikolay Sergeevich***

*Head of the Department of "Construction Technologies, Geotechnics and Construction Economics", Ph.D., Associate Professor, member of the ROMGGiF and ISSMGE. Director. FGBOU VO "ChSU named after I.N. Ulyanov", LLC NPF "FORST", Cheboksary.*

В практике геотехнического строительства внедряется технология буроинъекционных свай, выполненных по электроразрядной технологии. Существующая методика с использованием формул СНиП не позволяет в полной мере оценить напряженно-деформированное состояние в активной зоне при последовательном включении в работу уширений с ростом нагрузки на фундамент. В статье приведены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния основания буроинъекционной сваи ЭРТ, выполненной с множественными уширениями по стволу. Расчеты выполнены в пространственной постановке с учетом стадийности приложения нагрузки и образования уплотненной зоны вокруг буроинъекционной сваи. Особое внимание уделялось различию напряженно-деформированному состоянию основания, сложенного связным и несвязным грунтом. Последовательно проведена оценка факторов, влияющих на несущую способность и осадку буроинъекционной сваи. В качестве исследуемых факторов рассматриваются количество и шаг уширений, длина буроинъекционной сваи, прочностные и деформационные характеристики окружающего грунта.

In the practice of geotechnical construction, the technology of drill-injection piles made using electric discharge technology is being introduced. The existing methodology using the SNiP formulas does not allow us to fully assess the stress-strain state in the core with successive inclusion in the work of extensions with an increase in the load on the foundation. The article presents the results of calculations of the stress-strain state of the base of the EDT drill-injection pile made with multi-place extensions along the trunk. The calculations were carried out in a spatial formulation, taking into account the stages of load application and the formation of a compacted zone around the drill-injection pile. Special attention was paid to the difference between the stress-strain state of the base, composed of connected and disconnected

soil. The factors affecting the load-bearing capacity and the draft of the drill-injection pile were consistently evaluated. The number and step of widenings, the length of the drill-injection pile, strength and deformation characteristics of the surrounding soil are considered as the studied factors.

**Ключевые слова:** уширение, несущая способность, буроинъекционная свая ЭРТ, разрядно-импульсная технология.

**Key words:** broadening, bearing capacity, drilling-injection pile EDT, discharge-pulse technology.

Научно-технический прогресс в сфере геотехнического строительства ставит все более сложные задачи перед проектировщиками и строителями [1-8, 9, 10, 11, 12, 13]. Прогресс в данной сфере производства достигается путем широкого внедрения в практику строительства эффективных технологий и конструкций буроинъекционных свай ЭРТ и совершенствования методов их расчета [3]. Разработана и апробирована на многих объектах в различных регионах России современная инвестиционная технология изготовления набивных свай по электроразрядной технологии, которая обеспечивает по длине сваи создание по длине сваи многоместных уширений и, соответственно, приводит к повышению к увеличению несущей способности в 2,0-2,5 раза [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Применение буроинъекционных свай ЭРТ исключает разуплотнение и расструктурирование грунта в основании за счет электрогидравлической обработки в среде мелкозернистого бетона [6] и приводит к образованию зоны уплотнения по боковой поверхности и в плоскости острия сваи [7].

Существующая методика с использованием формул СНиП не позволяет в полной мере оценить напряженно-деформированное состояние в активной зоне при последовательном включении в работу уширений с ростом нагрузки на фундамент.

С целью увеличения несущей способности буроинъекционных свай-ЭРТ выполняются многоместные контролируемые уширения по острию и вдоль ствола сваи. В расчете при

диаметре буроинъекционной сваи ЭРТ  $d=350$  мм в связном грунте диаметр сферы уширения принят  $1,3d$ , в несвязном грунте, соответственно,  $2d$ .

Для оценки влияния количества многоместных уширений ( $n$ ), расстояния между уширениями ( $a$ ), длины буроинъекционных свай ЭРТ ( $L$ ) на изменение напряженно-деформационного состояния в связном и несвязном грунте проведены численные исследования с учетом образования зон пластических деформаций в основании [9, 10, 11, 12, 13].

Для проведения анализа влияния факторов была решена пространственная упругопластическая задача метода конечных элементов с одновременным учетом прочностных и деформационных свойств основания при использовании геотехнического комплекса *Plaxis* [10].

В качестве физической модели основания при решении задачи было принято условие предельного равновесия Мора-Кулона. Расчет выполняется с использованием шаговой процедуры приложения нагрузки. Учет собственного веса грунта проводился в виде начальных напряжений  $\sigma_z = \gamma h$ ;  $\sigma_x = \sigma_y = \xi \gamma h$ ;  $\tau = 0$ , деформированное состояние основания определялось только от внешней нагрузки на свайный фундамент. Размеры расчетной области составляют для сваи длиной  $L=9,0$  м,  $d=350$  мм с уширениями  $b \times a \times h = 24 \times 24 \times 24$  (м<sup>3</sup>) (рис. 1).

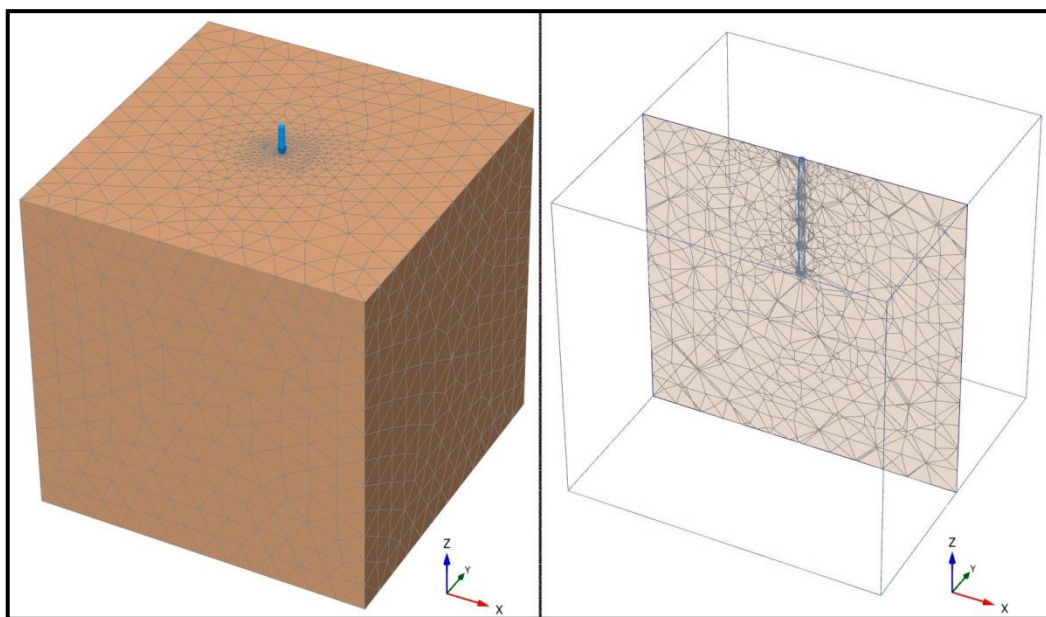


Рис. 1 – Расчетная область МКЭ размерами  $b \times a \times h = 24 \times 24 \times 24$  (м<sup>3</sup>) сваи ЭРТ длиной  $L=9,0$  м  $d=350$  мм с уширениями. Разбивка на тетраэдрические конечные элементы



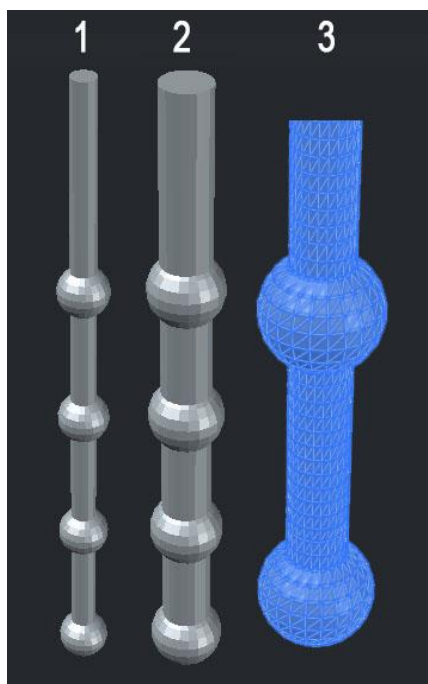


Рис. 2 – Объемная модель сваи-ЭРТ с уширениями (1), окружающего уплотненного грунта (2) и разбивка на конечные элементы (3) перед импортом в ПК Plaxis

Расчеты фундаментов произведены для двух характерных типов основания: связный грунт и несвязный грунт с учетом образования уплотненной зоны вокруг сваи [9, 10]. В качестве связного грунта использовалась глина тугопластичная ( $\gamma=18 \text{ кН/м}^3$ ,  $E=13,8 \text{ МПа}$ ,  $c=43 \text{ кПа}$ ,  $\varphi=16^\circ$ ); в качестве несвязного грунта принят песок средней крупности, средней плотности ( $\gamma=16,5 \text{ кН/м}^3$ ,  $E=30,0 \text{ МПа}$ ,  $c=1 \text{ кПа}$ ,  $\varphi=35^\circ$ ).

Для буроинъекционной сваи ЭРТ непосредственно к свае примыкает зона цементации и зона уплотнения, образующаяся в результате электрогидравлического воздействия на материал сваи [9, 10]. В расчетной схеме диаметр зоны уплотнения составляет  $(1,8-2,2)d$  (для связных грунтов) и  $(2,8-3,1)d$  (для несвязных грунтов), который уточняется экспериментально по уходу бетонной смеси в скважине (рис. 2).

Изолинии вертикальных напряжений  $\sigma_z$  в активной зоне буроинъекционной сваи с уширениями с учетом природного напряженного состояния показан на рис. 7а. Отмечается концентрация напряжений под пятой сваи в плоскости острия и под уширениями. Распределение касательных напряжений  $\tau_{xz}$  имеет сложный характер, максимальные значения напряжений зафиксированы в местах расположения уширений вдоль ствола набивной сваи.

Анализ теоретических разработок и экспериментальных данных показывает, что учет особенностей поведения грунта под нагрузкой может быть достигнут при описании его деформирования с позиций пластического течения, предусматривающих одновременное существование в грунте зон допредельного и предельного равновесия.

#### Список использованных источников

- Ильичев В.А., Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2012. № 2. С. 17-20.
- Маковецкий О.А., Серебрянникова Д.К., Богданова Е.О., Лузгина Е.А. // *Современные технологии в строительстве. теория и практика*. Пермь: ПНИПУ. 2016. №10. С. 221-226.
- Yao Yuan, Shui-Long Shen, Zhi-Feng Wang, Huai-Na Wu. Automatic pressure-control equipment for horizontal jet-grouting // *Automation in Construction*. 2016. vol. 69. pp. 11-20.
- Peter G. Nicholson. Admixture Soil Improvement // *Soil Improvement and Ground Modification Methods*. 2015. pp. 231-288. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408076-8.00011-X>
- Yasuo Onishi. Fukushima and Chernobyl Nuclear Accidents' Environmental Assessments and U.S. Hanford Site's Waste Management // *Procedia IUTAM*. 2014. Vol. 14. pp. 372-381. <https://doi.org/10.1016/j.piutam.2014.01.032>.
- Ghassem Jalilian Khave. Delineating subterranean water conduits using hydraulic testing and machine performance parameters in TBM tunnel post-grouting // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2014. Vol. 70. pp. 308-317. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmm.2014.04.013>.
- Peter G. Nicholson. Objectives and Approaches to Hydraulic // *Soil Improvement and Ground Modification Methods*. 2015. pp. 151-187. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408076-8.00007-8>.
- Ian Jefferson, Chris Rogers, Dimcho Evststiev, Doncho Karastanev. Improvement of Collapsible Loess in Eastern Europe // *Ground Improvement Case Histories*. 2015. pp. 215-261. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100698-6.00007-6>.



Соколов Н.С., Соколов А.Н., Соколов С.Н., Глушков В.Е., Глушков А.В. Расчет буронабивных свай ЭРТ повышенной несущей способности //Жилищное строительство. 2017. №11.С 20-25.

Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Опыт восстановления здания Введенского кафедрального собора в городе Чебоксары //Геотехника. 2016. №1.С. 60-65.

Соколов Н.С. Технологические приемы устройства буронабивных свай с многоступенчатыми уширениями //Жилищное строительство. 2016. 10. С. 54.

Sokolov N.S., Viktorova S.S. METHOD OF ALIGNING THE LURCHES OF OBJECTS WITH

LARGE-SIZED FOUNDATIONS AND INCREASED LOADS ON THEM //Periodico Tche Quimica. 2018. T. 15. Special Issue 1. С.1-11.

Соколов Н.С., Петров М.В., Иванов В.А. Проблемы расчета буронабивных свай, изготовленных с использованием разрядно-импульсной технологии // В сборнике: Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции. Материалы VIII Всероссийской (II Международной) конференции. Редакционная коллегия: Н.С. Соколов (отв.редактор), Д.Л. Кузьмин (отв. секретарь), А.Н. Плотников, Л.А. Сакмарова, А.Г. Лукин, В.Ф. Богданов, В.И.Тарасов. 2014.С .415-420.

УДК 624

---

## ФУНДАМЕНТ ПОВЫШЕННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

---

*Соколов Николай Сергеевич*

*Зав. кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», к.т.н., доцент, член РОМГГиФ и ISSMGE. Директор ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», ООО НПФ «ФОРСТ» г. Чебоксары,*

## DEEP FOUNDATION WITH INCREASED BEARING CAPACITY

*Sokolov Nikolay Sergeevich*

*Head of the Department of "Construction Technologies, Geotechnics and Construction Economics", Ph.D., Associate Professor, member of the ROMGGiF and ISSMGE. Director. FGBOU VO "ChSU named after I.N. Ulyanov", LLC NPF "FORST", Cheboksary.*

Возведение фундаментов с повышенными значениями несущей способности является актуальной задачей современного геотехнического строительства. Особенно оно востребовано при строительстве объектов в стесненных условиях и сооружений повышенной этажности. Часты случаи использования буронабивных свай по технико-экономическим соображениям не целесообразно. Буронабивные сваи ЭРТ с многоступенчатыми уширениями в этом случае оказываются максимально востребованы.

The construction of foundations with increased bearing capacity is an urgent task of modern geotechnical construction. It is especially in demand in the construction of facilities in cramped conditions and structures with an increased number of storeys. There are frequent cases of using bored piles for technical and economic reasons, it is not advisable. EDT bored injection piles with multiple widenings in this case are most in demand.

**Ключевые слова:** несущая способность, буронабивная свая, ростверк, сваи ЭРТ, многоступенчатые уширения, инъекции.

**Key words:** bearing capacity, bored pile, grillage, EDT piles, multiple widenings, injections.

В современном геотехническом строительстве существуют технологии устройства фундаментов повышенной несущей способности. Одним из нормативных документов СП 24.13330.2021 Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* "Основания зданий и сооружений" ТСН-306-2005 «Основания и фундаменты повышенной несущей способности» разработанным Министерством строительства, архитектуры и ЖКХ Ростовской области устанавливаются положения по улучшению строительных свойств грунтов оснований зданий и сооружений способами инъекции химических растворов, армирования основания через направленные гидроразрывы, армирования сваями-инъекторами и буронабивными элементами. Инъекции

химическими растворами актуальны только для структурно-неустойчивых грунтов. Поэтому в современном геотехническом строительстве широко востребованы буронабивные сваи.

Возведение подземной части любого сооружения требует особого внимания [1, 2, 3, 4, 5, 6] со стороны геотехников. Любое внедрение в основание элементов в виде строительных конструкций, а также извлечение из него грунта изменяет сложившееся в течение длительного геологического периода напряженно-деформированное состояние основания (НДС). Также извлечение из него грунтов приводит к его разуплотнению. При этом, чем больше диаметр рабочего органа буровой установки, тем значительны негативные последствия на основании

как следствие вынутаго грунта из него. Для сведения отрицательных влияний к минимуму с целью восстановления существовавшего НДС при производстве буровых свай необходимо использовать технологии способствующие восстановлению структуры грунтов основания.

Проектные организации, как правило, при нагрузках на сваи чаще всего проектируют буронабивные сваи диаметром = 600 мм и более.

