



# **СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД – 2023**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

**СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ  
МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД – 2023**

**Modern questions of continuum mechanics – 2023  
MQCM-2023**

Сборник статей по материалам  
IV Международной конференции  
(Чебоксары, 12 декабря 2023 г.)

Чебоксары  
Издательский дом «Среда»  
2023

УДК 531(082)

ББК 22.2я43

С56

*Печатается по решению Ученого совета Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова (протокол от 5.12.2023 №11)*

***Рецензенты:***

канд. физ.-мат. наук, заведующий кафедрой  
математики, физики и информационных технологий  
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
аграрный университет»

*А. Н. Максимов;*

д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры  
«Высшая математика и естественные науки»  
ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (МИИТ)  
*В. Б. Карпухин*

***Редакционная коллегия:***

*Л.А. Максимова (отв. редактор), А.Г. Николаева (отв. секретарь),  
А.Н. Плотников, Б.В. Михайлов*

**С56      Современные вопросы механики сплошных сред –  
2023** : сб. ст. по материалам IV Международной  
конференции (Чебоксары, 12 дек. 2023 г.). – Чебоксары:  
Среда, 2023. – 200 с.

**ISBN 978-5-907830-03-5**

Рассмотрены различные тематические направления: механика деформируемого твердого тела, механика несущих систем, механика сплошных сред в образовании.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов.

Материалы сборника воспроизведены с авторских оригиналов рукописей, представленных в оргкомитет.

ISBN 978-5-907830-03-5

DOI 10.31483/a-10580

© Коллектив авторов, 2023

© ИД «Среда», оформление, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| Предисловие .....  | 5   |
| <b>РАЗДЕЛ 1. МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА</b> .....   | 7   |
| <i>Максимова Л.А.</i> Влияние начальных условий на устойчивость НДС твердого тела .....  | 7   |
| <i>Петров М.В., Гоник Е.Г.</i> Сравнительная оценка опасности потери устойчивости тонкостенных цилиндрических оболочек при изгибе и кручении ..... | 12  |
| <i>Плотников А.Н., Арина Н.Н., Бурцев В.А.</i> К определению диапазона перераспределения усилий пересекающихся железобетонных элементов .....      | 17  |
| <i>Старовойтов Э.И.</i> Знакопеременное нагружение трехслойного стержня в нейтронном потоке .....  | 25  |
| <i>Трацевская Е.Ю.</i> Влияние техногенного подтопления на динамические свойства слабосвязных грунтов .....  | 32  |
| <i>Трещев А.А.</i> Уравнения состояния для начально изотропных дилатирующих сред .....   | 36  |
| <i>Шафиева Ю.В.</i> Термосиловой изгиб трехслойной пластины со сжимаемым заполнителем .....  | 42  |
| <b>РАЗДЕЛ 2. МЕХАНИКА НЕСУЩИХ СИСТЕМ</b> .....   | 48  |
| <i>Иванов С.И.</i> Новые неразрушающие методы контроля прочности бетона .....  | 48  |
| <i>Иванов В.А., Николаева А.Г., Иванова Н.В.</i> Расчет усиления стержневой конструкции покрытия .....   | 54  |
| <i>Сакмарова Л.А., Гоник Е.Г., Бахмисова М.А.</i> Устойчивость многослойной ограждающей конструкции при силовых и температурных воздействиях ..... | 64  |
| <i>Соколов Н.С.</i> Буройнъекционная свая ЭРТ в свайных полях .....  | 71  |
| <i>Соколов Н.С., Викторова С.С.</i> Буройнъекционные сваи ЭРТ ограждений котлованов .....  | 77  |
| <i>Соколов Н.С.</i> Грунтовые анкеры и сваи ЭРТ как строительные заглубленные конструкции обеспечения устойчивости склонов .....                   | 85  |
| <i>Соколов Н.С.</i> Преимущества электроразрядной технологии (ЭРТ) усиления оснований .....  | 95  |
| <i>Соколов Н.С.</i> Увеличение несущей способности слабого основания .....   | 110 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Соколов Н.С.</i> Приспособление объектов к условиям нового строительства .....  | 118 |
| <i>Соколов Н.С., Федоров П.Ю., Теславский С.С.</i> Случай усиления основания заглубленного сооружения.....   | 134 |
| <i>Чечнёв С.А., Чечнёва Е.М., Иванов В.А.</i> Актуальные вопросы моделирования каменных конструкций .....  | 143 |
| <i>Яковлев А.П., Францев С.В.</i> Метод и устройство крепления горных выработок анкерным фрикционным креплением типа «Split Set» ....                                | 149 |
| <i>Яковлев А.П., Шерняев Е.Ю.</i> Модель механизма организационно-технологического процесса строительства в стесненных условиях .....                                | 157 |
| <b>РАЗДЕЛ 3. МЕХАНИКА СПЛОШНЫХ СРЕД В ОБРАЗОВАНИИ</b> .....  | 169 |
| <i>Николаева А.Г., Иванова Н.В., Яковлева О.С.</i> Распределение температурных полей в слоистых ограждающих конструкциях .....                                       | 169 |
| <i>Петров М.В., Михайлов Б.В., Гоник Е.Г., Иванов В.А., Алексеева О.А.</i> Анализ экспериментальных расчетов определения напряжений в сечении балки при изгибе ..... | 176 |
| <i>Русинова Н.Г.</i> Проблемы влияния чебоксарского гидроузла на социально-экономическую сферу региона .....   | 184 |
| <i>Сакмарова Л.А., Белова Е.А.</i> Внедрение информационных технологий в образовательную среду на примере участия студентов в BIM-соревнованиях .....                | 190 |

## Предисловие

### *Некоторые факты об ученых, основателях строительного факультета, а также о значимости окружения*

Общеизвестна метафора — «солёный огурец»: любой свежий огурец, попадая в банку с солёными, через некоторое время сам становится солёным. Многие, следуя этой метафоре, стремятся находиться с теми, с кем им хорошо, и дистанцироваться от тех, кто не подходит под критерий «свой».

В этом году исполнилось 45 лет строительному факультету ЧГУ. С начала создания факультета (1978 г.) сложился коллектив замечательных преподавателей и ученых. Это и первый декан, заслуженный строитель РСФСР Г.Н. Николаев, проректор университета, декан факультета, почетный работник высшего образования России, заслуженный работник высшей школы Чувашии, депутат Госсовета ЧР второго созыва Н.Ф. Григорьев, заведующий кафедрой сопротивления материалов и строительной механики, лауреат премии Совета Министров СССР, заслуженный деятель науки ЧР Е.Г. Иванов, декан факультета, заслуженный работник высшей школы ЧАССР, Почетный строитель Нечерноземагропромстроя Е.В. Чернов и многие другие. При образовании строительного факультета в 1978 г. им удалось в короткий срок организовать учебный процесс на высоком уровне, так, что принятые на обучение студенты не испытывали нужды ни в аудиториях, ни в литературе, ни в лабораторной базе.

Я познакомилась с Евгением Григорьевичем Ивановым, будучи вместе с ним членами диссертационного совета. Очень сожалею, что не получилось послушать его лекции по сопротивлению материалов. Он покинул нас очень рано в 71 год, полный сил и новых идей. Иванов Евгений Григорьевич — доктор технических наук, профессор, являлся высококвалифицированным специалистом в области строительной механики, сопротивления материалов и теории упругости. Одним из научных направлений Евгения Григорьевича было исследование и разработка технологии магнитно-импульсной обработки металлов.

Результаты исследований были широко внедрены в практику металлообработки как в Советском Союзе, так и за рубежом. Советское государство высоко оценило вклад группы сотрудников под руководством Е.Г. Иванова. Все исполнители получили государственную премию Совета Министров СССР. Награду лично вручил тогдашний председатель Совета Министров СССР А.Н. Косыгин.

Работая в течение длительного времени заведующим кафедрой сопротивления материалов и строительной механики, затем профессором кафедры Евгений Григорьевич проявлял себя только с положительной сто-

роны. Он пользовался уважением как сотрудников, преподавателей и самое главное студентов строительного и машиностроительного факультетов ЧГУ им. И.Н. Ульянова.

В моей жизни было несколько таких мест, где я чувствовала себя хорошо: это и моя альма-матер – кафедра оптимального управления МГУ ВМК под руководством Академика Льва Семеновича Понтрягина, кафедра газовой и волновой динамики мехмата МГУ под руководством академика Евгения Ивановича Шемякина, институт туризма и сервиса под руководством директора Александра Семеновича Никитина.

В последующем судьба привела меня на строительный факультет на кафедру строительных конструкций, где заведовал кафедрой Владимир Николаевич Федоров. Атмосфера на кафедре и на самом строительном факультете была очень доброжелательная. В.Н. Федоров когда-то работал начальником участка треста «Чувашсельстрой». Одновременно учился на строительном факультете Всесоюзного заочного политехнического института по специальности «Промышленное и гражданское строительство» и работал на полставки там же ассистентом. В 1979 году В.Н. Федоров поступил в очную аспирантуру и уже с этого момента он начал преподавать в Москве в ВЗПИ. Владимира Николаевича в институте очень ценили в связи с тем, что он был эрудированным во всех областях науки и техники, был хорошим полемистом. В институте говорили, что В.Н. Федоров – Чувашский Ломоносов за его стремление к знаниям. И это было очень правильная характеристика. Работая в течение длительного времени заведующим кафедрой строительных конструкций, Владимир Николаевич пользовался заслуженным уважением профессорско-преподавательского состава и студентов строительного факультета.

Характеристикой хороших коллективов являются продуктивность научной работы и достижения на этом поприще (многие на строительном факультете защитили докторские и кандидатские диссертации, получили заслуженные награды), а также развитие личностных отношений. Коллектив – это наша семья.

Пожелаем нашему факультету развиваться и процветать в дальнейшем.