Практически любой инженер-строитель знает, что чем больше диаметр сваи, тем больше ее несущая способность. Можно назначить буронабивную сваю любого диаметра. Но основным критерием окончательного назначения типа (величины диаметра и длины) буронабивной сваи является кроме технической целесообразности также экономическая эффективность.

Инвестор всегда вкладывает денежные средства в наиболее экономичный и в то же время надежный тип фундамента. Таким образом, для случая свайного фундамента экономическая эффективность рассматривается совместно со стоимостью свайного поля и ростверков [1, 2, 3, 4, 5, 6].

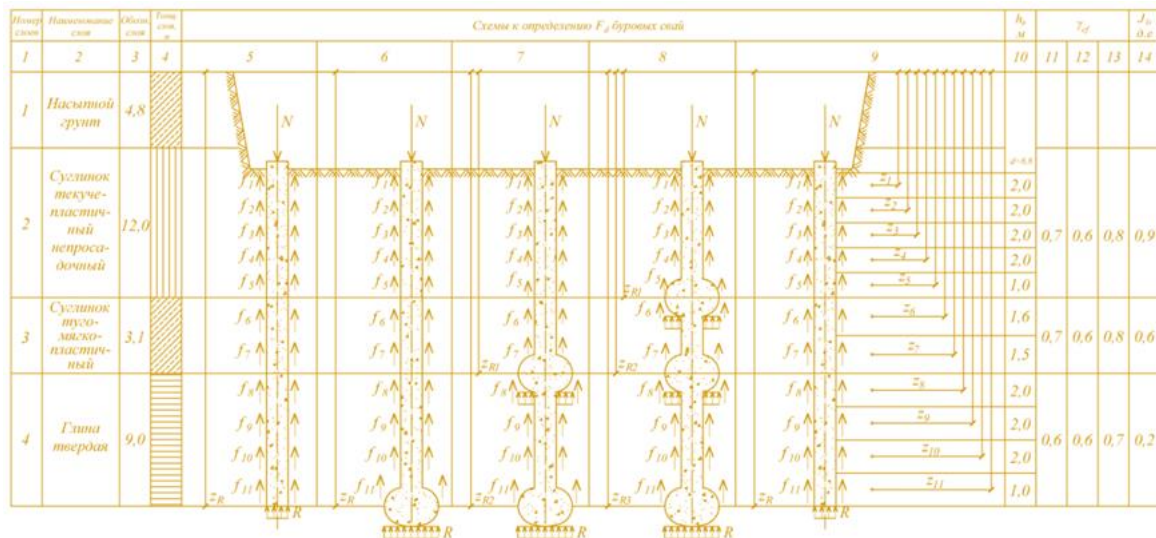
Для доказательства вышесказанного ниже приводятся выкладки доказывающие преимущества буронабивных свай, изготовленных по разрядно-импульсной технологии (сваи ЭРТ) по сравнению с буронабивными сваями.

Определение несущей способности  $F_d$  производится по формуле (7.11) свода правил СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты»

$$F_d = \gamma_c(\gamma_{cR} \cdot R \cdot A + u \sum(\gamma_{cf} f_i h_i)), (1)$$

где  $\gamma_c$  - коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый равным 1;  $R$  - расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа (тс/м<sup>2</sup>), принимаемое по табл. 7.2 СП 24.13330.2011;  $A$  - площадь опирания сваи на грунт, м;  $u$  - наружный периметр поперечного сечения сваи, м;  $f_i$  - расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта основания по боковой поверхности сваи, кПа (тс/м<sup>2</sup>), принимаемое по СП 24.13330.2011;  $h_i$  - толщина  $i$ -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м;  $\gamma_{cf}$  - коэффициент условий работы грунта соответственно под нижним концом и по боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения сваи на значения расчетного сопротивления грунта и принимаемые по табл. 7.6 СП 24.13330.2011;  $\gamma_{cR}$  - коэффициент условий работы под нижним концом сваи согласно п. 7.26 СП 24.13330.2011.

По формуле (1) произведены расчеты несущей способности  $F_d$  по грунту различных типов буровых свай прорезающих текучепластичный суглинок с  $I_L = 0.9$ , мягкопластичный суглинок с  $I_L = 0.6$ . Пята сваи заделана в полутвердую глину. В качестве типов буровых свай использованы: 1) буронабивные сваи-ЭРТ без уширений и с уширениями под пятой и вдоль ствола; 2) буронабивные сваи Ø 600, 800, 1000 мм, изготавливаемые в обсадных трубах, под защитой тиксотронной глины, а также укладываемые с помощью глубокой вибрации. Результаты расчетов  $F_d$  по приведённым схемам на рис. 1 сведены в табл. 1.



Примечания по столбцам: 5- буронабивная свая ЭРТ без уширений; 6 - буронабивная свая-ЭРТ с уширениями под пятой; 7 - буронабивная свая ЭРТ с уширениями под пятой и ствола; 8 - буронабивная свая ЭРТ с уширениями под пятой и двумя уширениями вдоль ствола сваи; 9 – буронабивные сваи диаметром 600, 800, 1000 мм; 11 – коэффициенты  $\gamma_{cf}$  для буровых свай поз. 3 а табл. 7.6 СП 13330.2011; 12 - коэффициенты  $\gamma_{cf}$  для буровых свай поз. 3 б табл. 7.6 СП 13330.2011; 13 – коэффициенты  $\gamma_{cf}$  для буровых свай поз. 3 в табл. 7.6 СП 13330.2011.  
Рис. 1 – Схемы к определению несущей способности  $F_d$  буровых свай.

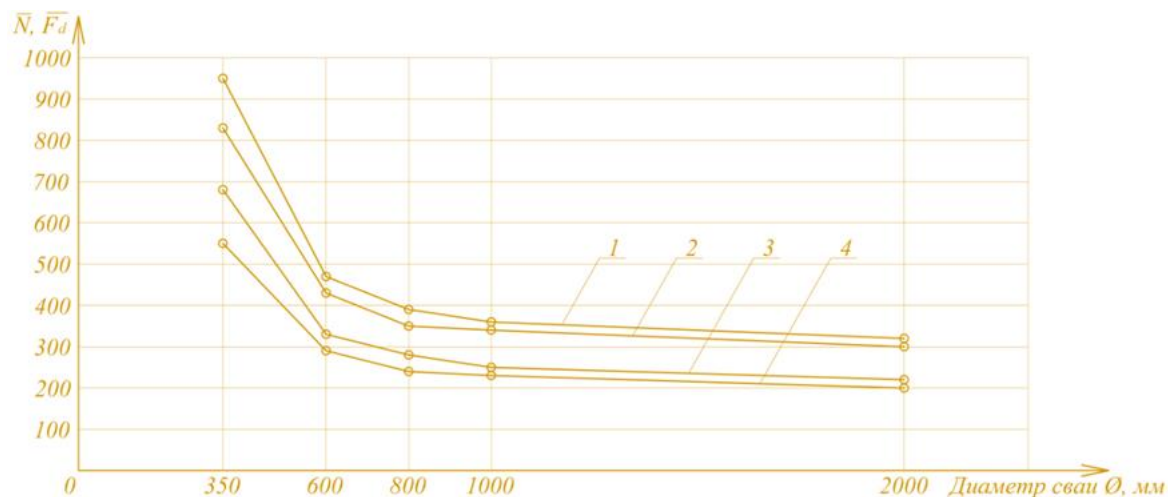


Рис. 2 – Графики зависимости  $f(\varnothing, \bar{N})$  и  $f(\varnothing, \bar{F}_d)$

где  $\bar{F}_d$  - удельная несущая способность [кН/м<sup>3</sup>],  $\bar{N}$  – удельная расчетная нагрузка; 1 и 2 – графики  $f(\varnothing, \bar{F}_d)$ ; 3 и 4 – графики  $f(\varnothing, \bar{N})$ .

Примечания: 350-диаметр свай ЭРТ; 600, 800, 1000, 2000 – диаметры буронабивных свай [мм].

Для оценки величин несущей способности свай и расчетных нагрузок на них в табл. 1 имеются величины удельных значений, это удельная несущая способность  $\bar{F}_d$  соответствующая  $\bar{F}_d = \frac{F_d}{V_c}$  и удельная расчетная нагрузка  $\bar{N}$  соответствующая  $\bar{N} = \frac{N}{V_c}$ , где  $V_c$  – объем рассматриваемой сваи.

Наиболее характерны графики зависимости  $\bar{N}$  и  $\bar{F}_d$  от диаметра и типа свай приведенные на рис. 2. Ярко прослеживается преобладание  $\bar{N}$  и  $\bar{F}_d$  для свай ЭРТ с многоместными уширениями. Оно превышает в 2,5÷4,5 раз значений  $\bar{N}$  и  $\bar{F}_d$  для буронабивных свай. При этом с увеличением диаметра свай функции  $f(\varnothing, \bar{F}_d)$  и  $f(\varnothing, \bar{N})$  выполаживаются, стремясь к асимптоте.

#### Список использованных источников

Ильичев В.А., Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2012. № 2. С. 17-20.

Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: Геореконструкция, 2010. 551 с.

3. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов. М.: АСВ, 2009. 550 с. 5 Ухов С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: Высшая школа. 2007. 561 с.

4. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Гид по геотехнике (путеводитель по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям). Издание второе, дополненное. Санкт-Петербург. – 2012. 284 с.

5. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н., Федоров П.Ю. Использование буронабивных свай ЭРТ в качестве оснований фундаментов повышенной несущей способности //Промышленное и гражданское строительство. 2017. №9.С. 66-70.

6. Никанорова И.В., Соколов Н.С. Строительство и территориальное освоение оползнеопасных склонов Чебоксарского водохранилища //Жилищное строительство. 2017. №9. С.13-19.

**РЕКОНСТРУКЦИЯ ФУНДАМЕНТОВ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ***Соколов Николай Сергеевич**Зав. кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», к.т.н.,  
доцент, член РОМГГиФ и ISSMGE. Директор  
ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», ООО НПФ «ФОРСТ»  
г. Чебоксары,***STRENGTHENING THE BASE AND FOUNDATIONS IN CRAMPED CONDITIONS***Sokolov Nikolay Sergeevich**Head of the Department of "Construction Technologies, Geotechnics and Construction Economics", Ph.D.,  
Associate Professor, member of the ROMGGiF and ISSMGE. Director.  
FGBOU VO "ChSU named after I.N. Ulyanov", LLC NPF "FORST",  
Cheboksary.*

Реконструкция зданий и сооружений в стесненных условиях представляет собой сложную технологическую задачу, связанную: 1) с обеспечением безопасной эксплуатации зданий окружающей застройки в зонах геотехнического влияния; 2) с обеспечением надежной эксплуатации оснований фундаментов с использованием заглубленных железобетонных конструкций как, например, бурионъекционные сваи, выполняемые по электроразрядным технологиям; 3) обеспечением надежной эксплуатации надфундаментных конструкций при возросших нагрузках на здания с помощью специальных конструктивных решений; 4) обеспечением надежной эксплуатации тела фундаментов одним из существующих методов как, например, цементацией. Статья является обзорной и рассматривает случай реконструкции объекта общественного назначения с использованием электроразрядной технологии при усилении тела оснований фундаментов с помощью бурионъекционных свай ЭРТ.

Reconstruction of buildings and structures in cramped conditions is a complex technological task associated with: 1) ensuring the safe operation of buildings of surrounding buildings in zones of geotechnical influence; 2) ensuring reliable operation of foundation foundations using buried reinforced concrete structures, such as, for example, bored injection piles made using electric discharge technologies; 3) ensuring reliable operation of over-foundation structures with increased loads on buildings using special design solutions; 4) ensuring reliable operation of the foundation body by one of the existing methods, such as grouting. The article is a review article and considers the case of reconstruction of a public facility using electric discharge technology while strengthening the body of foundation foundations using EDT bored injection piles.

**Ключевые слова:** реконструкция, нагрузки, зона влияния, электроразрядная технология, сваи ЭРТ, несущая способность.

**Key words:** reconstruction, loads, zone of influence, electric discharge technology, EDT piles, bearing capacity.

Реконструируемое здание состоит из пяти блоков: **Блок №1** в осях «1-4+А-Г», размеры в осях 18,63x18,0м, трехэтажный, с подвалом, цокольным этажом и техническим чердаком. Конструктивная система - неполный каркас с железобетонными колоннами и ригелями с шарнирными узлами опирания ригелей, и наружные стены из каменной кладки. Перекрытия - сборные железобетонные плиты. Фундамент - железобетонная плита. **Блок №2** в осях «4-12÷А/1-В/1», размеры в осях 42,85x15,16м, четырехэтажный, с подвалом, цокольным этажом и техническим чердаком. Конструктивная система - стеновая с продольными несущими стенами из каменной кладки. Перекрытия - сборные железобетонные плиты. Фундамент - железобетонная плита. Покрытие чердака и перекрытие четвертого этажа на данный момент полностью демонтированы. **Блок №3** (рис.2) в осях «12-15÷А-К», размеры в осях 18,965x48,46м, трехэтажный, с подвалом, цокольным этажом (частично, в осях «А-Е») и техническим чердаком.

Конструктивная система - неполный каркас с железобетонными колоннами и ригелями в осях «А-Е» и стальными колоннами и балками в осях «Е-К» с шарнирными узлами опирания ригелей и балок, и наружные стены из каменной кладки. Перекрытия - сборные железобетонные плиты. Фундамент - железобетонная плита в осях «А-Г» и железобетонный ленточный в осях «Г-К». **Блок №4** (рис.2) в осях «13/1-15÷К-Л», размеры в осях 11,32x15,62 м, четырехэтажный, с цокольным этажом и техническим чердаком. Конструктивная система - стеновая с продольными несущими стенами из каменной кладки, со стальными балками перекрытий, узлы опирания балок шарнирные. Перекрытия - над цокольным этажом - цилиндрические своды из керамического полнотелого кирпича по металлическим балкам, над остальными этажами - сборные железобетонные плиты. Фундамент - ленточный из кладки из известняка. **Блок №5** (рис.2) в осях «15-16÷А-К», размеры в осях 9,88x48,46 м; одноэтажный, с подвалом в осях А-Г, цокольным

этажом в осях А-К, надземным этажом в осях А-Е. Конструктивная система - неполный каркас с каменными колоннами и ригелями с шарнирными узлами опирания ригелей, и наружные стены из каменной кладки. Перекрытие над цокольным этажом - сборные железобетонные плиты, покрытие - из асбестоцементных полых плит с заполнением минеральной ватой по металлическим балкам. Фундамент - железобетонный ленточный под стены и отдельностоящий столбчатый под колонны.

При реконструкции здания в соответствии архитектурными объемно-планировочными решениями предполагалось изменение планировочной и конструктивной схемы здания и существенное увеличение нагрузок на фундаменты.

**В геоморфологическом отношении** участок расположен в пределах древнеаллювиальной террасы Клязьмо-Яузского протока. Поверхность территории участка на период проведения изысканий (1947-1990 гг.) характеризовалась абсолютными отметками 149,80-151,35м. По материалам ГБУ «Мосгоргеотрест» на период проведения изысканий **геолого -литологическое строение** участка на глубину пройденных скважин представляется в следующем виде: с поверхности до глубины 1,3-4,5м участок покрыт техногенными грунтами ( $t-Q_{IV}$ ), представленными песками, с включением строительного щебня, обломков кирпича, щепы древесины и шлака, слежавшимися, влажными. Под техногенными грунтами залегают **верхнечетвертичные аллювиальные отложения ( $a-Q_{III}^{IK-J}$ )** представленные в основном песками, реже суглинками, местами встречены прослой торфа. Пески желтые и желтовато-серые, мелкие, средней плотности, влажные и водонасыщенные. Суглинки серые, иловатые, мягкопластичные. Торф встреченный в СКВ. №14-3608 г/с непосредственно под насыпью, сильно разложившийся, водонасыщенный. Мощность аллювиальных отложений составляет 1.5-2.7м. В скважине №2 встречены **моренные суглинки ( $g-Q_{II}^d$ )**. Суглинки коричневые, песчанистые, с тонкими прослоями водонасыщенного песка, с включениями гравия и гальки, мягкопластичные, мощностью 1,0 м.

Местами моренные суглинки размыты и аллювиальные отложения подстилаются **флювиогляциальной толщей окско-днепровского горизонта ( $f-Q_{II}^{o-d}$ )**, представленные супесями и песками: Супеси - темно-коричневые и черные, пылеватые, слюдистые, пластичные, местами текучие; Пески - желтые и коричневые, средней крупности, неоднородные, с гравием и щебнем кремнистых пород, средней плотности, водонасыщенные. Полная мощность флювиогляциальных отложений составляет 5.8-7.0м., вскрытая мощность 4.7-5.8м. Под толщей четвертичных отложений на глубине 10.3-10.5м (абс. отм. 140.85-139.98) встречены отложения **верхней юры представленные волжским ( $J_{3v}$ ) и оксфордским ( $J_{3ox}$ ) ярусами.**

Отложения **волжского яруса** представлены супесями черными, пылеватыми, слюдистыми с прослоями глауконитового песка, полутвердыми, мощностью 3,2м. Отложения **оксфордского яруса** представлены глинами черными, пылеватыми, слюдистыми с крупными фосфоритами и включениями обломков фауны, мощностью 6,8-10,1 м. **Каменноугольные отложения** развиты на глубине 20.4-20.5м (абс. отм. 129.88-130,85м) и представлены подсвитами: - измайловской ( $C_{3izm}$ ), мещеринской ( $C_{3mse}$ ), перхуровской ( $C_{3pr}$ ), неверовской ( $C_{3nvr}$ ), рагмировской ( $C_{3rt}$ ). **Каменноугольная толща** представлена известняками трещиноватыми, мергелями и мергелистыми глинами, доломитами. Вскрытая мощность каменноугольных отложений составляет 10,6-35,0 м. Последовательность залегания, мощность и характер распространения геологических слоев приведены на геолого-литологическом разрезе (рис 1).

**Гидрогеологические условия** территории характеризуются распространением надюрского водоносного горизонта. По состоянию на момент приведенных инженерно-геологических изысканий в 1947-1990 гг. **подземные воды надюрского водоносного горизонта** вскрыты на глубине 1,3-5,4 м, абс. отм. 144,88-148,50 м. Водовмещающими породами являются аллювиальные и флювиогляциальные песчаные отложения. Водоупором служат верхние глины. Вскрытые на глубине 10,3-10,5 м (абс. отм. 139,98-140,85). Подземные воды в каменноугольных отложениях дренированы постоянно действующими откачками Метрополитена. **На территории реконструкции объекта выявлены инженерно-геологические процессы и явления: 1. Карстово-суффозионная опасность участка:** В соответствии с «Картой опасности древних карстовых форм и совместно-суффозионных процессов» масштаба 1:10000, лист G-5 (ГУП «Мосгоргеотрест», ИГЭ РАН, Москва. 2012 г., 2-я редакция), участок расположен на потенциально опасной территории в отношении возможности проявления современных карстово-суффозионных процессов. **2. Подтопление территории и оползневые процессы:** В соответствии с «Картой оползневых явлений и подтопления подземными водами г.Москвы» Масштаб 1:10000, лист G-5 (ГУП «Мосгоргеотрест», НПП «Георесурс», 2011г. 2-я редакция) участок расположен на границе подтопленной территории с глубиной залегания грунтовых вод 1-3 м и периодически подтопленной территории, с глубиной залегания грунтовых вод 3-5 м. Оползневые процессы и их проявления не отмечены. **3. Морозное пучение и глубина сезонного промерзания.** В соответствии с п. 5.5.3. СП 22.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты и учетом СП 131.13330.2017 «Строительная климатология» норма-тивная нагрузка сезонного промерзания грунтов  $d_{fn}$  на открытых площадках составляет: - для песков пылеватых и мелких:  $d_{fn}=1,3$  м; - для песков средних, крупных и гравелистых:  $d_{fn}=1,4$  м;

- для крупнообломочных песков:  $d_{\text{н}}=1,6$  м. Физико-механические характеристики грунтов приведены ниже в табл. 1.

Согласно проекта реконструкции была полностью изменена конструктивная схема объекта. Если до реконструкции здание было построено в каркасе, то после реконструкции все внешние нагрузки воспринимались свайно-плитным фундаментом (см. рис. 2, 3, 4). При этом в опорных частях под колоннами запроектированы и устроены дополнительные ступени (рис. 3, 4) во избежание продавливания бетона фундамента. Кроме того запроектированы и устроены противокарстовые буроинъекционные сваи.

Анализируя опыт устройства буровых (буроинъекционных) свай на рассматриваемом

объекте использованы буроинъекционные сваи, выполняемые по электроразрядным технологиям – сваи ЭРТ. Эти сваи обладают максимальными значениями несущей способности на один куб/метр сваи и наиболее востребованы для работы в стесненных условиях [1-5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

На рис. 2,3,4 приведены план свай ЭРТ и характерные сечения. В зависимости от нагрузок и инженерно-геологических разрезов в плане использованы сваи ЭРТ разной длины – от 13,0 м до 17,0 м. Армирование их приведено на рис. 5.

Вся технологическая цепь производства свай ЭРТ на конкретном объекте ниже расписана в виде технологического регламента – алгоритма устройства буроинъекционных свай ЭРТ.

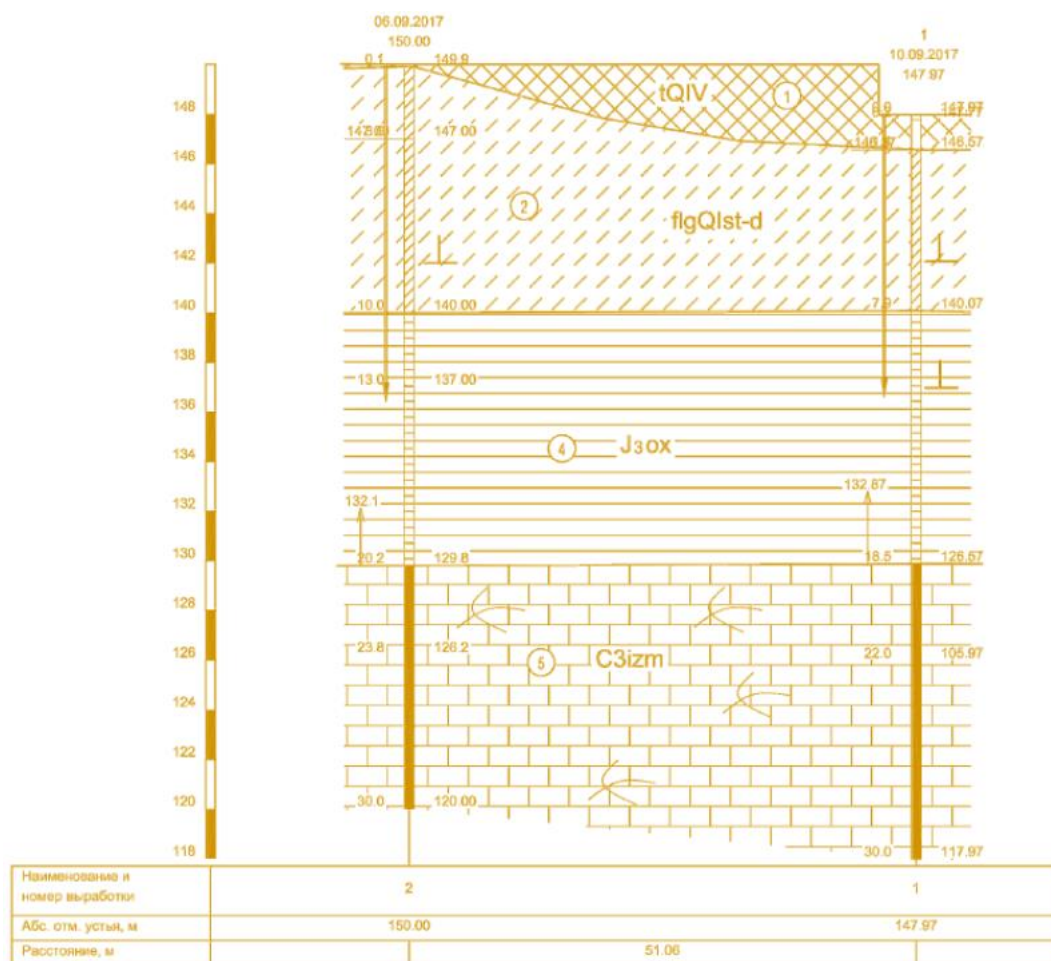


Рис.1 – Характерный инженерно-геологический разрез: 1 – песчано-суглинистые грунты со щебнем кирпича, бетона; 2 – супесь пластинчатая, пылеватая, с прослоями песка водонасыщенного; 3- песок средней крупности, средней плотности, маловлажный; 4- глины тяжелые, слюдистые, твердые; 5- известняк средней прочности, сильноотрециноватый, водоносный.



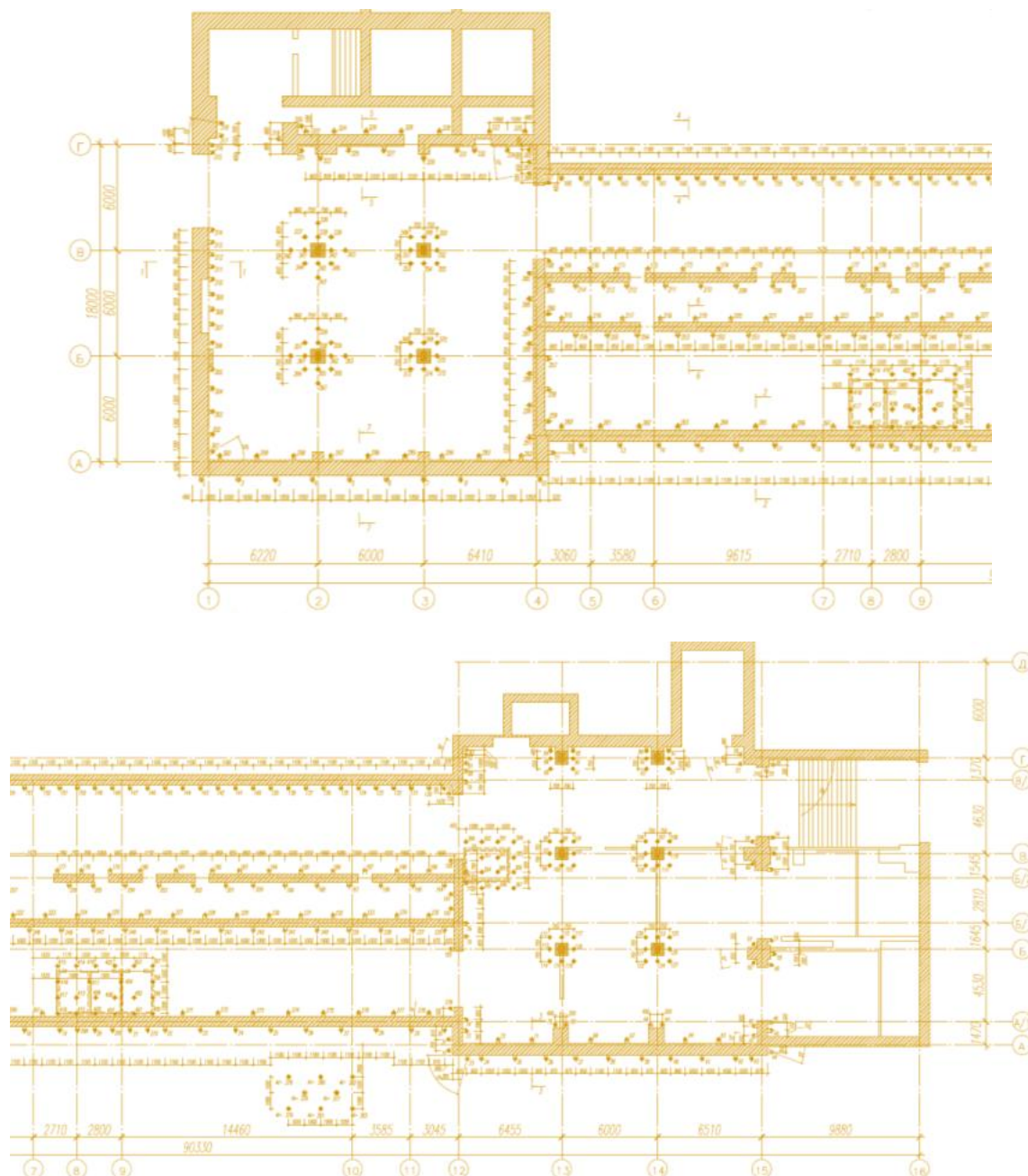


Рис. 2 – Схема расположения свай усиления в осях (1-16)/(А-Г)

#### Выводы:

1. Технология устройства буроналивных свай по электроразрядным технологиям является универсальной. Она широко используется как в новом строительстве, так и в капитальном ремонте, а также реконструкции объектов.

2. Технологически все этапы производства буроналивных свай ЭРТ достаточно серьезно разработаны. Весь комплекс геотехнических работ объединен в единый технологический регламент, что позволяет на каждом цикле обеспечить высокое качество готовой сваи ЭРТ.

#### Список использованных источников

1. Ильичев В.А., Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2012. № 2. С. 17–20.

2. Родионов В.Н., Сизов И.А., Цветков В.М. Основы геомеханики. М.: Недра, 1986. 301 с.

3. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: Геореконструкция, 2010. 551 с.

4. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов. М.: АСВ, 2009. 550 с.

5. Ухов С.Б. Механика грунтов, основания и фундамента. М.: Высшая школа. 2007. 561 с.

6. Соколов Н.С., Викторова СС. Исследование и разработка устройства для изготовления буроналивных свай ЭРТ // Строительство: Новые технологии - новое оборудование. 2017. №12.С. 37-42.

7. Sokolov N., Ezhov S., Ezhova S. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem //Journal of Applied Engineering Science. 2017. Т.15. №4.С . 518-523.

8. Соколов Н.С., Петров М.В., Иванов В.А. Проблемы расчета буринъекционных свай, изготовленных с использованием разрядно-импульсной технологии // В сборнике: Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции. Материалы VIII Всероссийской (II Международной) конференции. Редакционная коллегия: Н.С. Соколов (отв. редактор), Д.Л. Кузьмин (отв. секретарь), А.Н. Плотников, Л.А. Сакмарова, А.Г. Лукин, В.Ф. Богданов, В.И. Тарасов. 2014. С. 415-420.

9. Соколов Н.С., Соколов А.Н., Соколов С.Н., Глушков В.Е., Глушков А.В. Расчет буринъекционных свай ЭРТ повышенной несущей способности // Жилищное строительство. 2017. №11. С. 20-25.

10. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Опыт восстановления здания Введенского

кафедрального собора в городе Чебоксары // Геотехника. 2016. №1. С. 60-65.

11. Соколов Н.С., Соколов А.Н., Соколов С.Н., Глушков В.Е., Глушков А.В. Расчет буринъекционных свай ЭРТ повышенной несущей способности // Жилищное строительство. 2017. №11. С. 20-25.

12. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Опыт восстановления здания Введенского кафедрального собора в городе Чебоксары // Геотехника. 2016. №1. С. 60-65.

13. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н., Федоров П.Ю. Использование буринъекционных свай ЭРТ в качестве оснований фундаментов повышенной несущей способности // Промышленное и гражданское строительство. 2017. №9. С. 66-70.

УДК 624.1

---

### СВАИ ЭРТ ПРИ УСИЛЕНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

---

*Соколов Николай Сергеевич*

*Зав. кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», к.т.н., доцент, член РОМГГиФ и ISSMGE. Директор ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», ООО НПФ «ФОРСТ» г. Чебоксары,*

### THE USE OF EDT PILES IN STRENGTHENING THE FOUNDATIONS OF INDUSTRIAL BUILDINGS

*Sokolov Nikolay Sergeevich*

*Head of the Department of "Construction Technologies, Geotechnics and Construction Economics", Ph.D., Associate Professor, member of the ROMGGiF and ISSMGE. Director. FGBOU VO "ChSU named after I.N. Ulyanov", LLC NPF "FORST", Cheboksary.*

Буринъекционные сваи, изготавливаемые по электроразрядным технологиям (сваи ЭРТ) показали высокую эффективность при усилении оснований реконструируемых и аварийных зданий. Сваи ЭРТ по сравнению с другими буринъекционными и буронабивными сваями имеют повышенные значения несущей способности, как по грунту, так и по материалу. В статье приведены случаи из строительной геотехнической практики усиления основания фундаментов промышленных корпусов по производству легковых автомобилей и кузнечно-штамповочного цеха по изготовлению деталей ходовой части гусеничных тракторов. Благодаря использованию буринъекционных свай ЭРТ удалось предотвратить аварийные ситуации на этих объектах.