*Максимова Людмила Анатольевна,  
профессор, д-р физ.-мат. наук  
строительного факультета, кафедры  
строительных конструкций  
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»*

# РАЗДЕЛ 1. МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 539.3

## ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ НДС ТВЕРДОГО ТЕЛА

*Л.А. Максимова*

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»  
г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** любые воздействия на тела находят свое отражение в НДС (напряженном – деформированном состоянии) твердого тела. Напряжения и деформации являются основными исследуемыми величинами в МДТТ. Реальные деформируемые твердые материалы обладают разнообразными механическими свойствами. Поэтому применяются различные расчетные модели материалов, отражающие специфику их деформирования под нагрузкой. Неточности измерения с помощью тензометров естественно дают погрешности, которые приводят к погрешностям расчетов. Вследствие этого, а также в результате модельности этих задач, состояние тела может быть неустойчивым.

**Ключевые слова:** напряжение, деформация, главные направления, направляющие косинусы, изотропия, анизотропия, механика деформируемого твердого тела.

## THE EFFECT OF INITIAL CONDITIONS ON THE STABILITY OF THE VAT OF A SOLID

**Abstract:** any impact on the body is reflected in the VAT (stress-strain state) of the solid. Stresses and strains are the main investigated values in MDTT. Real deformable solid materials have a variety of mechanical properties. Therefore, various design models of materials are used, reflecting the specifics of their deformation under load. Measurement inaccuracies with strain gauges can give errors that lead to calculation errors. Because of this, and as a result of the modality of these problems, the state of the body can be unstable.

**Keywords:** stress, deformation, main directions, guiding cosines, isotropy, anisotropy, mechanics of a deformable solid.

### Введение

Современное состояние науки не дает возможности создать общие методы расчета, учитывающие все особенности строения реальных тел. Поэтому классическая теория упругости все свои выводы строит на некоторой модели деформируемого твердого тела.



Напряжение – мера внутренних сил, возникающих в материале под влиянием внешних воздействий (нагрузок, изменения температуры и пр.).

Деформация – изменения формы или размеров тела (или части тела) под действием внешних сил, а также при нагревании или охлаждении и других воздействиях, вызывающих изменение относительного положения частиц тела.

При исследовании и анализе напряженно-деформируемого состояния тела обычно рассматривают два исходных состояния – плоское или пространственное. Естественно, что плоские задачи немного проще в исследовании и расчетах.

Пространственные задачи не только объемны и сложны, но и имеют ряд особенностей. Результатом этих особенностей может не существовать предельный переход от общей задачи к частной (плоской).

При расчетах численные методы могут появляться частные (особые) случаи. Рассмотрим определение НДС для плоского случая, а затем обобщим на другом случае и решении задачи в трех мерном пространстве.

**Основные уравнения.** При определении НДС в окрестности точки тела имеем уравнения:

$$\begin{cases} \sigma_x l + \tau_{yx} m + \tau_{zx} n = \sigma l; \\ \tau_{xy} l + \sigma_y m + \tau_{zy} n = \sigma m; \\ \tau_{xz} l + \tau_{yz} m + \sigma_z n = \sigma n. \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} (\sigma_x - \sigma) l + \tau_{yx} m + \tau_{zx} n = 0; \\ \tau_{xy} l + (\sigma_y - \sigma) m + \tau_{zy} n = 0; \\ \tau_{xz} l + \tau_{yz} m + (\sigma_z - \sigma) n = 0. \end{cases} \quad (2)$$

$$T_\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{pmatrix}. \quad (3)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} (\sigma_x - \sigma) & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & (\sigma_y - \sigma) & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & (\sigma_z - \sigma) \end{vmatrix} = 0. \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & (\sigma_x - \sigma)(\sigma_y - \sigma)(\sigma_z - \sigma) + \tau_{yx}\tau_{zy}\tau_{xz} + \tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - (\sigma_y - \sigma)\tau_{xz}\tau_{zx} \\ & - (\sigma_x - \sigma)\tau_{yz}\tau_{zy} - (\sigma_z - \sigma)\tau_{xy}\tau_{yx} = 0 \\ & = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \end{aligned} \quad (5)$$

$$I_2 = \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2 \quad (6)$$

$$I_3 = \sigma_x \sigma_y \sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \sigma_y \tau_{xz}^2 - \sigma_x \tau_{yz}^2 - \sigma_z \tau_{xy}^2 \quad (7)$$

$$\sigma^3 - I_1 \sigma^2 + I_2 \sigma - I_3 = 0 \quad (8)$$

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$$

$$I_2 = \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1$$

$$I_3 = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3$$

Закон Гука.

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\nu}{E} \sigma_y - \frac{\nu}{E} \sigma_z \\ \varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\nu}{E} \sigma_x - \frac{\nu}{E} \sigma_z \\ \varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} - \frac{\nu}{E} \sigma_x - \frac{\nu}{E} \sigma_y \end{cases}, \quad (9)$$

где  $E$  — модуль Юнга,  $\nu$  — коэффициент Пуассона,  $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$  — модуль сдвига.

$$\begin{cases} \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \\ \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G} \\ \gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G} \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} \frac{1}{2} \gamma_{xy} = \varepsilon_{xy} \\ \frac{1}{2} \gamma_{yz} = \varepsilon_{yz} \\ \frac{1}{2} \gamma_{xz} = \varepsilon_{xz} \end{cases} \quad (11)$$

$$T_\varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_x & \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{zx} \\ \varepsilon_{xy} & \varepsilon_y & \varepsilon_{zy} \\ \varepsilon_{xz} & \varepsilon_{yz} & \varepsilon_z \end{pmatrix}. \quad (12)$$

$$\begin{cases} (\varepsilon_x - \varepsilon)l + \varepsilon_{yx}m + \varepsilon_{zx}n = 0; \\ \varepsilon_{xy}l + (\varepsilon_y - \varepsilon)m + \varepsilon_{zy}n = 0; \\ \varepsilon_{xz}l + \varepsilon_{yz}m + (\varepsilon_z - \varepsilon)n = 0. \end{cases} \quad (13)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} (\varepsilon_x - \varepsilon) & \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{zx} \\ \varepsilon_{xy} & (\varepsilon_y - \varepsilon) & \varepsilon_{zy} \\ \varepsilon_{xz} & \varepsilon_{yz} & (\varepsilon_z - \varepsilon) \end{vmatrix} = 0. \quad (14)$$

$$(\varepsilon_x - \varepsilon)(\varepsilon_y - \varepsilon)(\varepsilon_z - \varepsilon) + \varepsilon_{yx}\varepsilon_{zy}\varepsilon_{xz} + \varepsilon_{xy}\varepsilon_{yz}\varepsilon_{zx} - (\varepsilon_y - \varepsilon)\varepsilon_{xz}\varepsilon_{zx} - (\varepsilon_x - \varepsilon)\varepsilon_{yz}\varepsilon_{zy} - (\varepsilon_z - \varepsilon)\varepsilon_{xy}\varepsilon_{yx} = 0 \quad (15)$$

$$I_1 = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

$$I_2 = \varepsilon_x\varepsilon_y + \varepsilon_y\varepsilon_z + \varepsilon_z\varepsilon_x - \varepsilon_{xy}^2 - \varepsilon_{yz}^2 - \varepsilon_{zx}^2$$

$$I_3 = \varepsilon_x\varepsilon_y\varepsilon_z + 2\varepsilon_{xy}\varepsilon_{yz}\varepsilon_{zx} - \varepsilon_y\varepsilon_{xz}^2 - \varepsilon_x\varepsilon_{yz}^2 - \varepsilon_z\varepsilon_{xy}^2$$

$$\varepsilon^3 - I_1\varepsilon^2 + I_2\varepsilon - I_3 = 0$$

$$I_1 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

$$I_2 = \varepsilon_1\varepsilon_2 + \varepsilon_2\varepsilon_3 + \varepsilon_3\varepsilon_1$$

$$I_3 = \varepsilon_1\varepsilon_2\varepsilon_3$$

### Результаты и проблематика

В окрестности точки тела известны компоненты тензора напряжений, данные о материале, расчетные сопротивления, условия работы. Все результаты приведены в таблице. Материал — сталь. Модуль упругости  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$  (модуль ранга

$G \approx 0,8 * 10^5$  МПа), расчетное сопротивление  $R = 210$  МПа, коэффициент условий работы  $\gamma_c = 0,9$ .

Таблица 1

Таблица пространственного НДС

| Исходные данные   | Главные напряжения   | Направляющие косинусы  | Тензор деформаций  | Главные деформации   |
|---|--|--|--|--|
| $\sigma_x = -30$ МПа,<br>$\sigma_y = -50$ МПа,<br>$\sigma_z = 20$ МПа,<br>$\tau_{xy} = 40$ МПа,<br>$\tau_{yz} = -20$ МПа<br>$\tau_{zx} = -20$ МПа | $\sigma_1 = 40,28$<br>$\sigma_2 = -18,92$<br>$\sigma_3 = -81,36$ | $l_1 = -0,446$ ;<br>$m_1 = -0,377$ ;<br>$n_1 = 0,812$ .<br>$l_2 = 0,660$ ;<br>$m_2 = 0,474$<br>$n_2 = 0,583$ . | $\varepsilon_x = -0,001$<br>$\varepsilon_y = -0,002$<br>$\varepsilon_z = 0,002$<br>$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2}\gamma_{xy} = 0,002$<br>$\varepsilon_{yz} = \frac{1}{2}\gamma_{yz} = -0,001$<br>$\varepsilon_{xz} = \frac{1}{2}\gamma_{xz} = -0,001$ | $\varepsilon_1 = 0,003$<br>$\varepsilon_2 = -0,0007$<br>$\varepsilon_3 = -0,003$ |