Boron-injection piles manufactured using electrical engineering technologies (EDT piles) have shown high efficiency in strengthening the foundations of reconstructed and emergency buildings. EDT piles, in comparison with other drilling and drilling piles, have increased values of bearing capacity, both on the ground and on the material. The article presents cases from the construction geotechnical practice of strengthening the foundations of industrial buildings for the production of passenger cars and forging and stamping shop for the manufacture of chassis parts of tracked tractors. Thanks to the use of drilling-injection piles of EDT, it was possible to prevent emergencies at these facilities.

**Ключевые слова:** несущая способность, электроразрядная технология (ЭРТ), буринъекционная свая, железобетонный каркас, кузнечный молот, мостовой кран.

**Keywords:** load-bearing capacity, electric discharge technology (EDT), drill-injection pile, reinforced concrete frame, forging hammer, bridge crane.

Обеспечение условий безаварийной эксплуатации зданий и сооружений является основополагающим фактором для всех этапов строительства и эксплуатации. Особенно это

актуально для реконструируемых зданий, а также для зданий предполагаемых к увеличению нагрузок сверх проектных величин.

Ниже рассмотрим случай №1 усиления основания фундаментов одноэтажного производственного корпуса по выпуску легковых автомобилей. Реконструируемое здание представляет собой одноэтажное каркасное сооружение с монолитными железобетонными столбчатыми фундаментами, сборными железобетонными колоннами и сборными стропильными фермами пролетом 24,0 м и 18,0 м. Производственный корпус имеет размеры в плане (см. рис. 1а) в осях Г-Ж и 3-23 – 66,0×120,0 м с двумя пролетами по 24,0 м и одним пролетом 18,0 м. Шаг колонн вдоль буквенных осей – 12,0 м. В каждом пролете функционируют по 2 мостовых крана. В пролетах Г/Д и Д/Е по два крана грузоподъемностью по 500 кН, а в пролете Е/Ж – 2 крана по 200 кН.

В 2000 г. начались проблемы с эксплуатацией корпуса. При наиболее невыгодных сочетаниях крановых нагрузок обнаружены перекосы подкрановых путей. Перепады имеют циклический характер, т.е. величины деформаций знакопеременны. Высокоточные геодезические наблюдения за осадками фундаментов железобетонных колонн подтвердили высокие значения неравномерных деформаций достигающих до 150 мм. На участках с наиболее высокими значениями неравномерных осадок эксплуатация мостовых кранов стала затруднительной.

Таким образом возникла предаварийная ситуация при которой дальнейшая эксплуатация корпуса стала опасной.

Технической комиссией во главе с главным архитектором завода поручено срочно разработать мероприятия по предотвращению предаварийной ситуации на объекте. Она обратилась к ООО НПФ «ФОРСТ» с просьбой выявить причину деформаций и разработать мероприятия по восстановлению эксплуатационной надежности проблемного производственного корпуса.

Было принято решение укрепления основания фундаментов буроинъекционными сваями, изготавливаемыми по разрядно-импульсной технологии (сваи ЭРТ) [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] с одновременным ведением геотехнического мониторинга.

Инженерно-геологический разрез представлен с поверхности насыпными грунтами мощностью до

2,0 м., ниже залегают супеси пластичной консистенции до 5,5 м толщиной. Далее залегают глина твердой консистенции мощностью до 2 м. Подстилающим слоем служат **мелкие пески средней плотности водонасыщенные.**

Анализ инженерно-геологических условий позволил предположить, что основная причина деформаций фундаментов – **тиксотропия** (способность грунта разжижаться от механического воздействия и увеличивать вязкость в состоянии покоя) грунтов несущего слоя. Пески подвержены этому процессу. Механические воздействия выражены в виде динамических нагрузок от мостовых кранов, как правило, они действуют неравномерно. Так, например, при воздействии кранов на основание по конкретной оси, то в этом месте возникает участок разжижения, а на других осях, где отсутствует воздействие крановых нагрузок, основание эксплуатируется в условиях отсутствия аварийной ситуации.

**Тем самым фундаменты под колонны «тонут» по очереди,** увеличивая крены каркаса, что усугубляет эксплуатацию кранов. После прекращения динамических воздействий деформации фундаментов прекращаются.

Согласно поручению комиссии ООО НПФ «ФОРСТ» разработало проект усиления основания фундаментов с помощью буроинъекционных свай ЭРТ. Сваи Ø 200 и длиной 12,0 пронизывают нижнюю ступень столбчатых фундаментов. Несущим слоем пяти свай являются пески мелкие водонасыщенные. Количество свай ЭРТ под разные фундаменты отличается. Так по оси «Ж» - 6 шт.; по оси «Е» - 14 шт.; по оси «Д» - 18 шт.; по оси «Г» - 10 шт. (рис. 1а). На рис. 1б приведен инженерно-геологический с вертикальной привязкой фундаментов, а на рис. 1 в фрагмент плана свай ЭРТ усиления основания фундаментов.

Осуществление мероприятий по усилению оснований фундаментов с помощью буроинъекционных свай ЭРТ позволило создать условия для безаварийной работы мостовых кранов и всего железобетонного каркаса прессового корпуса в целом.

Геотехнический мониторинг за деформацией оснований фундаментов подтвердил их отсутствие после завершения работ по устройству свай ЭРТ.

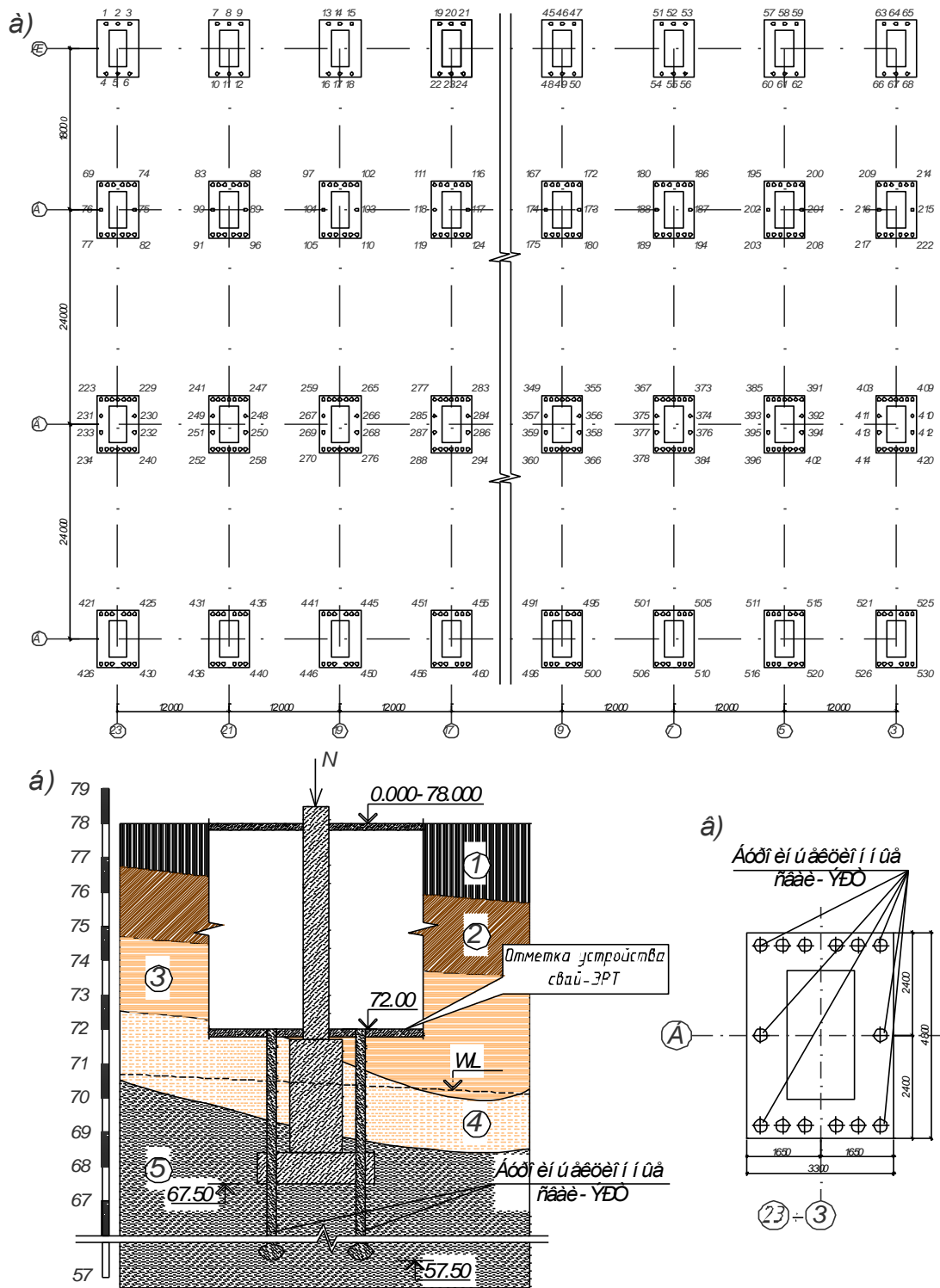


Рис. 1. а - План расположения буринъекционных свай-ЭРТ;  
 б - Сечение фундамента в осях Д/12 с привязкой в инженерно-геологический разрез; в - план буринъекционных свай-ЭРТ усиления основания в осях Б/5.  
 1 - насыпной грунт; 2 - суглинок полутвердый; 3 - супесь; 4 - глина твердая; 5 - пески мелкие водонасыщенные.

**Второй случай успешного применения буринъекционных свай-ЭРТ** при ликвидации аварийной ситуации здания кузнечно-штамповочного цеха (КШЦ) агрегатного завода в г. Чебоксары. Благодаря воздействию динамических нагрузок от 10 кузнечных молотов здание пришло в аварийное состояние. На всех кирпичных стенах

ограждения появились деформационные трещины имеющие тенденцию к увеличению. Появившаяся неравномерность деформаций каркаса привела к сбоям эксплуатации мостовых кранов. Кроме того размеры площадок опираний плит покрытий, а также строительных ферм и подкрановых путей в ряде случаев уменьшились до величин близких к

аварийной ситуации. Для предотвращения аварийной ситуации чрезвычайная комиссия под эгидой управления капитального строительства завода поручила ООО НПФ «ФОРСТ» разработать противоаварийные мероприятия, включающие: 1) обследование технического состояния аварийного здания; 2) разработка мероприятий по минимизации отрицательного влияния вибраций от воздействия кузнечных молотов на здание цеха и прилегающие сооружения; 3) производство работ по восстановлению эксплуатационной надежности здания КШЦ.

Наиболее рациональной и приемлемой конструкцией усиления основания фундаментов была принята и использована буроинъекционная свая, изготавливаемая по разрядно-импульсной технологии (свая ЭРТ). Свая ЭРТ [5, 6] обладающая рядом преимуществ по сравнению с буроинъекционными сваями без уплотнения стенок скважин и буронабивными сваями, в том числе повышенными значениями несущей способности,

примерно в 1,5÷1,8 раза, как по грунту, так и по телу, что предполагает компактное размещение их в теле усиливаемого фундамента.

Проектом противоаварийных мероприятий предусмотрено усиление оснований фундаментов каркаса и кузнечных молотов №1,3 с массой ударных частей  $Q=30$  кН и №5,7 с массой ударных частей  $Q=50$  кН. На рис. 2 приведен план усиления оснований фундаментов каркаса здания цеха и кузнечных молотов №1,3,5,7.

Здание кузнечно-штамповочного цеха Чебоксарского агрегатного завода представляет каркасное сооружение с размерами в плане в осях (А÷Е)/(1÷20) – 30,0×114,0 м. Фундаменты здания монолитные железобетонные с глубиной заложения 2,5 м. Колонны - сборные железобетонные двухветвевые. Конструкции покрытия - железобетонные ребристые плиты покрытия по стальным строительным фермам. В цеху функционируют десять кузнечных молотов.

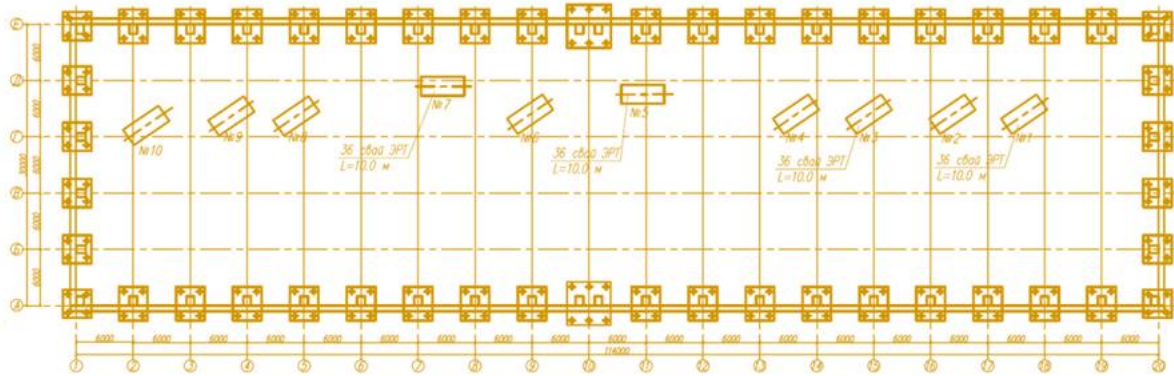


Рис. 4 План свайного поля из буроинъекционных свай ЭРТ

Рис.2. План свайного поля из буроинъекционных свай ЭРТ усиления оснований фундаментов каркаса и кузнечных молотов №№1,3,5,7.

Инженерно-геологические условия строительной площадки представлены от поверхности насыпными грунтами мощностью до 2,0 м, ниже залегает суглинок тугопластичный мощностью 3÷3,5 м. Ниже подстилается суглинок мягкопластичный, под которым залегает глина алевроитовая тугопластичная.

В таблице 1 приведены физико-механические свойства грунтов, а на рис. 3 инженерно-геологический разрез с вертикальной привязкой фундаментов железобетонного каркаса здания и кузнечного молота №3.

Таблица 1

Физико-механические свойства грунтов

№ слоев	Удельный вес, $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Показатель текучести, $I_L$ , д.е	Угол внутреннего трения, $\phi$ , град	Удельное сцепление, $C$ , кПа	Модуль общей деформации, $E_0$ , кПа
1	$R_0 = 100$ кПа				
2	18,5	0,45	27°	40	6500
3	19,01	0,58	20°	15	5400
4	21,0	0,15	32	45	12500



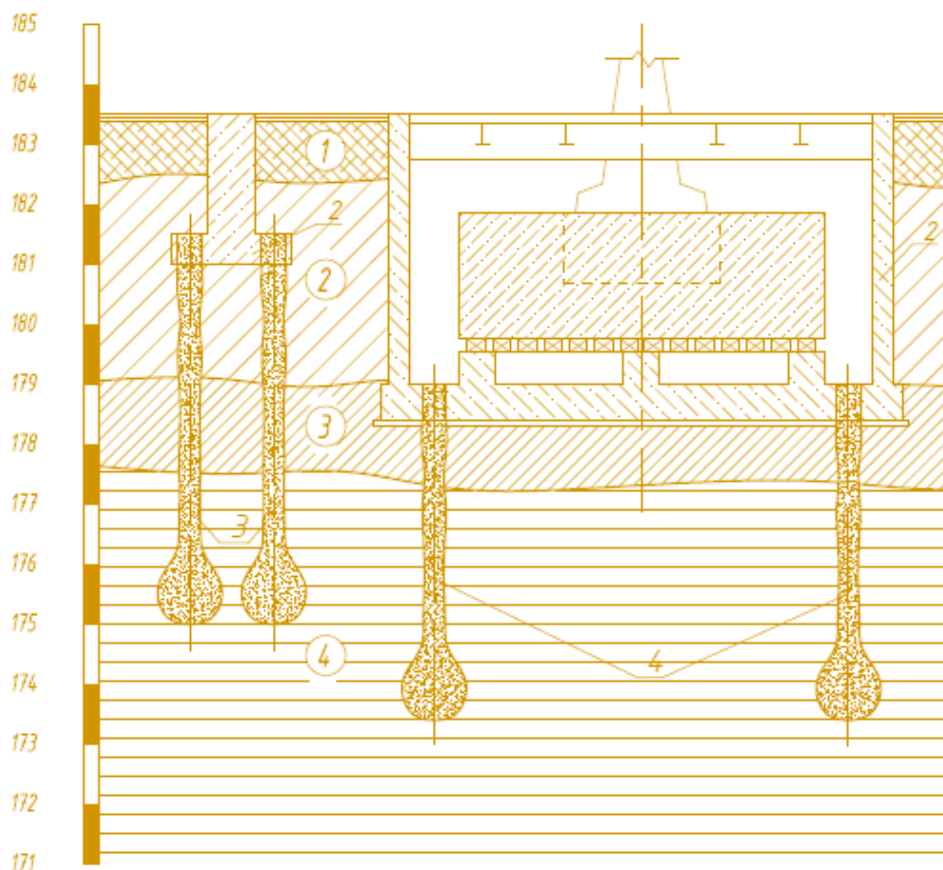


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез с вертикальной привязкой заглубленных железобетонных конструкций

1 – фундамент каркаса здания; 2 – фундамент кузнечного молота; 3 – буроинъекционные сваи–ЭРТ усиления оснований фундаментов каркаса; 4 – буроинъекционные сваи – ЭРТ усиления оснований фундаментов кузнечных молотов; «1» – насыпной слой; «2» – суглиной тугопластичный; «3» – суглинок мягкопластичный; «4» – глина алевритистая тугопластичная.

Производство работ по усилению основания фундаментов каркаса и молотов производила ООО Научно-производственная фирма «ФОРСТ». Вовремя производства работ по реконструкции и после в течение года производился геотехнический мониторинг.

Кроме того были организованы исследования динамического воздействия кузнечных молотов на основании [1].

Измерения проводились в феврале 2002 г. в молотовом отделении КШЦ Чебоксарского агрегатного завода. Регистрировались колебания при работе молотов №№1,3,5,7 и №6 в осях 12-13. Кроме того, в ряде случаев работали молота №№2,4,10, что не оказывало в точках измерения значительных изменений. Выбор источников воздействия и точек измерения определялся их близостью к месту установки нового молота в осях 16-17.

Исследования [1] подтвердили, что свайное поле из свай ЭРТ удовлетворяет требованиям п. 1.21 СНиП 2.02.05-87 "Машины с динамическими нагрузками". Статическое давление под подошвой условного фундамента колонн составляет 240 кПа, что меньше расчетного сопротивления грунта

основания 330 кПа. Это указывает на допустимость имеющихся вибраций с точки зрения образования дополнительных осадков фундаментов колонн.

Таким образом, усиление оснований фундаментов каркаса и кузнечных молотов с помощью буроинъекционных свай позволили ликвидировать аварийную ситуацию здания кузнечно-штамповочного цеха.

Вывод:

В статье приведены два удачных примера использования буроинъекционных свай ЭРТ для предотвращения критических (предаварийных) состояний каркаса зданий. Использование этих свай в качестве свай усиления оснований позволили продлить срок службы этих зданий приведя их в безаварийные эксплуатируемые состояния.

#### Список использованных источников

1. Заключение «Инструментальное обследование здания КШЦ и прогнозирование колебаний проектируемого фундамента на кузнечный молот 17КШ 5 т/с» на Чебоксарском агрегатном заводе». НИИ оснований и подземных сооружений. Москва. 2002 г.



2. Ильичев В.А., Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Опыт освоения подземного пространства российских мега-полисов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2012. № 2. С. 17–20.
3. Родионов В.Н., Сизов И.А., Цветков В.М. Основы геомеханики. М.: Недра, 1986. 301 с.
4. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: Георекострукция, 2010. 551 с.
5. Sokolov N., Ezhov S., Ezhova S. PRESERVING THE NATURAL LANDSCAPE ON THE CONSTRUCTION SITE FOR SUSTAINABLE ECOSYSTEM // Journal of Applied Engineering Science. 2017. Т.15. №4. С. 518-523.
6. Соколов Н.С. Технология увеличения несущей способности основания // Строительные материалы. 2019. №6. С. 67-71.
7. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Опыт восстановления здания Введенского кафедрального собора в городе Чебоксары // Геотехника. 2016. №1. С. 60-65.
8. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н., Федоров П.Ю. Использование бурильно-кессонных свай ЭРТ в качестве оснований фундаментов повышенной несущей способности // Промышленное и гражданское строительство. 2017. №9. С. 66-70.
9. Никанорова И.В., Соколов Н.С. Строительство и территория-альное освоение оползнеопасных склонов Чебоксарского водохранилища // Жилищное строительство. 2017. №9. С.13-19.

УДК 624.1

## **БУРОИНЪЕКЦИОННЫЕ СВАИ НА СВАЯХ ЭРТ СТРУКТУРНО-НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ**

**Соколов Николай Сергеевич**

*Зав. кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», к.т.н., доцент, член РОМГГиФ и ISSMGE. Директор ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», ООО НПФ «ФОРСТ» г. Чебоксары,*

**Сергеев Сергей Валентинович**

*Профессор кафедры «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», д.т.н., ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары,*

### **FOUNDATIONS ON PILES ERT IN CHALK GROUND**

**Sokolov Nikolai Sergeevich**

*Head Department of "Building Technologies, Geotechnics and Economics of Construction", Ph.D., Associate Professor, member of ROMGGiF and ISSMGE. Director FGBOU VO "Chuvash State University named after I.N. Ulyanova, LLC NPF FORST Cheboksary,*

**Sergeev Sergey Valentinovich**

*Professor of the Department of Construction Technologies, Geotechnics and Economics of Construction, Doctor of Technical Sciences, FGBOU VO "Chuvash State University named after I.N. Ulyanova, Cheboksary,*

В статье рассмотрены инженерно-геологические условия на участке строительства Белгородского госуниверситета. В результате инженерно-геологических изысканий выделено 6 инженерно-геологических элементов (ИГЭ). Здесь в качестве основания используют меловые грунты разной несущей способности. Описаны основные свойства мелов с учетом их увлажнения. Произведено обоснование использования в таких условиях разрядно-импульсных технологий устройства бурильно-кессонных свай.

The article considers engineering and geological conditions at the construction site of the Belgorod State University. As a result of engineering-geological surveys, 6 engineering-geological elements (EGE) were identified. Here, chalk soils of different bearing capacity are used as a base. The main properties of chalks are described taking into account their moisture content. The substantiation of the use of discharge-pulse technologies for the installation of bored injection piles under such conditions has been made.

**Ключевые слова:** инженерно-геологические условия, меловые грунты, механические характеристики, несущая способность свай ЭРТ, разрядно-импульсные технологии, уширения, расчетное сопротивление.

**Keywords:** engineering-geological conditions, chalk soils, mechanical characteristics, bearing capacity of EDT piles, discharge-pulse technologies, broadening, design resistance.

В связи с расширением строительства на территории Белгородского государственного университета (БелГУ) была поставлена задача по технико-экономическому обоснованию использования различных типов свай. Рассматривались призматические забивные сваи с

размерами поперечного сечения  $\text{Ø}35 \times 35$  см и длиной 18,0 м (С 18-35) и бурой инъекционные сваи изготавливаемые по электроразрядной технологии (сваи-ЭРТ) диаметром бурения  $\text{Ø} 300$  и длиной 18,0 м.

Инженерно-геологические условия участка строительства относятся к сложным в связи с наличием в основании меловых отложений.

1. Мел представляет собой мягкую неслоистую тонкозернистую слабоцементированную породу обычного белого, реже желтовато-серого цвета. Эта порода состоит из тонких (2-10 мкм) зерен кальцита, его обломков, остатков кокколлитов (2-5 мкм) и фораминифер. Отдельные слои мела почти полностью состоят из кокколлитов, или кокколлиты преобладают в них. Мел отличается от известняков достаточно меньшей твердостью и наличием микроканалов, образованных микроорганизмами, которые, питаясь мелом, пронизывают его в разноориентированных направлениях. Мел интенсивно впитывает воду и при этом его прочность в водонасыщенном состоянии резко снижается. Кроме того, он обладает свойством тиксотропности, что является ценным строительным качеством для заглубленных сооружений, таких как забивные, задавливаемые и буровые сваи.

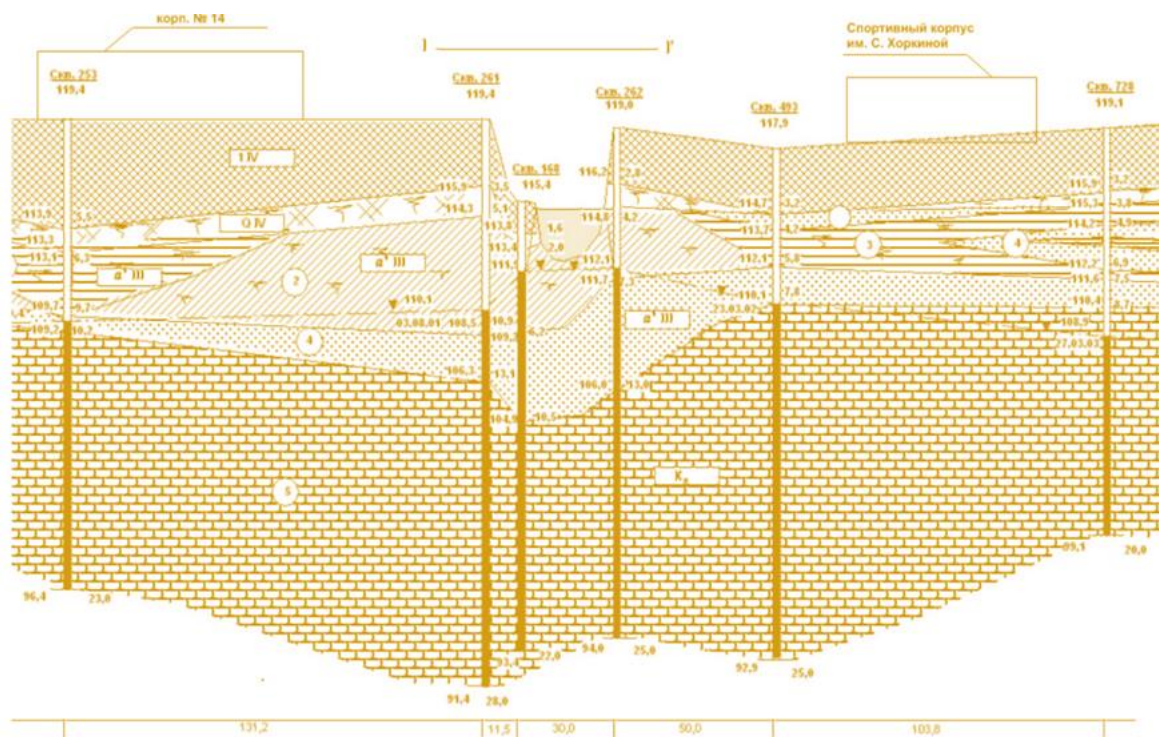
2. В Белгородской области в долинах рек меловые отложения все больше применяются в

качестве оснований свайных фундаментов. На рис. 1 приведен инженерно-геологический разрез в районе строительства корпуса №14 и спортивного корпуса имени С. Хоркиной БелГУ.

В геологическом отношении участок до глубины 30 м сложен грунтами четвертичной и меловой систем. Четвертичная система представлена аллювиальными отложениями, которые залегают под насыпными грунтами и имеют мощность 619 м. Аллювиальные отложения представлены «слабыми» водонасыщенными зеленатоватыми суглинками, глинами и мелкими и средней крупности водонасыщенными песками. Причем глинистые грунты залегают в верхней части толщи этих отложений, местами они заторфованы.

Отложения четвертичной системы залегают на размытой поверхности меловой системы представленной белым писчим мелом, водонасыщенным и разрушенным процессами выветривания в кровле до глиноподобного состояния. Вскрытая мощность отложений меловой системы составляет более 20,0 м.

В результате инженерно-геологических изысканий в районе строительства корпусов БелГУ выделено 5 инженерно-геологических элементов (ИГЭ): ИГЭ - 1а; ИГЭ - 1; ИГЭ - 2; ИГЭ - 3; ИГЭ - 4; ИГЭ - 5.



*Рис. 1. Инженерно-геологический разрез по линии «корпус 14 – спортивный центр им. С. Хоркиной»*

Как видно из приведенных выше физико-механических свойств грунтов, грунты слагающие участок строительства БелГУ практически все за исключением песка ИГЭ-4 относятся к структурно-неустойчивым.

Гидрогеологические условия площадки характеризуются наличием двух горизонтов грунтовых вод.

Из изложенного следует, что инженерно-геологические условия БелГУ являются сложными и относятся к III категории сложности по СП 47.13330.2012 [3]. Это предопределило применение

свайных фундаментов для проектируемых корпусов университета.

Начало строительства корпусов университета относится к концу 70-х годов. При этом инженерно-геологические изыскания под проектирование главного корпуса проводились без статического зондирования. Так как практически все грунты под главным корпусом были «слабыми», были приняты свайные фундаменты длиной до 24 м. То есть в качестве естественного основания был принят древесно-естественный мел.

В 80-х годах в связи с появлением метода статического зондирования при дальнейших изысканиях удалось более точно установить границу между текучими и текучепластичными мелями. Соответственно повысилось качество проектирования и под некоторыми новыми корпусами были приняты сваи до 18 м. При этом для оценки несущей способности свай наряду со статическим зондированием проводились испытания свай динамическими нагрузками с продолжительностью «отдыха» свай 15-20 суток.

В 90-х годах для оценки несущей способности свай кроме статического зондирования начали применять более точный метод испытания свай статическими нагрузками [6, 7, 8, 9, 10]. Это позволило принимать длину свай 15-16 м. В

основном применяются забивные составные сваи. В последний период времени широкое применение в фундаментостроении находят буроинъекционные сваи с использованием разрядно-импульсных технологий (ЭРТ) [2]. По нашему мнению они могут применяться в рассмотренных инженерно-геологических условиях.

Сваи изготавливаемые (сваи-ЭРТ) по разрядно-импульсной технологии обладают рядом преимуществ по сравнению с другими типами буровых свай, а в некоторых случаях даже со сваями погружаемыми в основание в готовом виде (это забивные и задавливаемые сваи).

Главное преимущество этих свай просматривается из формулы расчета несущей способности  $F_d$  по СП 24.13330.2011 [2]:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \sum_{i=1}^n \gamma_{cf} f_i h_i). \quad (1)$$

В формуле (7.11 [2]) значения коэффициента  $\gamma_{cf}$  приведены в табл. 7.6 [2], для свай ЭРТ колеблются в пределах 1,1÷1,3, а для буронабивных и набивных свай – в пределах 0,6÷0,9. Ниже в табл. 1 приведены сравнительные значения  $\gamma_{cf}$  для свай ЭРТ и других буронабивных свай.

Таблица 1

Сравнительные значения  $\gamma_{cf}$  для свай-ЭРТ и других буронабивных свай

№ п.п.	Сваи и способы их устройства	Коэффициент условий работы свай $\gamma_{cf}$			
		в песках	в супесях	в суглинках	в глинах
1	2	3	4	5	6
1	Буроинъекционные сваи, устраиваемые по разрядно-импульсной технологии	1,3	1,3	1,1	1,1
2	Сваи-столбы	0,7	0,7	0,7	0,6
3	Набивные при погружении инвентарной трубы с теряемым наконечником	0,8	0,8	0,8	0,7
4	Буровые	0,6÷0,8	0,6÷0,8	0,6÷0,8	0,6÷0,7

Анализируя значения в табл. 1 можно обнаружить, что только за счет коэффициента  $\gamma_{cf}$  несущая способность свай ЭРТ по боковой

поверхности превосходит в несколько раз  $F_u$  других типов свай (см. табл. 2).