Таблица 2

Таблица плоского НДС

| Исходные данные  | Главные напряжения   | Направляющие косинусы  | Тензор деформаций   | Главные деформации   |
|--|--|--|---|--|
| $\sigma_x = -30$ МПа,<br>$\sigma_y = -50$ МПа,<br>$\sigma_z = 0$ МПа,<br>$\tau_{xy} = 40$ МПа,<br>$\tau_{yz} = 0$ МПа<br>$\tau_{zx} = 0$ МПа | $\sigma_1 = 1,23$<br>$\sigma_2 = 0$<br>$\sigma_3 = -81,23$ | $l_1 = -0,778$ ;<br>$m_1 = 0,615$ ;<br>$n_1 = 0$ .<br>$l_2 = 0,80$ ;<br>$m_2 = 0,6$<br>$n_2 = 0$ . | $\varepsilon_x = -0,0007$<br>$\varepsilon_y = -0,0019$<br>$\varepsilon_z = 0,0011$<br>$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2}\gamma_{xy} = 0,005$<br>$\varepsilon_{yz} = \frac{1}{2}\gamma_{yz} = 0$<br>$\varepsilon_{xz} = \frac{1}{2}\gamma_{xz} = 0$ | $\varepsilon_1 = 0,001$<br>$\varepsilon_2 = -0,0008$<br>$\varepsilon_3 = -0,003$ |

Таблица 3

Таблица обобщенного плоского НДС

| Исходные данные   | Главные напряжения  | Направляющие косинусы  | Тензор деформаций  | Главные деформации   |
|---|---|--|--|--|
| $\sigma_x = -33$ МПа,<br>$\sigma_y = -50$ МПа,<br>$\sigma_z = 0$ МПа,<br>$\tau_{xy} = 40$ МПа,<br>$\tau_{yz} = 0$ МПа,<br>$\tau_{zx} = 0$ МПа | $\sigma_1 = 0$<br>$\sigma_2 = -0,61$<br>$\sigma_3 = -82,39$ | $l_1 = -0,772$ ;<br>$m_1 = -0,635$ ;<br>$n_1 = 0$ .<br>$l_2 = 0,777$ ;<br>$m_2 = 0,629$<br>$n_2 = 0$ . | $\varepsilon_x = -0,0008$<br>$\varepsilon_y = -0,0019$<br>$\varepsilon_z = 0,0012$<br>$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \gamma_{xy} = 0,005$<br>$\varepsilon_{yz} = \frac{1}{2} \gamma_{yz} = 0$<br>$\varepsilon_{xz} = \frac{1}{2} \gamma_{xz} = 0$ | $\varepsilon_1 = 0,001$<br>$\varepsilon_2 = -0,0007$<br>$\varepsilon_3 = -0,003$ |

### Заключение

В работе исследовалось напряженное и деформированное состояние в окрестности точки тела. Рассматривалась устойчивость решения напряженно-деформированного состояния для плоской и пространственной задачи в частных случаях, при малейших изменениях в условии задачи. Напряженное состояние систем отличается при небольших изменениях не очень сильно, но существенно меняется направление тензора главных деформаций. Предельный переход не всегда возможен. Исследовалась устойчивость (способность системы сохранять текущее состояние при небольших изменениях внешних воздействий) решения при определении напряженно-деформированного состояния для толстой плиты.

### Список литературы

1. Максимова Л.А. О статически неопределимом состоянии идеально-пластического слоя, сжатого жесткими шероховатыми поверхностями / Л.А. Максимова // Проблемы механики: Сб. статей. К 90-летию со дня рождения А.Ю. Ишлинского. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – С. 524–530.
2. Ишлинский А.Ю. Прикладные задачи механики / А.Ю. Ишлинский. – Т. 1, 2. – М.: Наука, 1985.
3. Зубчанинов В.Г. Проблемы математической теории пластичности / В.Г. Зубчанинов // Проблемы механики деформируемых тел и горных пород: сборник статей. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – С. 219–242.
4. Ишлинский А.Ю. О свойствах моделей изотропных сред / А.Ю. Ишлинский, Д.Д. Ивлев, Л.А. Максимова // Сб. статей к 70-летию Н.Ф. Морозова. – 2002. – С. 5–12.
5. Баничук Н.В. О некоторых особенностях задач устойчивости и колебаний прямоугольных пластин / Н.В. Баничук, А.Ю. Ишлинский // Прикл. математика и механика. – 1995. – Т. 59. Вып.4. – С. 620–625.

6. Ильющин А.А. Сопротивление материалов / А.А. Ильющин, В.С. Ленский. – М.: Физматгиз, 1959. – 368 с.

7. Максимова Л.А. К вопросу об устойчивости решения напряженного состояния тела / Л.А. Максимова // Современные вопросы механики сплошных сред – 2019: сб. ст. по материалам конференции с международным участием. – Чебоксары: Среда, 2019. – С. 28–32.

Максимова Людмила Анатольевна – профессор кафедры строительных конструкций.

Maksimova Lyudmila A., Professor of the Department of Structural Engineering.

УДК 539.3

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПРИ ИЗГИБЕ И КРУЧЕНИИ**

**М.В. Петров  
Е.Г. Гоник**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»  
г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** среди автоцистерн, используемых в настоящее время, можно выделить полуприцепы – цистерны подъемные, служащие для бестарной транспортировки мелкодисперсных сыпучих грузов. Данный вид полуприцепов имеет форму цилиндра и отличается большим объемом перевозимого груза и способом разгрузки. В процессе эксплуатации цистерна может терять устойчивость вследствие изгиба [5] и закручивания оболочки. Для исследования этих процессов был проведен ряд экспериментов по изгибу и кручению образца [1–4]. Образцом являлась цилиндрическая оболочка, выполненная из высокопластичного алюминиевого сплава 3004 в состоянии Н19 диаметром 63 мм, толщиной 0,1 мм. Сравнивались результаты пустых образцов, длиной 140 мм.

**Ключевые слова:** кручение, изгиб, устойчивость, эксперимент, образец, установка, крутящий момент, изгибающий момент.

## COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE HAZARD OF LOSS OF STABILITY OF THIN-WALLED CYLINDRICAL SHELLS DURING BENDING AND TORSION

**Abstract:** among the tank trucks currently in use, we can distinguish semi-trailers – lifting tanks used for bulk transportation of fine bulk cargo. This type of semi-trailer has a cylindrical shape and is distinguished by a large volume of transported cargo and a method of unloading. During operation, the tank may lose stability due to bending [5] and twisting of the shell. To study these processes, a series of experiments on sample bending and torsion were carried out [1–4]. The sample was a cylindrical shell made of highly ductile aluminum alloy 3004 in the H19 state with a diameter of 63 mm and a thickness of 0.1 mm. The results of empty samples with a length of 140 mm were compared.

**Key words:** torsion, bending, stability, experiment, sample, installation, torque, bending moment.

### Введение

Экспериментальные исследования выполнены для тонкостенных цилиндрических оболочек на устойчивость при изгибе [5–7, 12] и при кручении [8–11]. Для выполнения экспериментов были разработаны и изготовлены специальные установки, позволяющие испытывать образцы на кручение, на изгиб и на сложное нагружение. Для испытаний производился отбор образцов на отсутствие дефектов. Дефекты образцов существенно влияют на устойчивость. Образцы изготавливались глубокой вытяжкой из высокопластичного алюминиевого сплава 3004 в состоянии H19. Расчетная схема испытаний: один конец образцов жестко закреплялся к установке, другой конец был свободным. К свободному концу прикладывалась поперечная сила при испытании на изгиб, и крутящий момент при испытании на кручение, которые возрастали до потери устойчивости образцов. Образцы нагружали постепенно, чтобы заметить начало движения и начало потери устойчивости. Устойчивость терялась в упругости.

Рассчитывались критические напряжения, критические углы закручивания, число образовавшихся волн, их направление.

Цель работы – сравнительная оценка экспериментальных исследований потери устойчивости при изгибе и кручении пустых тонкостенных оболочек, закрепленных консольно.

### Материал и методы исследований

Экспериментальные установки, проведение испытаний.

**Изгиб.** Установка для испытания жестко закрепленных одним торцом цилиндрических тонкостенных оболочек при изгибе поперечной силой рис.1 состояла из: модельного образца (1), нагружающего устройства (5), измерителя деформаций (4), тензорезисторов (2), измерительных приборов (3), штатива (6). Для измерения применялись приборы: индикатор часового типа и электронный штангенциркуль. Деформации в исследуемой

оболочки замерялись тензорезисторами, подключенными по полумостовой схеме к измерителю деформаций (рис. 1).



Рис. 1. Испытательный стенд на изгиб

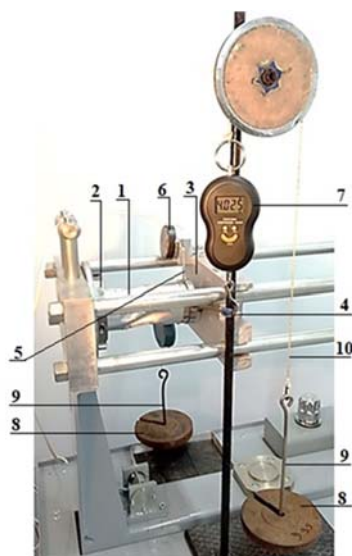


Рис. 2. Установка на кручение

**Кручение.** Для исследования на кручение изготовлена и собрана специальная установка рис. 2. Образец (1) одним концом жестко закреплялся к станине (2). Другой конец помещался в стенку (3), где мог проворачиваться, а для придания жесткости на этот конец внутрь вставлялся металлический

диск, к которому прикреплялся стержень (4) для создания крутящего момента. Перпендикулярно к оси образца (1) жестко прикреплялся стержень (5), к концу которого подходила ножка индикатора часового типа ИЧ-10 (6) для измерения перемещений. Для измерения усилий использовались динамометры (7). Усилия создавались гириями (8), которые укладывались на подвески (9). Подвески (9) тросами (10) соединялись с динамометрами (7) и стержнем (4) на одинаковом расстоянии от продольной оси образца. Тем самым создавался крутящий момент (рис. 2).

Размеры образца: диаметр – 63 мм, длина – 140 мм, толщина стенки – 0,1 мм. Механические свойства: предел прочности при растяжении  $\sigma_u = 286$  МПа, предел прочности на сдвиг  $\tau_u = 110$  МПа. Размер образцов принят подобно, изготавливающимся на предприятиях цистернам. Фотография образцов до и после испытаний показана на рис. 3. Нагружение образцов происходило постепенно до критической нагрузки. В экспериментах, при каждой нагрузке, фиксировались показания приборов и данные записывались в журнал испытаний. Испытывалась каждая серия образцов не менее десяти штук. Среднестатистические результаты приняты к расчету.