Таблица 2

Значения превышений коэффициента  $\gamma_{cf}$  для свай-ЭРТ по отношению  $\gamma_{cf}$  для других типов свай

$\gamma_{cf1}/\gamma_{cfi}$	в песках	в супесях	в суглинках	в глинах
1	2	3	4	5
$\gamma_{cf1}/\gamma_{cf2}$	1,86	1,86	1,58	1,84
$\gamma_{cf1}/\gamma_{cf3}$	1,63	1,63	1,38	1,58
$\gamma_{cf1}/\gamma_{cf4}$	1,63÷2,17	1,63÷2,17	1,38÷1,84	1,58÷1,84

Примечание: Нумерация индексов к коэффициенту  $\gamma_{cf}$  см. поз. 1,2,3,4 из табл. 1.

Коэффициент  $\gamma_{cR}$  в формуле 1 для свай ЭРТ принимается равным 1,3, а для других типов буронабивных свай  $\gamma_{cR}=0,9÷1,0$ . Таким образом, несущая способность свай ЭРТ под нижним концом превышает  $F_u$  других типов буровых свай в 1,3÷1,5 раза.

Расчеты приведенные выше справедливы только для буровых свай по той причине что

величины расчетных сопротивлений под нижним концом  $R$  и по боковой поверхности  $f_i$  определяется по одним и тем же таблицам из СП 24.13330.2011 [2] (табл. 7.3 для значений  $f_i$  и табл. 7.8 для значений  $R$ ).

При проведении сравнительных расчетов несущей способности  $F_d$  свай-ЭРТ и свай погружаемых в грунт в готовом виде (забивных и

задавливаемых) превышения значений  $\gamma_{cf}$  и  $\gamma_{cr}$  явно недостаточно. Так например если несущая способность любых типов свай по боковой поверхности определяется по значениям табл. 7.3 [2], то несущая способность свай под нижним концом определяется по разным таблицам [2]. Если значения  $R$  для буровых свай, в том числе свай-ЭРТ определяется по табл. 7.8 [2], то  $R$  для забивных и задавливаемых свай-по табл. 7.2 [2]. Значения  $R$  по табл. 7.2 [2], превышают значения табл. 7.8 в 1,5÷7 раз. Тем самым прямые расчеты  $F_u$  по формуле (1) для свай-ЭРТ могут оказаться меньше чем  $F_u$  для свай погружаемых в грунт в готовом виде.

Проблема повышения несущей способности  $F_d$  свай ЭРТ по грунту является одной из главных задач геотехнического строительства. На наш взгляд одним из направлений увеличения ее является устройство дополнительных промежуточных опор (подпятников) [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Дополнительные уширения (подпятники) существенно увеличивают несущую способность свай буронабивной свай ЭРТ.

Кроме того на площадке строительства дополнительно приведены исследования оснований методом статического зондирования (т.3.1 и т.3.2) [1].

В точках зондирования на площадке корпуса №4 и спортивного корпуса имени С.Хоркиной по методике СП 24.13330.2021 [2] определены предельные сопротивления  $F_{ui}$  для забивных свай С 18-35: Результаты расчетов  $F_u$  приведены в табл. 3. Для точки зондирования (т.3.) №1  $F_{u1}=920,4$  кН, а для т.3. №2 -  $F_{u2}=1130,0$  кН.

Также оценена возможность применения свай ЭРТ в качестве альтернативы забивным сваям. Рассматривались буронабивные свай-ЭРТ Ø 300 и длиной  $l = 18,0$  м:

1. Свай-ЭРТ с уширением под пятой;
2. Свай-ЭРТ с уширением (подпятником) в водонасыщенных мелких песках на отметке – 9,2 ÷ 9,4 м и уширением под пятой.

Согласно поз. 14.10.5 и табл. 2 и 3 [7] диаметр камуфлетного уширения:

$$D_{ku}=d_c \cdot K_u, (2)$$

где  $d_c$  – диаметр бурения:  $d_c = 0,300$  м;

$K_u$  – коэффициент уширения:

Для мелких водонасыщенных песков равен 1,7, а для глинистых грунтов при  $0,75 < I_L \leq 1,0$

$$K_u=1,3.$$

Таким образом, диаметр промежуточного подпятника  $D_{ku}=0,30 \cdot 1,7=0,510$  м, а диаметр уширения под пятой  $D_{ku}=0,390$  м.

Предельное сопротивление свай – ЭРТ вертикальной нагрузке  $F_u$  по результатам статического зондирования следует определить по формуле 7.25 [2]:

$$F_u = \sum_{i=1}^n R_{si} \cdot A_{ui} + u \sum_{i=1}^n f_i \cdot h_i, (3)$$

где  $R_{si}$  – расчетные сопротивления под  $i$ -ым уширением (из графиков статического зондирования);

$A_{ui}$  – площадь  $i$ -го уширения;

$f_i$  – расчетное сопротивление по боковой поверхности (из графиков статического зондирования) на участках толщиной  $h_i$ , м.

Расчеты по определению  $F_u$  по формуле 3 для точек зондирования № 1 и 2 сведены в табл. 3.

По значениям величин  $\gamma_{cr} R \cdot A$  и  $\gamma_{cf} f_i \cdot h \cdot u$  определяем  $F_u$  для свай-ЭРТ (см. табл. 3).

Таблица 3

Результаты расчетов несущей способности свай ЭРТ с уширениями

Точки зондирования	Типы свай-ЭРТ	$\sum \gamma_{cr} R_i A_i$ , кН	$\sum \gamma_{cf} f_i \cdot h \cdot u$ , кН	$F_u$ , кН
1	Свая-ЭРТ с уширением под пятой	350,0	646,0	996,0 кН
	Свая-ЭРТ с подпятником и уширением под пятой	350,0+1396,0		2042,0 кН
2	Свая-ЭРТ с уширением под пятой	510	712,0	1222,0 кН
	Свая-ЭРТ с подпятником и уширением под пятой	510,0+1404,0		2226,0 кН

#### Выводы:

Благодаря наличию в основании строительства корпусов БелГУ меловых отложений наиболее оптимальными является буронабивные свай-ЭРТ. Тиксотропные свойства грунтов существенно повышают несущую способность  $F_d$  этих свай. Такие свай могут применяться на новых застраиваемых участках в долине реки Везёлка города Белгорода.

#### Список использованной литературы

1. Сергеев С.В., Рыбалов М.А. Инженерно-геологические условия функционирования комплекса Белгородского государственного университета / Научные ведомости НИУ «БелГУ», Серия Естественные науки. 2010. №3 (74). Выпуск 10.

2. СП 24.13330.2021 Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты. М.: Минрегион России, 2011. 85с.

3. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. (Актуализированная редакция СНиП 11-02-96). М.: Федеральное агентство по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (ГОССТРОЙ). 2013.

4. Соколов Н.С, Викторова СС. Исследование и разработка устройства для изготовления буринъекционных свай ЭРТ //Строительство: Новые технологии - новое оборудование. 2017. №12.С. 37-42.

5. Соколов Н.С. Технологические приемы устройства буринъекционных свай с многоместными уширениями //Жилищное строительство. 2016. 10. С. 54.

6. ГОСТ 5686-2012: Грунты. Методы полевых испытаний сваями. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. М., Стандартинформ, 2014. 42 с.

7. ТР 50-180-06 Технические рекомендации по проектированию и устройству свайных

фундаментов, выполняемых с использованием разрядно-импульсной технологии для зданий повышенной этажности (свай-РИТ). М.: Департамент градостроительной политики, развития и реконструкции города Москвы, 2006. 42 с.

8. Соколов Н.С, Викторова СС. Исследование и разработка устройства для изготовления буринъекционных свай ЭРТ //Строительство: Новые технологии - новое оборудование. 2017. №12.С. 37-42.

9. Sokolov N.,Ezhov S., Ezhova S. PRESERVING THE NATURAL LANDSCAPE ON THE CONSTRUCTION SITE FOR SUSTAINABLE ECOSYSTEM //Journal of Applied Engineering Science. 2017. Т.15. №4.С . 518-523.

10. Соколов Н.С. Технология увеличения несущей способности основания //Строительные материалы. 2019. №6.С. 67-71.

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

## ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ.

*Черкашин Юрий Семёнович*

### АННОТАЦИЯ

Суждения о природе энергии. Переходы одного вида в другой, изменения положения в пространстве.

**Ключевые слова:** тепловая энергия, виды энергии, трансформация температуры теплоносителей.

Наш древний предок, человек крутил между ладонями круглую палочку для того чтобы добыть огонь и разжечь костер. Это было преобразование механической энергии в тепловую. Оба вида энергии были привязаны к веществу – деревянной палочке и опоре.

Разгоревшийся костер начинал светить. В виде света и инфракрасного излучения тепловая энергия уходила в безвоздушное пространство – вакуум. Вакуум это часть материального пространства («эфира», «тёмной массы»), где нет инерционных масс, но что-то другое может существовать. Например, существует электрический пробой в вакууме! Если ничего нет, то какой пробой, чего? В пространстве космического корабля нет гравитационного воздействия. (для человека родившегося на корабле его точно нет, остальное - «сказания»). Здесь энергия двигается по «бездорожью». Что такое энергия, что может двигаться и по веществу и в пустоте? Мы знаем несколько основных видов энергии: механическая, тепловая, химическая, электрическая и магнитная, и атомная. (ядерная)

Возникновение разных видов энергии мы фиксируем в двух случаях: 1) Когда одно вещество – топливо вступает в реакцию со вторым веществом, условно, окислителем и 2) когда наблюдаем превращение одного вида энергии в другой.

Химическая реакция и превращение энергий есть некая работа. Результат остановленной работы, накопленная работа является **энергией**. Камень, поднятый над землей, летящий камень, заряженный электрический конденсатор и др. несут энергию. Но каменный уголь, уран являются топливом, а не носителями энергии. Для получения энергии нужен еще «окислитель» и устройство, в котором будет происходить работа.

Костер, водяная мельница, ветряная мельница, каменный уголь, газ, атомная энергия – всё это этапы использования человеком «на наших глазах» разных видов энергии.

Особняком стоит электрическая энергия. Она является превосходным транспортером для переноса энергии с места на место. Она всегда есть результат переработки другого вида уже полученной энергии в электрическую. Далее на местах опять идет её превращение в механическую, тепловую, световую и так далее. На собственную добычу электроэнергии немного похоже лишь работа гальванических элементов (батарейки, но не аккумуляторы). Для распространения

электрической энергии не обязательно наличие вещества. Она прекрасно передвигается в пространстве без опоры на что-либо!?

При этом 95 процентов людей не понимают, сколько какой энергии есть и сколько ее надо. Наш замечательный соотечественник – Михайло Ломоносов сформулировал закон сохранения: «Сколько от чего убавится, столько к другому присовокупится». Закон касается и веществ и энергий. Растворили в стакане воды ложку соли, вес стакана стал больше на вес ложки соли; Разогрели стакан воды на 50 градусов - тепловой энергии в нём стало больше. Мало кто скажет а на сколько увеличилась энергия и сколько это может стоить .

Проведём небольшой ликбез. несколько десятилетий тому назад человечество пользовалось единицей измерения силы – дина. Говорят, что это сила муравья. А сколько это? Дина ушла в прошлое так же, как вершок, аршин и тп. Теперь единица силы – «**НЬЮТОН**». Это сила, с которой, притягивается к Земле, например, пол стакана воды (точнее - 98,1 гр), или яблоко. Но это только сила. Если мы поднимем предмет с силой 1 ньютон с пола до пояса (примерно 1 метр), то совершим работу, равную **1 джоулю** (1 ньютон умножить на 1 метр). Это.- «механическая работа». Работа либо переводит один вид энергии в другой, либо ведет к накоплению или расходованию текущей. Остановленная, накопленная работа при возможности обратного использования приобретает название - энергия.

На нагрев чего-либо тоже требуется энергия. За единицу принято считать энергию разогрева одного кубического сантиметра воды (1 миллилитра) на 1 градус Цельсия, это **калория**. Потрудиться придётся одинаково и при разогреве 1 миллилитра воды на один градус и при подъеме яблока на высоту 4,18 метра. Или иначе, при подъеме яблока на высоту 1 метр мы затрачиваем только 0,24 калории. Для получения одной калории надо потрудиться в 4 раза больше, чем для выработки одного джоуля.

Если мы будем совершать такие подъемы за 1 секунду, то это будет мощность – **1 Ватт**. Если мы начнем упражняться с килограммовой гантелью (1000г =100 г\*10), то наша мощность будет уже 10 Ватт. Тут недалеко и до тысячи, то есть одного киловатта. Чуть меньше может лошадь -736 Ватт. Двигатель автомобиля ещё сильнее и проворнее - примерно 75-100 киловатт. Городские ТЭЦ, двигатели кораблей уже имеют мощности 100-500



миллионов Ватт (Мегаватт). Это мощности, то есть работа, всего лишь, за одну секунду

В обратном порядке: количество работы равно произведению мощности, с которой совершается эта работа, на время действия. Если будем работать с гантелью 15 секунд, то нарботаем энергии 150 Дж или 36 калорий. Чайная ложка воды (5 миллилитров) может быть подогрета на 7,2 градуса Цельсия.

Работа нагревателя мощностью 1 кватт в течение часа создает энергии 1 «кватт-час» =  $1000 \times 3600 \text{ секунд} = 3,6 \text{ мегаджоуля}$  или 860 килокалорий. Бочка воды (200 литров) разогреется от погруженного в нее кипятильника (мощностью 1 кватт) на 4,3 градуса. А чайник объемом 1,5 литра закипит за  $1,5 \times (100-20) \text{C}^0 / 860 = 0,14 \text{ часа}$ , то есть за 8,4 минуты.

Заметим, что поездка на автомобиле на 100 км потребует 5-10 литров бензина (с удельным запасом энергии 33 МДж на литр) будет использовано  $10 \times 30 = 300 \text{ МДж} = 82 \text{ кватт-часа}$  [2]

На электромобиле энергии потребуется в 2-3 раза меньше, так как электродвигатели имеют хороший КПД. Если пользоваться централизованным производством энергии на электростанциях, то преимущества электромобиля исчезают, так как электрические сети имеют низкую эффективность.

Вся энергия на Земле от солнца. Часть скрывается под поверхностью земли в каменном угле, в нефти, в газе. Часть льётся на Землю сейчас. Можно выделить три основных части потока: ультрафиолетовое излучение, световой и тепловой потоки. Под ультрафиолетовым потоком мы загораем, энергетически он очень слаб. Световой поток мы пытаемся улавливать солнечными батареями. Он несет небольшую энергию, главное его значение – под светом растут деревья, он является катализатором их роста. Световой поток энергетически слабый 200-300 ватт на один квадратный метр «солнечной батареи». При площади одного ската крыши дома 20 квадратных метров можно получить 5-6 кватт мощности. Этого достаточно для одной квартиры, пока светло. А ночь, короткий световой день зимой, снег на

крыше? Фабрики и заводы? Затея - «курам на смех»!

Тепловой поток - самый энергичный. Тепловой поток разогревает землю, воду и воздух. Влага поднимается в небо и оттуда падает на землю и ее возвышенности, стекает в виде рек. Мы строим платины и электростанции, Водохранилища сглаживают неравномерное поступление энергии. Однако на опыте знаем, что энергии гидростанций недостаточно.

Из предыдущего изложения мы должны были сделать вывод, как много энергии в теплоте воды и воздуха: **не в ветре, а в его теплоте**. Количество тепловой энергии в воздухе, в воде морей и океанов более, чем достаточно.

Проиллюстрируем это на примере города Москва. Общая установленная мощность объектов Мосэнерго 12,8 тысячи мегаватт, Можно оценить среднюю суточную рабочую мощность в 8-9 Гигаватт =  $(8-9) \times 10^9 \text{ Ватт}$ .

Площадь Москвы 2500 кв км. На каждом квадратном метре площади города, в среднем за час выделяется  $3600 \times 8 \times 10^9 / 2,5 \times 10^9 = 12 \text{ кДж}$ .

Удельная теплоемкость воздуха 1,3 кДж/(м<sup>3</sup>·C<sup>0</sup>). При охлаждении одного кубометра воздуха на 9,5 градусов или трёх кубометров на 3 градус можно получить такое же количество энергии. Воздух сменится за счет вертикальной и горизонтальной циркуляций.

Удельная теплоемкость воды много больше – 4180 кДж/(м<sup>3</sup>·C<sup>0</sup>)

Брать эту энергию мы плохо умеем!