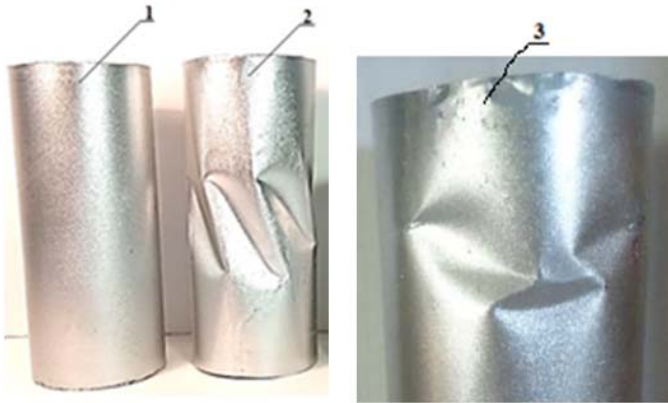


Рис. 3. Фотография образцов: 1 – образец до испытаний, 2 – образец после испытаний на кручение, 3 – образец после испытаний на изгиб

### Результаты и проблематика

По каждому виду испытаний испытывалось по десять образцов. Потом проводилась обработка полученных данных. После статистической обработки результаты экспериментов были приняты к расчету.

Получено:

- критическое напряжение при изгибе образцов  $\sigma_{cr} = 55$  МПа;
- критическое напряжение при кручении  $\tau_{cr} = 16$  МПа.



Коэффициент запаса устойчивости по отношению к пределу прочности при изгибе равен

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_U}{\sigma_{cr}} = \frac{286}{55} = 5,2.$$

Коэффициент запаса устойчивости по отношению к пределу прочности при кручении равен

$$k_{\tau} = \frac{\tau_U}{\tau_{cr}} = \frac{110}{16} = 6,9.$$

### Заключение

1. Устойчивость образцов при разных нагружениях теряется в упругости.
2. Изгибное нагружение представляет собой более опасное нагружение, чем кручение.

### Список литературы

1. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем / А.С. Вольмир. – М.: Физматгиз, 1967. – 984 с.
2. Григолюк Э.И. Устойчивость оболочек / Э.И. Григолюк. – М.: Наука, 1978. – 360 с.
3. Моссаковский В.И. Моделирование несущей способности цилиндрических оболочек / В.И. Моссаковский, Л.И. Маневич, А.М. Мильцын. – Киев: Наук. думка, 1977. – 141 с.
4. Вольмир А.С. Сопротивление материалов: учебник для вузов / А.С. Вольмир, Ю.П. Григорьев, А.И. Станкевич. – М.: Дрофа, 2007. – 591 с.
5. Petrov M.V., Gonik E.G., Modeling the bearing capacity of tank trucks filled with bulk material in bending. Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Т. 197. – С. 113–120.
6. Гоник Е.Г. Экспериментальный и теоретический анализ изгиба и упруго-пластического выпучивания тонкостенных цилиндрических оболочек с сыпучим наполнителем: дис. ... канд. техн. наук / Е.Г. Гоник. – Н. Новгород, 2019.
7. Баженов В.Г. Исследование и анализ потери устойчивости при изгибе тонкостенных цилиндрических оболочек с сыпучим наполнителем: монография / В.Г. Баженов, М.В. Петров, А.И. Кибец [и др.]. – Чебоксары: Изд-во Чувашского гос. ун-та, 2021. – 171 с.
8. Петров М.В. Экспериментальное исследование потери устойчивости тонкостенных цилиндрических оболочек с сыпучим наполнителем при кручении / М.В. Петров [и др.] // Современные вопросы механики сплошных сред – 2021: сб. ст. по материалам III Международной конференции (Чебоксары, 23–24 ноября 2021 г.). – Чебоксары: Среда, 2021. – С. 71–78.
9. Петров М.В. Устойчивость тонкостенных цилиндрических оболочек при кручении, заполненных сыпучим наполнителем / М.В. Петров, Б.В. Михайлов, Е.Г. Гоник // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2021. – №2 (48). – С. 40–47.
10. Петров М.В. Экспериментальные исследования устойчивости тонкостенных цилиндрических оболочек средней длины, заполненных сыпучим материалом, при кручении / М.В. Петров, А.И.Кибец, Б.В. Михайлов [и др.] // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2023. – №19 (3). – С. 49–57.

11. Петров М.В. Экспериментальное исследование потери устойчивости тонкостенных цилиндрических оболочек с сыпучим заполнителем при кручении / М.В. Петров, Б.В. Михайлов, Е.Г. Гоник [и др.] // Современные вопросы механики сплошных сред – 2021 : сборник статей по материалам III Международной конференции (Чебоксары, 23–24 ноября 2021 г.). – Чебоксары: Среда, 2021. – С. 71–78.

12. Петров М.В. Способ приближенного расчета на устойчивость при поперечном изгибе тонкостенных цилиндрических оболочек средней длины, заполненных сыпучим материалом / М.В. Петров, Т.Г. Федорова, Е.Г. Гоник [и др.] // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2018. – №4 (38). – С. 120–128.

Петров Михаил Васильевич – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова (428015, г. Чебоксары, Московский пр-кт, 15, e-mail: 21pmv@mail.ru), ORCID: 0000-0002-7355-8553.

Гоник Екатерина Григорьевна – канд. техн. наук, доцент кафедры строительных конструкций Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Московский пр-кт (428015, 15, e-mail: katya.gonik@mail.ru), ORCID: 0000-0002-7355-8553.

Petrov Mikhail Vasilyevich, Doctor of Technical Sciences, Ass. Professor, Professor of the Department of Building Structures of the I.N. Ulyanov Chuvash State University (428015, 15, Moskovsky prospect, Cheboksary, Russian Federation, e-mail: 21pmv@mail.ru), ORCID: 0000-0002-7355-8553.

Gonik Ekaterina Grigoryevna, PhD in Technical Sciences, Department of Building Structures of the I.N. Ulyanov Chuvash State University (428015, 15, Moskovsky prospect, Cheboksary, Russian Federation, e-mail: katya.gonik@mail.ru), ORCID: 0000-0002-7355-8553.

УДК 624.012.4

### К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДИАПАЗОНА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**А.Н. Плотников  
Н.Н. Арипина  
В.А. Бурицев**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»  
г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** в статье приводятся результаты анализа влияния на результат распределения усилий в пересекающихся железобетонных элементах процента армирования, формы эпюры распределения напряжений в сжатой зоне, коэффициента Пуассона на стадии напряженного состояния, близкой к предельной по прочности. Показано, что нелинейный характер распределения усилий определяется плечом пары сил в сечении и коэффициентом Мурашова.

**Ключевые слова:** пересекающиеся железобетонные элементы, объемное напряженное состояние, коэффициент Пуассона, перераспределение усилий, нелинейная жесткость, сжатая зона.

## TO DETERMINING THE RANGE OF REDISTRIBUTION OF FORCES OF INTERSECTING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

**Abstract:** the article presents the results of an analysis of the influence on the result of the distribution of forces in intersecting reinforced concrete elements of the percentage of reinforcement, the shape of the stress distribution diagram in the compressed zone, and the Poisson's ratio at the stage of stress state close to the ultimate strength. It is shown that the nonlinear nature of the force distribution is determined by the arm of a pair of forces in the section and the Murashov coefficient.

**Keywords:** intersecting reinforced concrete elements, volumetric stress state, Poisson's ratio, stress redistribution, nonlinear rigidity, a compressed zone.

### Введение

Нелинейная работа пересекающихся железобетонных элементов определяется в значительной степени развитием трещин в растянутой зоне и неупругой работой бетона в стадии эксплуатации зданий ( $\sigma_b = (0.6 - 0.8)R_b$ ). Это присуще и перекрестно-ребристым (кессонным) перекрытиям. В качестве основы расчета в нелинейной постановке принято изменение ряда физических параметров, зависящих от уровня напряжения в сечениях железобетонных элементов:  $\mu$  – процента армирования,  $\psi_s$  – коэффициента неравномерности напряжений по длине арматуры (Мурашева),  $\nu$  – упругопластических деформаций (Коковина).

Работа пересекающихся элементов в части распределения усилий между ними может быть описана аналитическим выражением:

$$g_1 = \frac{G}{\left(\frac{B_{1(x)} + B_{2(y)}}{B_1}\right)l} \quad (1)$$

где  $G$  – приведенная суммарная нагрузка,  
 $B_{1(x)}$  и  $B_{2(y)}$  – переменные изгибные жесткости сечений,  
 $l$  – длина элемента.

В работах [1, 2] констатируется, что не учет взаимного влияния элементов направлений приводит к ошибочным значениям усилий с отличием в 1,6 раза. Эффект взаимного влияния элементов проявляется в напряженном состоянии призмы узла их пересечения. Возникает объемное напряженное состояние в сжатой зоне, которое может быть неравномерным.

В работе [3] говорится, что при объемном напряжении действующие внешние трехосные и увеличивающиеся силы, не равные по величине, разрушат образец в направлении действия наименьшей внешней нагрузки, когда внутреннее напряжение в материале превысит ее значение. В этом случае увеличивается вероятность разрушения бетона по сдвиговому механизму.

Неравномерность напряжений сжатия в призме узла является следствием высоты сжатой зоны пересекающихся элементов, а она в свою очередь зависит от параметров сечения, в частности коэффициентов армирования.

### Материалы и методы исследований

В узле пересечения элементов возникает сложное объемное напряженное состояние (рис. 1).

Эпюра напряжений сжатой зоны двух направлений как при изгибе уменьшает значения к нейтральной зоне. При разном коэффициенте армирования в двух направлениях может появиться зона «сжатие – растяжение».

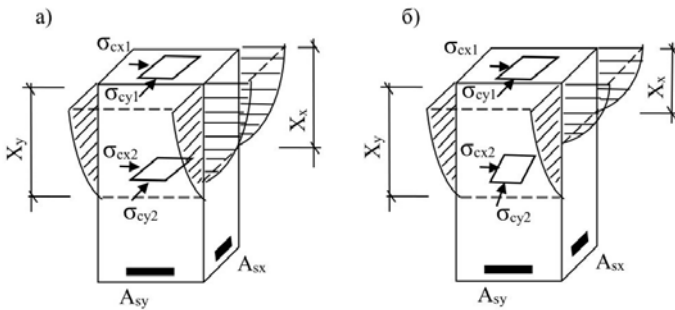


Рис. 1. Эпюры сжатия в призме узла в первом предельном состоянии и векторы двухосного напряженного состояния: а) при одинаковом армировании  $A_{sy}$  и  $A_{sx}$ ; б) при значительно отличающемся армировании  $A_{sy}$  и  $A_{sx}$

Эффект взаимного влияния направлений друг на друга был описан в работах [1, 2, 5], это происходит за счет объемного напряженного состояния в узле, который представляет собой неравномерно сжатую призму. Физически такое взаимодействие объясняется поперечными деформациями бетона и выражается коэффициентом Пуассона. Для бетона по нормам допускается принимать 0,2 [4–7]. По работам О.Я. Берга [13], его величина может изменяться при одноосном сжатии от 0,2 до 0,4 с увеличением уровня напряжения. Сказывается процесс микро-трещинообразования и увеличения призмы в объеме. Однако, необходимо учесть и эффект обжатия призмы, что не позволит коэффициенту Пуассона принять максимальные значения.

Остается дискуссионным вопрос о форме эпюры напряжений в сжатой зоне бетона при изгибе. Форма эпюры меняется в зависимости от уровня напряжений, от соотношения  $\sigma/R$  по стадиям напряженно-деформированного состояния. В первом предельном состоянии в российских нормах

(СП.63.13330.2018) принимается прямоугольная эпюра напряжений, но допускается и трехлинейная, и криволинейная Н.И. Карпенко, С.Н. Карпенко [8].

В расчетах принимается преобразование формы эпюры, так как это показано в работе [9], причем на стадии 3 форма эпюры в нормах разных стран принимается разной (рис. 2).

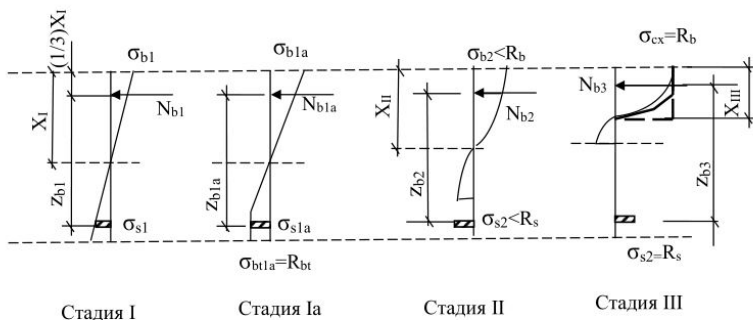


Рис. 2. Эпюры нормальных напряжений в сечении изгибаемого элемента по 3-м стадиям напряженно-деформированного состояния

На всех стадиях работы железобетона строятся уравнения равновесия продольных сил в сечениях по равнодействующим – приведенным силам, собранным с эпюр напряжений. Для этого определяется положение центра тяжести эпюры сжимающих напряжений. При использовании криволинейной эпюры положение центра тяжести определяется по-разному, так в работе [10] плечо пары сил в сечении определяется:

$$z = h_0 - \frac{1}{2,4} x_m \quad (2)$$

Высота сжатой зоны при этом при разных коэффициентах полноты эпюры напряжений

$$x = \frac{R_{sn} A_{sn}}{\omega R_{bn} b} \quad (3)$$

В работе [11] положение центра тяжести несколько отличается:

$$z = h_0 - \frac{1}{2,67} x_m \quad (4)$$

В стадиях 2 и 3 изгибная жесткость элемента может быть определена по формуле СП 63.13330.2018:

$$D = E_{s,red} A_s z (h_0 - x_m), \quad (5)$$

где  $E_{s,red} = E_s / \psi_s$ , плечо сил в сечении принято  $z = h_0 - \frac{1}{3} x_m$ .

Таким образом, по СП 63.13330.2018, как и в Еврокод 2в предельном состоянии принята треугольная форма эпюры сжатой зоны.

При развитии нелинейных процессов в сечениях элементов высота сжатой зоны в зависимости от коэффициента Мурашева (неравномерности напряжений между трещинами) [12]  $\psi_s = 0,3 - 1$  уменьшается в 1,42 раза.

### Результаты и проблематика

Поскольку теория континуального расчѐта в упругопластическом состоянии пересекающихся железобетонных элементов еще не создана, необходимо определять их напряженное состояние последовательно: сначала как для отдельно работающих элементов, затем вводить условия совместности.

Как показано в работе [1], совместность более определенно проявляется в призме узла пересечения, в области сжатия. При равном армировании в двух направлениях объемное сжатие в узле более однородно, при значительно отличающемся армировании оно становится неоднородным, с разной высотой зоны сжатия, с разным коэффициентом Пуассона по высоте (предположительный диапазон 0,25–0,35).

Совместность проявляется во взаимодействии равнодействующих сил сжатия в призме узла. Их можно записать как интегральную сумму по площади эпюр сжимающих напряжений, по ранним предложениям автора [1, 14]:

$$N'_{bx} = N_{bx} + \Delta N_{by} = A_{bx} \int_0^h \widetilde{\sigma}_{bx} dz = A_{bx} \left( \int_0^h \sigma_{bx} dz + \int_0^h \Delta \sigma_{bx} dz \right) \quad (7)$$

$$N'_{by} = N_{by} + \Delta N_{bx} = A_{by} \int_0^h \widetilde{\sigma}_{by} dz = A_{by} \left( \int_0^h \sigma_{by} dz + \int_0^h \Delta \sigma_{by} dz \right),$$

Компонент влияния определяется с учетом обобщенного для призм узла коэффициента Пуассона  $\mu$ , переменность которого должна быть отдельной функцией, предположительно линейной:

$$\int_0^h \Delta \sigma_{bx} = \nu \int_0^h \sigma_{by} dz \quad (8)$$

$$\int_0^h \Delta \sigma_{by} = \nu \int_0^h \sigma_{bx} dz$$

По растянутой зоне взаимодействие оценить сложнее. Однако, в растянутой зоне призмы узла трещинообразование от изгиба элементов не прослеживается [14]. Отмечались трещины от действия крутящего момента в угловых зонах кессонных перекрытий. Это объясняется в частности тем что векторы растягивающих усилий в узлах-призмах  $N_{\alpha}$  направлены под углом  $45^\circ$  к осям элементов. Тогда около узла на участке, равном двум ширинам элементов напряжения снижаются до величины  $\sigma_t^I = \cos 45^\circ \sigma_{tx}$ , т. е., на 30%, как это показано в работах авторов [1, 2, 5].

Более достоверно на данном этапе исследований определять усилие в арматуре растянутой зоны через уравнения равновесия через зону сжатия:

$$N_{bx} = N_{sx}; \quad N_{by} = N_{sy} \quad (9)$$

В результате этапа по оценке влияния направлений друг на друга увеличивается площадь сжатой зоны, и увеличивается сила растянутой арматуры.

Поскольку в уравнениях (7) первый компонент усилий получен от действующей нагрузки, а добавленный в результате взаимного влияния компонент суммируется и увеличивает реакцию системы, необходимо

скорректировать полученные в элементах усилия понижением на общий коэффициент. Значение этого коэффициента можно выразить как:

$$k = \frac{(N_{bx} + N_{by})}{(N'_{bx} + N'_{by})} \quad (10)$$

По результатам численного анализа получено значение коэффициента  $k=0,83$ .

При различных процентах армирования  $\mu_x$ ,  $\mu_y$  с учетом разных форм эпюр напряжений сжатой зоны и разного уровня коэффициента Пуассона получены соотношения усилий в пересекающихся элементах. Эти значения сведены в табл. 1.

Таблица 1

Соотношения усилий между пересекающимися элементами

| Коэфф.<br>Пуасс.<br>$\nu$ | $\mu_x / \mu_y = 1,44$ |           |           | $\mu_x / \mu_y = 2,94$ |           |           |
|---------------------------|------------------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|
|                           | Форма эпюры            |           |           | Форма эпюры            |           |           |
|                           | Треуг.                 | Трапец.   | Прямоуг.  | Треуг.                 | Трапец.   | Прямоуг.  |
| 0,2                       | 1,26/1,17              | 1,19/1,12 | 1,16/1,01 | 2,45/1,78              | 2,38/1,75 | 2,34/1,73 |
| 0,35                      | 1,26/1,12              | 1,19/1,09 | 1,16/1,08 | 2,45/1,51              | 2,38/1,49 | 2,34/1,48 |

*Прим. В числителе значение без учета взаимовлияния, в знаменателе – с учетом взаимовлияния.*

Как следует из табл. 1, при изменении соотношения по площади армирования соотношения усилий с учетом корректировки по взаимовлиянию меняются в 1,5–1,7 раза в зависимости от принимаемой формы эпюры в предельном состоянии (при неизменном коэффициенте Пуассона). Если принять, что коэффициент Пуассона увеличивается в узле до 0,35, это соотношение будет в пределах 1,35–1,37, т. е. с увеличением нагрузки распределение усилий будет ближе к исходному, к стадии 1 НДС.

В зависимости от принимаемого коэффициента Пуассона распределение усилий при различном армировании будет отличаться в 1,07–1,17 раза в предельном состоянии.

Принимаемая форма эпюры напряжений в сжатой зоне влияет на распределение усилий в системе увеличивая его на 3–15% при одинаковом армировании, при разном армировании форма эпюры будет влиять меньше.

При проведенном анализе не были учтены такие факторы как поведение арматурного стержня в трещине: при малых диаметрах возможен изгиб стержня, при больших диаметрах – создание нагельного эффекта [15]. Не учтены и длительные процессы в бетоне и железобетоне, связанные с ползучестью и усадкой. Не рассмотрено предварительное и пост-напряжение арматуры.