Напомним об одном тепловом процессе - испарении. Удивительно, но люди не изучают энергию свободного испарения, с поверхности озер и морей отдельно от энергии испарения при кипении жидкости. По-существу это - два разных процесса. Последний представляет собой обмен тепловой энергией двух соприкасающихся теплоносителей, вода-воздух. Кипение происходит только при подаче энергии извне при одной «температуре кипения». Параметры этого процесса хорошо изучены для многих жидкостей, температур, давлений и пр.



Второй процесс – испарение. С позиции движения тепловой энергии практически не изучен. Мы приведем результаты двух опытов.

В банку небольшим количеством воды (30 г) на дно уложен плоский термометр (рис 1). Баночку закрываем воздухонепроницаемой крышкой. Через нескольких часов термометр начинает показывать

температуру помещения (23 град С<sup>0</sup>). Открываем крышку, и через 10-15 минут устанавливается температура 20 град С<sup>0</sup>. Вода и термометр охладилась на 3 град, около 100 кал, то есть 420 Дж. Мощность  $420/600\text{с}=0,7$  Вт. Площадь поверхности воды 33 см<sup>2</sup>. Удельная мощность 220-250 Вт/м<sup>2</sup>.



Еще опыт: трубчатый проволочный резистор обматываем тканью, смачиваем водой.

Температуру наружной поверхности измеряем пирометром. По рабочему проводниковому слою пропускаем электрический ток, такой величины, что бы наружный слой конструкции имел температуру помещения. Метод измерения относится к классу компенсационных, наиболее точных методов измерения. Количество тепла, уходящее с наружного слоя из-за испарения, компенсируется количеством тепла приходящего от рабочего слоя резистора. Рядом устанавливаем аналогичный резистор без подключения для контроля «свободной» температуры. Результаты измерений: Температура наружной поверхности и температура помещения, температура свободного резистора - 21 С<sup>0</sup>.

Электрическое сопротивление резистора – 8,2 Ом. Напряжение на резисторе 3,1 В. выделяемая мощность – 1,2 Вт. Площадь поверхности ткани 18 см<sup>2</sup> удельная мощность – 600 Вт/м<sup>2</sup>. Усредним по обоим опытам -.400-500 Вт/м<sup>2</sup>. Видим, что процесс испарения очень энергичный.

Интереснейший конвертор – испарение. Это, кажется, единственный механизм, когда изменение энергетического состояния происходит за счет внутренней энергии жидкости. При этом жидкость теряет энергию, остывает. Пополнение энергии происходит за счет солнечной радиации. Часто посредником является воздух.

Интересно, но мы знаем о процессе испарения так мало, что не можем даже объяснить, чем определяется нижний уровень температуры охлаждения. Где располагается выделившаяся энергия (прикреплена к молекулам)? Как и по какому пути, она возвращается при конденсации?

Этот процесс используется в холодильниках, кондиционерах, где в качестве жидкости применяют фреон. В этих устройствах и процесс

испарения, и обратный процесс конденсации находятся под нашим контролем.

Мы привыкли думать о каком-то самостоятельном движении энергии, но не говорим о принудительном переносе: переносе энергии, например, вместе с вращающимся волчком-юлой, переносе тепла в горячем чайнике. Перенос энергии вместе с теплоносителем, - ее перемещение не изучается. **В этом случае источники самой энергии и энергии для движения, для перемещения – разные.**

Одновременно ставим вопрос о переносе тепловой энергии **от холодного к теплому!**

Есть подсказка что делать: это современные кондиционеры воздуха домашние и промышленные. Теперь кондиционеры «умеют» работать на нагрев. Почитайте описание – КПД=400%. Это, на самом деле, не КПД, просто нам сообщают, что кондиционер перекачивает тепло внешнего воздуха к нам внутрь помещения, расходуя на перекачку меньше энергии, чем перекачивается тепловой энергии из одной области пространства в другую. Ведь, слабенький насос может перекачать много горячей воды, несущей большую энергию! Удивительно, но люди до сих пор не научились даже говорить о эффективности процесса передачи энергии в пространстве, энергии горячей воды, теплого воздуха (кроме электрической энергии). Кажется абсурдным вопрос о количестве передаваемой тепловой энергии от продуктов в холодильнике в помещении, в котором установлен холодильник.

Можно не производить новую энергию, а переместить уже готовую из других мест, где она уже есть. Два конкурирующих способа согреться в небольшом помещении: один установить камин, другой открыть двери в соседний большой нагретый зал с готовой тепловой энергией.

Кондиционер в режиме «нагрев» выполняет функцию **концентратора** энергии из широкой области пространства улицы в пространство комнаты. Как бы холодильник, у которого морозильную камеру установили на улице, а задний радиатор оставили в комнате.

Иногда такие устройства называют «тепловым насосом по системе воздух-воздух».

Изначальная функция кондиционеров была - рассеивать излишки тепловой энергии помещения в окружающем пространстве.

Мы делаем это расточительно, хотя могли бы часть энергии возвращать для **повторного использования**.

По крайней мере, на нагрев помещений можно не тратить каменный уголь, газ. А использовать тепло холодного окружающего воздуха или воды при их дополнительном охлаждении.

Каждая квартира в стене под окном, или каждый дом на крыше, или каждый город, район на берегу водоёма могут иметь собиратель тепловой энергии и регулятор ее температуры. Состав оборудования такой же, как у кондиционера, работающего на нагрев. Подчеркнем, что процесс экологически совершенно чистый!

Хорошо бы найти ещё способы «трансформировать» температуру: например, энергию 100 гр. жидкости при 40 С<sup>0</sup> передать 50 гр. той же жидкости с температурой 80 С<sup>0</sup>. Видимо, полезно вернуться к «новым паровозам»

Возникает предположение, что знергия есть движение, колебание эфира, темной энергии, структур гораздо более мелких, чем атомы и электроны.

#### Цитируемая литература.

1. Черкашин ЮС. Перемещение энергии. Испарение. Общество и наука: векторы развития: материалы 111 Всерос.науч-практ. Конф. (Чебоксары.28 декабря2022 г.) /гл. ред. О.Н. Широков: Интерактив плюс. 2022 г.

[https://interactive-science.media/article/555195/discussion\\_platform](https://interactive-science.media/article/555195/discussion_platform)

2. Черкашин ЮС. Электромобиль или автомобиль «на газе»? Сборник материалов конференции. Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития. Чебоксары, ЦНС Интерактив плюс, дек 2017 г.

[https://interactive-plus.ru/article/466545/discussion\\_platform](https://interactive-plus.ru/article/466545/discussion_platform)

DOI: 10.21661/r-558824

УДК 004.891.3

---

## РАЗВЕРТЫВАНИЕ МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ STREAMLIT

---

*Хамимдова Д.Н.*

*Технологический университет Таджикистана, Душанбе, 734061, Республика Таджикистан*  
<https://orcid.org/0000-0003-0716-6209>

### DEPLOYING MACHINE LEARNING MODEL WITH STREAMLIT

*D. N. Khamimdova*

*Technological University of Tajikistan, Dushanbe, 734061, Republic of Tajikistan*  
<https://orcid.org/0000-0003-0716-6209>

#### АННОТАЦИЯ

Развертывание моделей машинного обучения (МО) становится все более популярным выбором среди разработчиков и специалистов по данным благодаря ее многочисленным преимуществам и потенциальным применениям. В данной статье обсуждается процесс развертывания модели МО с использованием данных МРТ, и описывается, как она была развернута с помощью Streamlit, популярной библиотекой Python для создания интерактивных веб-приложений. Результаты демонстрируют эффективность модели искусственного интеллекта (ИИ) для выявления болезни Альцгеймера. Объясняются этапы подготовки модели ИИ к развертыванию, включая предварительную обработку данных. Затем демонстрируются, создание приложения, которое позволяет пользователям взаимодействовать с моделью ИИ, вводя данные и получая прогнозы. Целью является обсуждение реализации и развертывания модели ИИ, способной выявлять болезнь Альцгеймера по данным МРТ.

#### ABSTRACT

Deploying machine learning (ML) models is becoming an increasingly popular choice among developers and data scientists due to its many benefits and potential applications. This article discusses the process of deploying an ML model using MRI data and describes how it was deployed using Streamlit, a popular Python library for building interactive web applications. The results demonstrate the effectiveness of an artificial intelligence (AI) model for detecting Alzheimer's disease. Explains the steps involved in preparing an AI model for deployment, including data preprocessing. It then demonstrates how to build an application that allows users to interact with the AI model by entering data and getting predictions. The goal is to discuss the implementation and deployment of an AI model capable of detecting Alzheimer's disease from MRI data.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, модель, машинное обучение, болезнь Альцгеймера, набор данных, алгоритм, точность.

**Key words:** artificial intelligence, model, machine learning, Alzheimer's disease, data set, algorithm, accuracy.

В настоящее время ИИ становится все более широко распространенным и востребованным инструментом в различных сферах человеческой деятельности. Машинное обучение и глубокое обучение, как часть искусственного интеллекта, играют ключевую роль в создании инновационных приложений и решении сложных задач. Однако проблемой часто является не только разработка и обучение моделей, но и их успешное развертывание, и предоставление пользователю.

Развертывание моделей МО с помощью Streamlit становится все более популярным выбором среди разработчиков и специалистов по данным. Streamlit — это мощная платформа с открытым исходным кодом, которая позволяет легко создавать интерактивные веб-приложения. Благодаря своей простоте и гибкости он быстро завоевал популярность в сообществе ИИ как предпочтительный инструмент для демонстрации и развертывания моделей машинного обучения.

Благодаря достижениям в алгоритмах машинного обучения и доступности больших наборов данных модели ИИ теперь могут помочь в раннем обнаружении и диагностике заболеваний. Одним из таких заболеваний является болезнь Альцгеймера (БА), наиболее распространенный тип деменции, состояния, при котором головной мозг перестает выполнять свои функции должным образом. На ранней стадии симптомы деменции

могут быть минимальными, но по мере того, как болезнь оказывает все большее влияние на мозг, симптомы усиливаются. Постепенно прогрессирует снижение памяти и мыслительных процессов, нарушается ориентация в пространстве и во времени, появляется неспособность к обучению, изменения в личности, приводящие к её полному распаду [1]. От этой болезни страдают миллионы людей во всем мире. Поэтому раннее выявление БА имеет важное значение для эффективного лечения и контроля заболевания. Для развертывания модели ИИ, способной выявлять болезнь Альцгеймера по данным МРТ сначала нужно обучить модель ИИ, используя набор данных МРТ.

### Методы

Данные, которые используются в данной работе, были созданы в рамках проекта Open Access Series of Imaging Studies (OASIS), которые можно использовать для различных моделей машинного обучения для раннего выявления легкой и умеренной деменции (таблица 1). Набор данных состоит из 150 субъектов в возрасте от 60 до 96 лет, полученных с помощью одного и того же сканера с использованием идентичных последовательностей. Каждый субъект был просканирован во время двух или более посещений с промежутком не менее одного года, всего 373 сеанса визуализации [2].

Таблица 1.

Описание набора данных

Название столбцов	Описание
Subject ID	Идентификация по ID
MRI ID	Идентификация по МРТ
Group	Деменция, слабоумие, недеменция
Visit	Посещение врача
MR Delay	Время задержки (контрастность)
M/F	Пол
Hand	Левша или правша
Age	Возраст
EDUC	Образование (годы в обучения)
SES	Социальноэкономический статус
MMSE	Мини-обследование психического состояния
CDR	Клинический рейтинг деменции
eTIV	Расчетный общий внутричерепной объем
nWBV	Нормализация всего объема мозга
ASF	Масштабный коэффициент Атласа

Первым шагом в разработке модели с использованием данных МРТ является предварительная обработка данных. Предварительная обработка данных является важным этапом в процессе анализа данных. Он включает в себя преобразование необработанных данных в понятный формат и подготовку их для дальнейшего анализа. Методы предварительной обработки

данных включают очистку данных, нормализацию, преобразование и выбор признаков. В ходе

предварительной обработки данных мы обнаружили, что в поле

SES отсутствует 19 значений, а в поле MMSE - 2 значения.

После предварительной обработки можно визуализировать данные на языке программирования Python, который становится все более популярным для приложений обработки

данных и машинного обучения. Визуализацию мы проводим на данных Age, Educ, ASF, eTIV и nWBV (рис. 1-3).

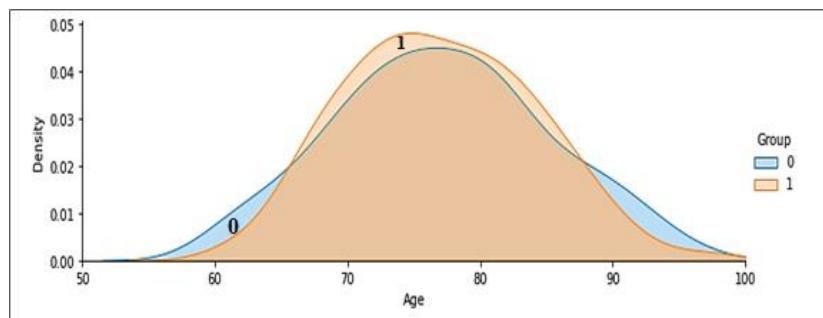


Рисунок 1. Визуализация данных в зависимости от возраста

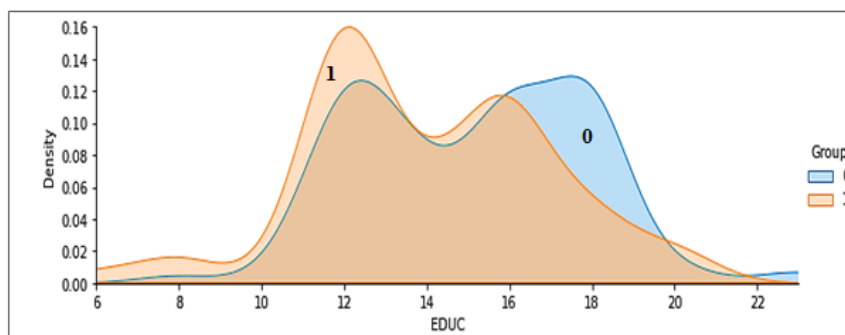


Рисунок 2. Визуализация данных по годам обучения

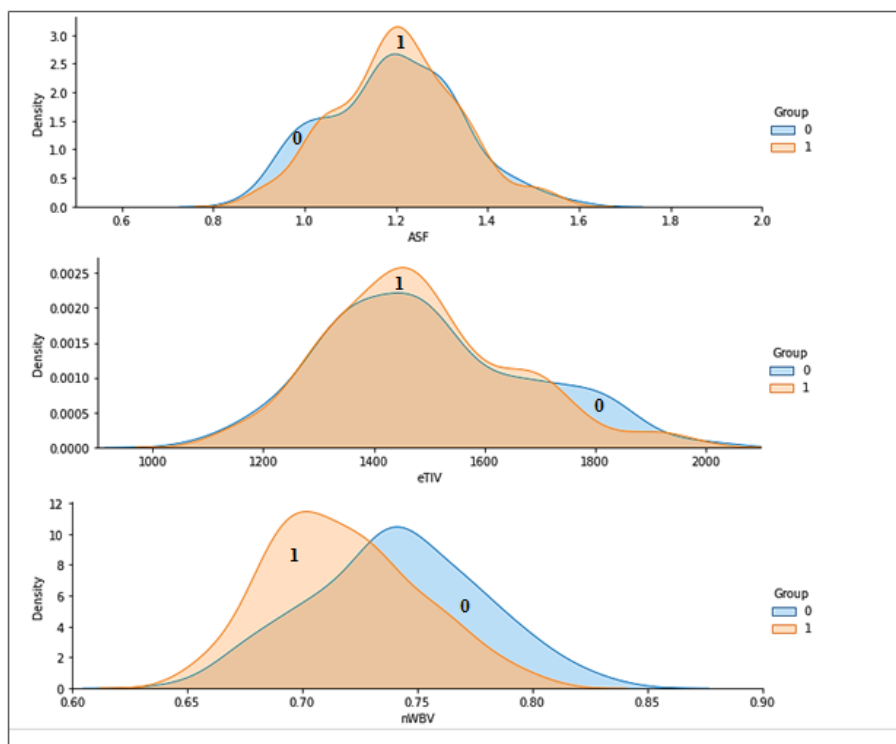


Рисунок 3. Визуализация данных ASF, eTIV и nWBV

Опираясь на данные результаты исследования визуализации можно сделать следующие выводы:

**1. Группе пациентов с более высокой деменцией наблюдается в возрасте 70-80 лет.**

**2. Пациенты с деменцией были меньше образованны с точки зрения количества лет обучения.**

**3. Группа без деменции имеет большой объем мозга, чем группа с деменцией.**

После визуализаций набора данных, можно перейти к машинному обучению.

**Полученные результаты**

Машинное обучение – это ветвь искусственного интеллекта, которая использует



алгоритмы для изучения данных и прогнозирования будущих результатов. Используя алгоритмы машинного обучения для визуализированных данных, вы можете получить представление о закономерностях и тенденциях, которые в противном случае было бы трудно или невозможно выявить с помощью традиционных методов.

Существует три основных модели машинного обучения: обучение с учителем, обучение без учителя и обучение с подкреплением. После определения модели машинного обучения нужно выбрать алгоритмы для обучения набора данных. В данной работе набор данных обучается такими

алгоритмами машинного обучения, как: Decision tree classifier (Дерво решений), Random forest classifier (Метод случайного леса), Support vector machine (Метод опорных векторов), KNeighborsClassifier (Метод k-ближайших соседей) [3-5]. У каждого алгоритма есть свои сильные и слабые стороны, когда речь идет об обучающих наборах данных, поэтому важно выбрать тот, который лучше всего соответствует потребностям.

После выбора подходящих алгоритмов машинного обучения, мы обучаем модель, используя данные МРТ. Параметры, определяющие производительность, включают точность моделей машинного обучения.

Таблица 2.

**Показатели производительности для каждой модели**

Модель	Точность
DecisionTreeClassifier()	0.919643
RandomForestClassifier()	0.946429
KNeighborsClassifier()	0.910714
svm.SVC()	0.678571

Как показано в (таблице 2), все алгоритмы показали хорошую

точность, однако алгоритм RandomForestClassifier превосходит остальные. Поэтому дальше мы будем разрабатывать модель искусственного интеллекта именно с этим алгоритмом.

### Развертывание

Как только модель обучена и достигает удовлетворительной точности, мы можем приступить к ее развертыванию. Здесь нам поможет инструмент под названием Streamlit - открытая библиотека для создания пользовательских интерфейсов с минимальными усилиями, которая значительно упрощает процесс развертывания моделей машинного обучения и глубокого обучения.

Streamlit - это быстрый и простой в использовании фреймворк для создания интерактивных веб-приложений на языке Python. Он позволяет разработчикам данных быстро превратить свои скрипты Python в разнообразные интерфейсы, веб-приложения, прототипы машинного обучения и многое другое. Основная идея Streamlit заключается в том, чтобы упростить процесс развертывания моделей и обеспечить быстрый доступ к результатам работы алгоритмов и анализу данных [6].

Преимущества Streamlit для развертывания ИИ моделей:

**Простота использования:** Одним из основных преимуществ Streamlit является его простота. Для создания интерактивного веб-приложения с использованием Streamlit требуется всего несколько строк кода. Даже разработчики без опыта работы с веб-технологиями могут легко создавать красивые и функциональные веб-интерфейсы для своих моделей.

**Интеграция с Python и библиотеками машинного обучения:** Streamlit хорошо

интегрируется с экосистемой Python, что делает его идеальным выбором для разработчиков, которые уже знакомы с популярными библиотеками машинного обучения, такими как TensorFlow, PyTorch, scikit-learn и другими.

**Быстрое развертывание:** С Streamlit можно быстро превратить прототип модели в рабочее веб-приложение. Это экономит время разработчиков и позволит быстро демонстрировать результаты заказчикам и пользователям.

**Интерактивность и демонстрация результатов:** Streamlit предоставляет возможность создавать интерактивные виджеты, такие как ползунки, выпадающие списки и кнопки, которые позволяют пользователям настраивать параметры модели и видеть результаты в режиме реального времени. Это особенно полезно для демонстрации возможностей модели и визуализации данных.

**Гибкость и кастомизация:** Несмотря на свою простоту, Streamlit предоставляет возможность кастомизации интерфейса и внешнего вида веб-приложения. Разработчики могут добавлять собственные CSS-стили и управлять расположением элементов на странице.

Первым шагом является установка Streamlit, выполнив команду `pip install streamlit` в вашей среде Python.

Затем мы создаем новый файл Python и импортируем необходимые библиотеки для создания веб-приложения. Мы загружаем нашу обученную модель в память и определяем функцию, которая принимает данные МРТ в качестве входных данных и возвращает прогноз, указывает ли оно на болезнь Альцгеймера или нет.

Используя простой API Streamlit, мы можем создать интерфейс, в который медицинские работники смогут вводить данные МРТ и получать прогнозы в реальном времени.

Streamlit также предоставляет различные варианты настройки для улучшения внешнего вида



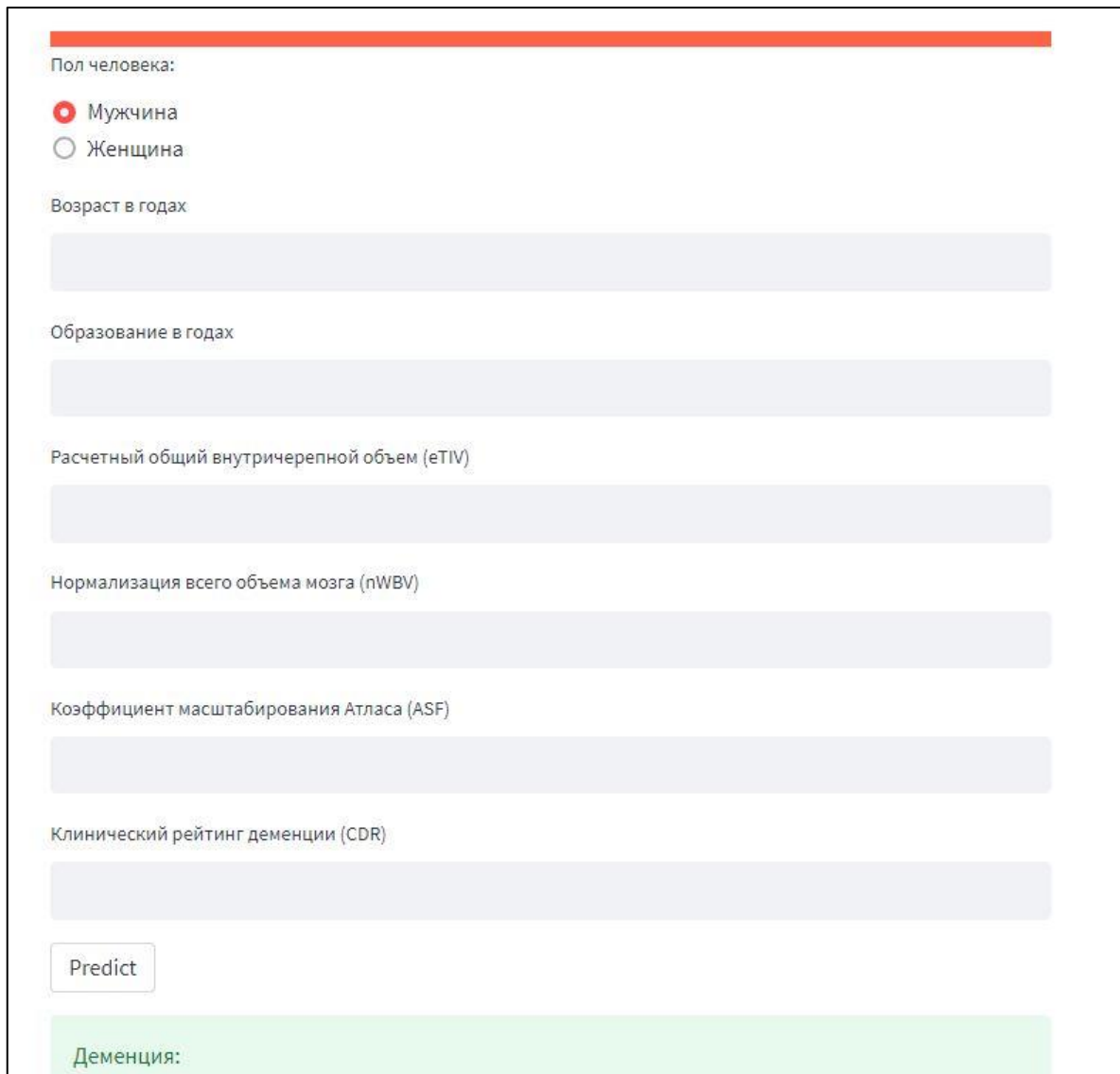
нашего веб-приложения. Мы можем добавлять заголовки, описания и даже интерактивные визуализации, чтобы сделать их более привлекательными для пользователей.

Наконец, нам нужно развернуть наше приложение Streamlit на сервере или облачной платформе, чтобы медицинские работники могли получить к нему удаленный доступ. Такие платформы, как Heroku или AWS Elastic Beanstalk, предоставляют простые варианты развертывания приложений Python.

#### Результаты и обсуждение

Использование фреймворка Streamlit позволило нам создать веб-приложение, к которому могут легко обращаться медицинские работники. Это позволяет им вводить данные о пациентах и получать прогнозы в реальном времени, облегчая раннее вмешательство и персонализированные планы лечения.

Развернутая модель ИИ имеет удобный интерфейс (рис.4), который позволяет медицинским работникам легко получать доступ к модели машинного обучения и взаимодействовать с ней.



Пол человека:

Мужчина  
 Женщина

Возраст в годах

Образование в годах

Расчетный общий внутричерепной объем (eTIV)

Нормализация всего объема мозга (nWBV)

Коэффициент масштабирования Атласа (ASF)

Клинический рейтинг деменции (CDR)

Predict

Деменция:

Рисунок 4. Веб-приложение для ранней диагностики болезни Альцгеймера

Результаты показывают, что развертывание модели машинного обучения для ранней диагностики болезни Альцгеймера с использованием Streamlit может обеспечить точные прогнозы на основе данных МРТ.

Развертывание такой модели также может снизить расходы на здравоохранение за счет минимизации ненужных тестов и лечения. Выявляя лиц с высоким риском развития болезни Альцгеймера, можно более эффективно распределять ресурсы здравоохранения,

гарантируя, что те, кто больше всего в них нуждается, получат надлежащую помощь.

Кроме того, развертывание модели ИИ открывает возможности для постоянных исследований и разработок. По мере сбора и анализа большего количества данных модель может постоянно улучшаться для повышения ее точности и эффективности.

#### Заключение

Развертывание модели машинного обучения для ранней диагностики болезни Альцгеймера с

помощью Streamlit обещает изменить наш подход к этой болезни. Благодаря дальнейшему развитию технологий и постоянному сотрудничеству с медицинскими работниками мы можем добиться значительных успехов в повышении показателей раннего выявления и, в конечном итоге, в поиске лекарства от болезни Альцгеймера.

Наша работа демонстрирует успешное развертывание модели машинного обучения для ранней диагностики болезни Альцгеймера с использованием Streamlit. Модель достигла высокой точности и показала хорошую способность в различении пациентов с болезнью Альцгеймера и здоровых людей. Эта технология может помочь специалистам здравоохранения в своевременной диагностике и осуществлении соответствующих вмешательств для людей с риском развития болезни Альцгеймера.

### Литература

- Хамидова Д.Н. Компьютерное моделирование методом молекулярной динамики амилоидных фибрилл и их разрушение дендримерами и дендриграфтами. Диссертация - ТНУ, 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tnu.tj/index.php/ru/hamidova-dilorom-nasrulloevna>. Яз. рус. (дата обращения 09.07.2023).
- Marcus DS, Fotenos AF, Csernansky JG, Morris JC, Buckner RL. Open Access Series of Imaging Studies (OASIS): Longitudinal MRI Data in Nondemented and Demented Older Adults // *Journal of cognitive neuroscience*. 2010;22(12):2677-2684. doi:10.1162/jocn.2009.21407
- Sivakani GA, Ansari R. Machine learning framework for implementing Alzheimer's disease // *Int Conferen Commun Signal Process*. (2020) 12:588–92. 10.1109/ICCSP48568.2020.9182220
- Kavitha C. Early-Stage Alzheimer's Disease Prediction Using Machine Learning Models [Electronic resource]-*Front Public Health*. – <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2022.853294/full> (дата обращения 10.07.2023).
- Gopi Battineni, Mohmmad Amran Hossain, Nalini Chintalapudi, Enea Traini, Venkata Rao Dhulipalla, Mariappan Ramasamy, Francesco Amenta Improved Alzheimer's Disease Detection by MRI Using Multimodal Machine Learning Algorithms // *Diagnostics (Basel)*. 2021; 11(11): 2103. Published online 2021 doi: 10.3390/diagnostics11112103
- Nate DiRenzo Deploying ML Models using Streamlit [Electronic resource] - *Towards Data Science* <https://towardsdatascience.com/deploying-ml-models-using-streamlit-5d6212453bdd> (дата обращения 10.07.2023).
- Khamidova D. N., Fatullaev E.I., Mikhtaniuk S.E., Neelov I.M. Interaction of dendrigraft of second generation with molecules of LVFFAE peptide // *Magnetic Resonance and its Applications Processing*. – 2019. – P. 185-187. – EDN YHYSAZ
- Khamidov D.N., Bezrodnyi V.V., Popova A.V., Mikhtaniuk S.E., Neelov I.M., Popova E.V. Molecular dynamics simulation of complexes of lysine dendrimer and dendrigraft with AENG // *International journal of biology and biomedical engineering*. – 2018. – P. 45-58. – ISSN: 1998-4510. – EDN CZKSIJ
- Neelov I., Khamidova D., Popova E., Komilov F. Computer simulation of interaction of lysine dendrimer with stack of amyloid peptides // *Proceedings – 2017 4<sup>th</sup> International conference on mathematics and computer science and in industry, MCSI 2017*. – 2018. – P. 183-188. – EDN YCLFCX
- Neelov I. M., Popova E., Khamidova D., Komilov F. Interaction of lysine dendrimers of 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> generation with stack of amyloid peptides. Molecular dynamics simulation // *International Journal of Biology and Biomedical Engineering*. – 2017. – T. 11. – P. 95-100. – EDN XYEQVF
- Neelov I., Popova E., Khamidova D., Tarasenko I. Interaction of lysine dendrimers with therapeutic peptides. Molecular dynamics simulation // *International Journal of Biology and Biomedical Engineering*. – 2017. – T. 11. – P. 194-203. – EDN XYFHDN
- Neelov I. M., Iyash M.Y., Khamidova D.N., Okrugin B.M. Computer simulation of lysine dendrimers and their interactions with amyloid peptides // *WSEAS Transaction on Biology and Biomedicine*. – 2015. – T. 12. – P. 79-86. – EDN GJHKXO
- Neelov I. M., Khamidova D., Bezrodnyi V., Mikhtaniuk S. Molecular Dynamics Simulation of Interaction of Lysine Dendrigraft of 2<sup>nd</sup> Generation with Stack of Amyloid Peptides // *International journal of biology and biomedical engineering*. – 2019. – P. 26-31. – ISSN: 1998-4510. – EDN EPRTXL
- Хамидова Д. Н., Попова А.В., Безродный В.В., Михтаниук С.Е., Попова Е.В., Неелов И.М., Леермакерс Ф. Компьютерное моделирование взаимодействия лизинового дендримера и пептидов Эпиталон // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. – 2018. – Т. 18. – № 4. – С. 595-605. – DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-4-595-605. – EDN XTCEEH

# Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал

№ 8 (111)/2023 Том 1

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Макаровский Денис Анатольевич**

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Штерензон Вера Анатольевна**

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

**Синьковский Антон Владимирович**

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

**Штерензон Владимир Александрович**

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

**Зыков Сергей Арленович**

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

**Дронсейко Виталий Витальевич**

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович  
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:  
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А  
E-mail: [info@euroasia-science.ru](mailto:info@euroasia-science.ru) ;  
[www.euroasia-science.ru](http://www.euroasia-science.ru)

Учредитель и издатель ООО «Логика+»  
Тираж 1000 экз.