Характер соотношений усилий согласуется с экспериментальными данными для перекрестно-ребристых перекрытий [14, 16].

### Заключение

1. При оценке несущей способности и процесса перераспределения усилий жестко пересекающихся железобетонных элементов необходимо учитывать их взаимодействие по сжатой зоне узла.

2. Соотношение усилий пересекающихся элементов в зависимости от соотношения площади растянутой арматуры меняется в 1,5–1,7 раза.

3. При учете дилатационных процессов в призме узла пересечения посредством коэффициента Пуассона это соотношение уменьшается до 1,35–1,37 раза.

4. Форма эпюры напряжений сжатой зоны в большей степени влияет на распределение усилий при небольших соотношениях площадей арматуры.

5. Необходимы дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования по оценке соотношения усилий пересекающихся элементов с учетом конструктивных и реологических свойств железобетона.

### Список литературы

1. Плотников А.Н. Призма узла пересекающихся железобетонных элементов как связь влияния на усилия в системе / А.Н. Плотников, Н.Н. Аринина, М.Ю. Иванов // Строительство и застройка: жизненный цикл – 2022: материалы VI Междунар. (XII Всерос.) конф. (Чебоксары, 23–24 ноября 2022 г.). – Чебоксары: Среда, 2022. – С. 104–113.

2. Плотников А.Н. Несущая способность железобетонных кессонных перекрытий с учетом пластических деформаций ребер / А.Н. Плотников // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия: сборник Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры железобетонных и каменных конструкций и 100-летию со дня рождения Н.Н. Попова (Москва, 19–20 апреля 2016 г.). – М.: Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. – С. 348–353.

3. Сулейманова Л.А. Поведение бетона под нагрузкой, механизм его разрушения и оценка этого процесса / Л.А. Сулейманова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – №1. – С. 68–75.

4. Бобров В.В. Методы оценки влияния различных факторов на процесс микроразрушений бетона под нагрузкой: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В.В. Бобров – М., 2015. – 128 с.

5. Головин Н.Г. Расчет перекрестно-ребристых перекрытий с учетом физической нелинейности / Н.Г. Головин, А.Н. Плотников // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону (Москва, 12–16 мая 2014 г.). – в 7 т. Т.1. Теория железобетона. Железобетонные конструкции. Расчет и конструирование. – М.: МГСУ, 2014. – С. 234–244.

6. Mier, J.G. M. van. Fracture processes of concrete: assessment of material parameters for fracture models / by Jan G.M. van Mier. CRC Press. 2000. – 449 p.

7. Häußler-Combe U. Computational Methods for Reinforced Concrete Structures. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Germany. 2015. – 338 p.

8. Карпенко Н.И. Проектирование бетонных, железобетонных и армокаменных элементов и конструкций с применением диаграммных методов расчета / Н.И. Карпенко, Б.С. Соколов, О.В. Радайкин. – М.: Издательство АСВ, 2023. – 194 с.



9. Плотников А.Н. Плечо пары сил в сечении железобетонного изгибаемого элемента на всех стадиях напряженного состояния / А.Н. Плотников, Н.В. Иванова // Современные вопросы механики сплошных сред – 2019: сб. ст. по материалам конференции с междунар. участием. – Чебоксары: Среда, 2019. – С. 52–60.

10. Кодыш Э.Н. Железобетонные конструкции / Э.Н. Кодыш, Н.Н. Трекин, В.С. Федоров [и др.]. – в 2-х ч. Ч. 1. Расчет конструкций. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2022. – 388 с.

11. Kassym Yelemessov, Layla B. Sabirova, Nikita V. Martyushev, Boris V. Malozyomov, Gulnara B. Bakhmagambetova and Olga V. Atanova. Modeling and Model Verification of the Stress-Strain State of Reinforced Polymer Concrete / Materials 2023, 16, 3494. <https://doi.org/10.3390/ma16093494>

12. Мурашев В.И. Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона / В.И. Мурашев. – М., 1950.

13. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона / О.Я. Берг. – М.: Гостройиздат, 1962. – 96 с.

14. Плотников А.Н. Прочность и деформативность перекрестно-ребристого перекрытия с учетом перераспределения усилий: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / А.Н. Плотников. – М., 2013. – 268 с.

15. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.

16. Порфирьева Е.Н. Методы предельного равновесия и главных напряжений для опертых по контуру перекрытий из конструкционного керамзитобетона / Е.Н. Порфирьева, М.Ю. Иванов, А.Н. Плотников // Строительство – формирование среды жизнедеятельности : XXI Международная научная конференция: сборник материалов семинара «Молодежные инновации» (Москва, 25–27 апреля 2018 г.). – М.: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2018. – С. 276–282.

Плотников Алексей Николаевич – заведующий кафедрой строительных конструкций, декан строительного факультета ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, 428015, г. Чебоксары, Московский пр., 15; e-mail: [plotnikovAN2010@yandex.ru](mailto:plotnikovAN2010@yandex.ru); +7 (8352) 62 34 70.

Арина Надежда Николаевна – старший преподаватель кафедры строительных конструкций, аспирант ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, 428015, г. Чебоксары, Московский пр., 15; e-mail: [mirontik@mail.ru](mailto:mirontik@mail.ru); +7 (8352) 62 34 70.

Бурцев Владимир Алексеевич – ассистент кафедры строительных конструкций, аспирант ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, 428015, г. Чебоксары, Московский пр., 15; e-mail: [vovik187@mail.ru](mailto:vovik187@mail.ru); +7 (8352) 62 34 70.

Plotnikov Alexey Nikolaevich, Associate Professor of the Department of Building Structures, Dean of the Faculty of Civil Engineering, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov (ChuvSU), 15 Moskovskiy Prospekt, Cheboksary, 428015, Russian Federation, e-mail: [plotnikovAN2010@yandex.ru](mailto:plotnikovAN2010@yandex.ru), +7 (8352) 62 34 70.

Arinina Nadezhda Nikolaevna, Senior Lecturer of the Department of Building Structures, Post-Graduate Student, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov (ChuvSU), 15 Moskovskiy Prospekt, Cheboksary, 428015, Russian Federation, e-mail: mironantik@mail.ru; +7 (8352) 62 34 70.

Burtsev Vladimir Alekseevich, assistant of the Department of Building Structures, Post-Graduate Student, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov (ChuvSU), 15 Moskovskiy Prospekt, Cheboksary, 428015, Russian Federation, e-mail: vovik187@mail.ru; +7 (8352) 62 34 70.

УДК 539.3

## ЗНАКОПЕРЕМЕННОЕ НАГРУЖЕНИЕ ТРЕХСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ В НЕЙТРОННОМ ПОТОКЕ

**Э.И. Старовойтов**

Белорусский государственный университет транспорта  
г. Гомель, Беларусь

**Аннотация:** радиационное облучение твердых тел сопровождается многочисленными эффектами, в результате которых возникает дополнительная объемная деформация, изменяются упругие и особенно пластические характеристики материала. Основными важными факторами являются радиационное упрочнение материала (увеличение предела текучести) и радиационное разбухание (увеличение объемной деформации). В работе предлагается внести соответствующие коррективы в функцию пластичности в физических соотношениях теории малых упругопластических деформаций, а при повторном знакопеременном нагружении в гипотезу Москвитина.

**Ключевые слова:** пластичность, повторное нагружение, нейтронное облучение, трехслойная пластина.

## ALTERNATING LOADING OF A THREE-LAYER A ROD IN A NEUTRON FLUX

**Abstract:** radiation exposure of solids is accompanied by numerous effects, as a result of which additional volumetric deformation occurs, elastic and especially plastic characteristics of the material change. The main important factors are radiation hardening of the material (increase in yield strength) and radiation swelling (increase in volumetric deformation). The paper proposes to make appropriate adjustments to the plasticity function in the physical relations of the theory of small elastoplastic deformations, and in case of repeated alternating loading to the Moskvitin hypothesis.

**Keywords:** plasticity, reloading, neutron irradiation, three-layer plate.

### Введение

Актуальность разработки новых математических моделей для исследования упругого и неупругого деформирования композитных элементов конструкций в нейтронном потоке, определяется их повсеместным распространением в машиностроении, строительстве и транспортировке энергоносителей.

Физические уравнения состояния основываются на теории малых упруго-пластических деформаций Ильюшина [1]. Теория переменного нагружения Москвитина [2] распространена на случай упругопластических элементов конструкций, деформируемых в нейтронном потоке. Монографии [3–8] посвящены разработке математических моделей деформирования слоистых упругих и неупругих элементов конструкций при квазистатических и динамических нагрузках. Приведены постановки соответствующих задач, рассмотрены примеры решения и их численная апробация.

Ряд задач динамики для неоднородных тел рассмотрен в статьях [9–13]. Уравнения равновесия и их решения для упругопластической круговой пластины со сжимаемым заполнителем приведены в работах [14–15]. Деформирование трехслойной пластины, связанной с упругим основанием рассмотрено в публикациях [16–18]. Неосесимметричное нагружение трехслойной пластины исследовано в [19]. Работы [20–21] посвящены деформированию трехслойного стержня в температурном поле. Затухание нейтронного потока при прохождении через трехслойную пластину рассмотрено в статьях [22–23].

### Материал и методы исследований

#### Постановка задачи

Рассмотрим задачу о повторном радиационно-силовом изгибе трехслойной консольной балки. Для нее приняты гипотезы ломаной нормали: в несущих слоях справедливы гипотезы Кирхгофа, в заполнителе нормаль остается прямолинейной, не изменяет своей длины, но поворачивается на некоторый дополнительный угол  $\psi(x)$ . Наружные несущие слои балки выполнены из металла, а несжимаемый по толщине внутренний слой (заполнитель) – полимер. Несущие слои приняты упругопластическими, заполнитель – нелинейно упругий. Аналитическое решение соответствующей задачи теории упругости приведено в [3].

Пусть к внешней поверхности  $z = c + h_1$  рассматриваемой трехслойной балки кроме распределенной силовой нагрузки  $p'(x)$ ,  $q'(x)$  подводится нейтронный поток плотностью  $\Phi_0$  в направлении, противоположном внешней нормали (рис. 1).

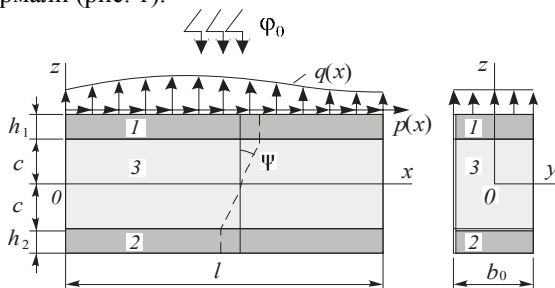


Рис. 1. Нейтронный поток плотностью  $\Phi_0$

Для описания деформирования материалов слоев в нейтронном потоке используем уравнения состояния типа теории малых упругопластических деформаций [1]:

$$s_x^{(k)} = 2G_k f^{(k)}(\varepsilon_u^{(k)}, I) \vartheta_x^{(k)}, \quad \sigma^{(k)} = K_k (3\varepsilon^{(k)} - B_k I), \quad (k=1, 2, 3), \quad (14)$$

$$s_{xz}^{(3)} = 2G_3 f^{(3)}(\varepsilon_u^{(3)}, I) \vartheta_{xz}^{(3)},$$

где  $s_\alpha^{(k)}, \vartheta_\alpha^{(k)}$  – девиаторные,  $\sigma^{(k)}, \varepsilon^{(k)}$  – шаровые части тензоров напряжений и деформаций;  $G_k, K_k$  – модули сдвига и объемного деформирования;  $s_{rz}^{(3)}, \vartheta_{rz}^{(3)}$  – касательное напряжение и сдвиговая деформация в заполнителе;  $f^{(k)}$  – универсальная функция нелинейности при нагружении из естественного состояния

$$f^{(k)}(\varepsilon_u^{(k)}, I) = \begin{cases} 1, & \varepsilon_u^{(k)} \leq \varepsilon_y^{(k)}(I), \\ 1 - \omega^{(k)}(\varepsilon_u^{(k)}, I), & \varepsilon_u^{(k)} > \varepsilon_y^{(k)}(I); \end{cases} \quad (1)$$

$\omega^{(k)}(\varepsilon_u^{(k)}, I)$  – в несущих слоях функция пластичности Ильюшина, в заполнителе – функция нелинейности;  $I(z) = \varphi(z) t$  – интегральный нейтронный поток;  $\varphi$  – интенсивность потока (нейтрон/(м<sup>2</sup>·с)) дошедшего за время  $t$  к поверхности с координатой  $z$ ;  $B_k$  – константа материала, получаемая из опыта.

В дальнейшем будем полагать, что радиационный рост предела пластичности не превышает роста интенсивности деформаций в облучаемых точках стержня, что препятствовало бы появлению пластических деформаций.

Решение рассматриваемой задачи при нагружении из естественного состояния получено методом упругих решений в [3]. В нашем случае, при учете воздействия нейтронного потока, решение было построено по такой же методике. В результате искомый прогиб определяются следующими рекуррентными формулами ( $n$  – номер приближения):

$$w^{(n)}(x) = \frac{1}{\alpha_2} \left[ \alpha_1 \int \psi^{(n)} dx - a_2 L_3^{-1} (p' - p_\omega'^{(n-1)}) + a_1 L_4^{-1} (q' - q_\omega'^{(n-1)}) + \right. \\ \left. + \frac{1}{6} a_1 C_1^{(n)} x^3 \right] + \frac{1}{2} C_4^{(n)} x^2 + C_5^{(n)} x + C_6^{(n)}. \quad (2)$$

Здесь  $p_\omega'^{(n-1)}, h_\omega'^{(n-1)}, q_\omega'^{(n-1)}$  – дополнительные «внешние» нагрузки, которые на первом шаге ( $n = 1$ ) принимаются равными нулю, а в дальнейшем вычисляются по результатам предыдущего приближения. Они служат поправками на пластичность и физическую нелинейность материалов слоев и учитывают воздействие нейтронного потока. Функция  $\psi^{(n)}(x)$ , коэффициенты  $\alpha_1, a_1, a_2, \beta^2$  и линейные интегральные операторы  $L_2^{-1}, L_3^{-1}, L_4^{-1}$  определены в [3]. Константы интегрирования  $C_1^{(n)}, \dots, C_8^{(n)}$  на каждом шаге приближения  $n$  следуют из условий закрепления стержня.

Пусть, начиная с момента  $t_1$ , осуществляется мгновенная разгрузка и повторное нагружение усилиями обратного знака  $p'', q''$ , изменяющимися

по тому же закону, что и при нагружении из естественного состояния. Эти усилия создадут в  $k$ -м слое стержня поле перемещений  $u''(x)$ ,  $w''(x)$ , деформации  $\varepsilon_x^{(k)}(x, z)$ ,  $\varepsilon_x^{(k)}(x, z)$ ,  $\varepsilon^{(k)}(x, z)$ ,  $\psi''(x, z)$  и напряжения  $\sigma_x^{(k)}(x, z)$ ,  $s_x^{(k)}(x, z)$ ,  $\sigma^{(k)}(x, z)$ ,  $\sigma_{xz}^{(3)}(x, z)$ . При этом будем предполагать, что за время разгрузки и последующего переменного нагружения воздействие нейтронного потока прекратилось, и уровень облучения во всех точках тела остается неизменным. Он совпадает с уровнем к моменту начала разгрузки, т.е.  $I'(z) = I(z, t_1)$ . Следуя теории Москвитина, введем для всех величин напряженно-деформированного состояния и нагрузки разности, в которых величины с одним штрихом – напряжения, деформации и перемещения в стержне перед разгрузкой, двумя штрихами помечены аналогичные параметры в процессе второго полуцикла:

$$\sigma_x^{(k)*} = \sigma_x^{(k)} - \sigma_x^{(k)'}, \quad \varepsilon_x^{(k)*} = \varepsilon_x^{(k)} - \varepsilon_x^{(k)'}, \quad w^* = w' - w'' \quad (4)$$

Для напряжений и деформаций, отмеченных звездочкой, примем физические уравнения состояния типа (14):

$$s_x^{(k)*} = 2G_k f^{(k)*} \varepsilon_x^{(k)*}, \quad s_{xz}^{(3)*} = 2G_3 f^{(3)*} \varepsilon_{xz}^{(3)*}, \quad \sigma^{(k)*} = 3K_k \varepsilon^{(k)*}, \quad k = 1, 2, 3.$$

Соответствующие универсальные функции нелинейности в несущих слоях полагаем, согласно гипотезе Москвитина, выраженными через функции пластичности при нагружении из естественного состояния (1):

$$f^{(k)*}(\varepsilon_u^{(k)}, I') = \begin{cases} 1, & \varepsilon_u^{(k)*} \leq \varepsilon_y^{(k)*}(I'), \\ 1 - \omega^{(k)*}(\varepsilon_u^{(k)*}, I'), & \varepsilon_u^{(k)*} > \varepsilon_y^{(k)*}(I'), \end{cases}$$

$$\omega^{(k)*} = \omega^{(k)'}(\varepsilon_u^{(k)*}, \varepsilon_y^{(k)*}, I', d_l^*),$$

где  $d_l^*$  – экспериментальные параметры материала, входящие в аппроксимационную формулу функции нелинейности.

При повторном знакопеременном нагружении рекуррентное решение для величин со звездочками будет подобным (3):

$$w^{(n)*}(x) = \frac{1}{\alpha_2} \left[ \alpha_1 \int \psi^{(n)*} dx - a_7 L_3^{-1} \left( p^* - p_\omega^{(n-1)*} \right) + a_1 L_4^{-1} \left( q^* - q_\omega^{(n-1)*} \right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{6} a_1 C_1^{(n)*} x^3 \right] + \frac{1}{2} C_4^{(n)*} x^2 + C_5^{(n)*} x + C_6^{(n)*}. \quad (5)$$

Удовлетворяя решением (5) граничные условия для консоли, получим константы интегрирования  $C_1^{(n)*}, \dots, C_8^{(n)*}$ . Параметры НДС трехслойной балки при повторном знакопеременном нагружении следуют из соотношений (4) с учетом решений (2), (3), (5), например:

$$w'' = w^* - w'.$$

### Результаты и проблематика

Численные результаты получены для трехслойной балки слою ко той выполнены из Д16Т–фторопласт–Д16Т. Относительные толщины слоев:  $h_1 = h_2 = 0,03$ ,  $c = 0,09$ .

Аналитический вид функций физической нелинейности материалов слоев принят в виде

$$\omega^{(k)}(\varepsilon_u^{(k)}, I) = \begin{cases} 0, & \varepsilon_u^{(k)} \leq \varepsilon_y^{(k)}(I), \\ A_k \left( 1 - \frac{\varepsilon_y^{(k)}(I)}{\varepsilon_u^{(k)}} \right)^{\alpha_k}, & \varepsilon_u^{(k)} > \varepsilon_y^{(k)}(I), \end{cases}$$

$$\varepsilon_y^{(k)}(I) = \varepsilon_{y,0} \left[ 1 + A(1 - \exp(-\xi I))^{1/2} \right], \quad (6)$$

где  $\varepsilon_y^{(k)}(I)$  – деформационный предел текучести облученного материала.

Механические и радиационные параметры материалов слоев, входящие в формулу (6), приведены в [3, 24]. Кроме этого полагалось  $B = 10^{23} \text{ м}^2 / \text{нейтрон}$ , что обеспечивает объемную деформацию в слоях рассматриваемого стержня 3–3,5 %.

На рис. 2 показано изменение прогиба  $w$  вдоль оси рассматриваемого трехслойного стержня, рассчитанные по различным физическим уравнениям состояния при консольном закреплении левого торца. Кривые с одним штрихом соответствуют нагружению из естественного состояния, два штриха – повторный знакопеременный изгиб: 1, 2 – упругий и упругопластический стержни без облучения, 3 – упругопластические при  $\phi = 10^{18} \text{ нейтрон}/(\text{м}^2\text{с})$ . При повторном нагружении прогиб уменьшается на 2–3 %, как у необлученного, так и облученного стержней, что объясняется циклическим упрочнением материала при перемене знака нагрузки.

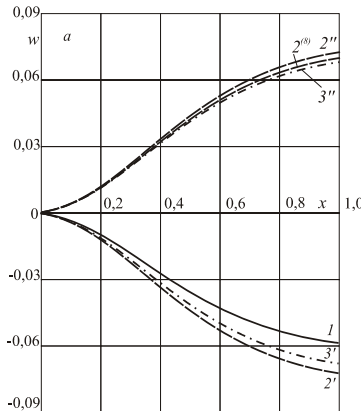


Рис. 2. Изменение прогиба  $w$  вдоль оси рассматриваемого трехслойного стержня

### Заключение

Предложена методика исследования НДС при циклическом нагружении упругопластических тел в нейтронном потоке позволяет существенно упростить решение целого класса краевых задач. Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Конвергенция».

### Список литературы

1. Ильюшин А.А. Упругопластические деформации полых цилиндров / А.А. Ильюшин, П.М. Огибалов. – М.: Изд-во Московского университета, 1960. – 224 с.
2. Москвитин В.В. Циклическое нагружение элементов конструкций / В.В. Москвитин. – М.: Наука, 1981. – 344 с.
3. Горшков А.Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А.Г. Горшков, Э.И. Старовойтов, А.В. Яровая. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 576 с.
4. Журавков М.А. Математические модели механики твердого тела / М.А. Журавков, Э.И. Старовойтов. – Минск: БГУ, 2021. – 535 с.
5. Zhuravkov M.A., Lyu Yongtao, Starovoitov E.I. Mechanics of Solid Deformable Body. – Singapore: Springer, 2023. – 317 p.
6. Carrera E., Fazzolari F.A., Cinefra M. Thermal Stress Analysis of Composite Beams, Plates and Shells: Computational Modelling and Applications. – Academic Press, 2016. – 410 p.
7. Абдусаттаров А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагружениях / А. Абдусаттаров, Э.И. Старовойтов, Н.Б. Рузиева. – Ташкент: «IDEAL PRESS». 2023. – 381 с.
8. Fedotenkov G.V., Tarlakovsky, D.V., Vahterova Y.A. Identification of non-stationary load upon Timoshenko beam // Lobachevskii journal of mathematics. – 2019. – Vol. 40. №4. – P. 439–447.
9. Tarlakovskii D.V., Fedotenkov G.V. Two-Dimensional Nonstationary Contact of Elastic Cylindrical or Spherical Shells // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2014. – Vol. 43. No. 2. – P. 145–152.
10. Леоненко Д.В. Колебания круговых трехслойных пластин на упругом основании Пастернака / Д.В. Леоненко // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2014. – №1. – С. 59–63.
11. Леоненко Д.В. Исследование спектра частот трехслойной цилиндрической оболочки с упругим наполнителем / Д.В. Леоненко, Э.И. Старовойтов // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2015. – 21. № 2. – С. 162–169.
12. Mathematical modeling of hydroelastic oscillations of circular sandwich plate resting on Winkler foundation / Chernenko A., Mogilevich L., Popov V. [et al] // Studies in Systems, Decision and Control. – 2021. – Vol. 337. – P. 91–101.
13. Vakhneev S., Starovoitov E. Damping of circular composite viscoelastic plate vibration under neutron irradiation // Journal of Applied Engineering Science. – 2020. – №18 (4). – P. 699–704.
14. Захарчук Ю.В. Уравнения равновесия упругопластической круговой пластины со сжимаемым наполнителем / Ю.В. Захарчук // Механика. Исследования и инновации. – 2018. – №11. – С. 80–87.
15. Starovoitov E.I., Zakharchuk Y.V., Kuznetsova E.L., Kuznetsova E.L. Elastic circular sandwich plate with compressible filler under axially symmetrical thermal force load // Journal of the Balkan Tribological Association – 2021. – Vol. 27, No 2. – P. 175–188.

16. Козел А.Г. Сравнение решений задач изгиба трехслойных пластин на основаниях Винклера и Пастернака / А.Г. Козел // Механика машин, механизмов и материалов. – 2021. – №1 (54). – С. 30–37.
17. Старовойтов Э.И. Деформирование локальными нагрузками композитной пластины на упругом основании / Э.И. Старовойтов, Д.В. Леоненко, М. Сулейман // Механика композитных материалов. – 2007. – Т. 43, №1. – С. 109–120.
18. Трацевская Е.Ю. Современное динамическое состояние геологической среды г. Гомеля и его влияние на инженерно-геологические условия / Е.Ю. Трацевская, О.К. Абрамович // Литосфера. – 2008. – №2 (29). – С. 129–137.
19. Нестерович А.В. Неосесимметричное нагружение трехслойной круговой пластины в своей плоскости / А.В. Нестерович // Теоретическая и прикладная механика. Междунар. н.-т. сборник. Белорусский национальный технический университет. Минск. – №35 – 2020. – С. 246–252.
20. Старовойтов Э.И. Деформирование трехслойного стержня в температурном поле / Э.И. Старовойтов, Д.В. Леоненко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2013. – №1 (22). – С. 31–35.
21. Starovoitov É.I., Pleskachevskii Yu.M., Leonenko D.V., Tarlakovsky D.V. Deformation of a Step Composite Beam in a Temperature Field // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2015. – Vol. 88, no. 4. – P. 1023–1029.
22. Pronina P.F., Tushavina O.V., Starovoitov E.I. Study of the radiation situation in Moscow by investigating elastoplastic bodies in a neutron flux taking into account thermal effects // Periódico Tchê Química. – 2020. – Vol. 17. – No.35. – Pp. 753–764.
23. Старовойтов Э.И. Затухание нейтронного потока при прохождении через трехслойную пластину / Э.И. Старовойтов // Современные вопросы механики сплошных сред – 2021 : сб. ст. по материалам III Международной конференции. – Чебоксары: Среда. – 2021. – С. 118–125.

Старовойтов Эдуард Иванович – д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры «Строительная механика, геотехника и строительные конструкции» Белорусского государственного университета транспорта (ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Беларусь). E-mail: edstar0@yandex.by

Starovoitov Eduard Ivanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the department "Structural Mechanics". E-mail: edstar0@yandex.by



УДК 539.3:624.131

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ПОДТОПЛЕНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛАБОСВЯЗНЫХ ГРУНТОВ

*Е.Ю. Трацевская*

Гомельский государственный Университет имени Ф. Скорины  
г. Гомель, Беларусь

**Аннотация:** по результатам лабораторных исследований определены показатели некоторых динамических свойств дисперсных трехфазных малосвязных грунтов и песков пылеватых. Показано, что жесткость и свойства демпфирования являются величинами переменными, зависящими от характера структурных связей и их переходов. По мере уплотнения грунта показатели его диссипативных свойств и жесткости растут. При достижении стабилизации деформаций в условиях резонанса с повышением содержания глинистых частиц коэффициенты затухания увеличиваются. Вне резонансной зоны при увеличении частоты вынужденных колебаний диссипативные свойства повышаются.

**Ключевые слова:** техногенное подтопление, слабосвязный грунт, динамические нагрузки, деформируемость.

## THE IMPACT OF MAN-MADE FLOODING ON THE DYNAMIC PROPERTIES OF LOOSELY CONNECTED SOILS

**Abstract:** according to the results of laboratory studies, the indicators of some dynamic properties of dispersed three-phase poorly connected soils and dusty sands have been determined. It is shown that stiffness and damping properties are variables depending on the nature of structural bonds and their transitions. As the soil compacts, the indicators of its dissipative properties and stiffness increase. When deformation stabilization is achieved under resonance conditions with an increase in the content of clay particles, the attenuation coefficients increase. Outside the resonant zone, with an increase in the frequency of forced vibrations, the dissipative properties increase.

**Keywords:** man-made flooding, loosely connected soil, dynamic loads, deformability.

### Введение

Проблема техногенного подтопления весьма актуальна для многих стран, в том числе России и Беларуси. Так, например, в Российской Федерации процесс техногенного подтопления принял массовый характер: подтопление проявляется в 960 городах или 87% с общим населением около 100 млн человек. Ущерб от подтопления 1 га городской территории (в зависимости от степени

ее застройки капитальными сооружениями, наличия исторических и архитектурных памятников, разветвленности подземной инфраструктуры) составляет от 15 до 200 тыс. долл. В связи с этим исследование влияния подтопления на динамические свойства слабосвязных грунтов является актуальной задачей.

При эксплуатации инженерных сооружений могут происходить нарушения водного и теплового балансов, химическое и электромагнитное загрязнения и изменения напряженно-деформированного состояния грунтов активной зоны, в том числе под действием вибродинамических нагрузок. В результате могут происходить неравномерные деформации зданий и сооружений.

Особый интерес представляет случай наложения нескольких видов техногенных нагрузок, например, вибродинамического воздействия в условиях техногенного подтопления, в данном случае, малосвязных дисперсных грунтов.

Подтопление грунтов – опасный геологический процесс, общим условием формирования которого является расход дополнительных объемов воды на увеличение емкостных запасов слабопроницаемых неводонасыщенных грунтов (супесей, суглинков, глин). Обусловлен влагопереносом, до достижения значений влажности грунтов, превышающих порог геологической безопасности. Опасность подтопления малопроницаемых грунтов (суглинков, глин), являющихся кровлей напорного пласта с определенной упругой емкостью, определяется изменением несущей способности грунтов, обусловленным повышением их влажности. При формировании опасности подтопления малопроницаемых грунтов (супесей), являющихся кровлей субнапорного пласта, определяющим фактором является время и объемы дополнительной инфильтрации. При кратковременном формировании процесса подтопления и/или незначительных объемах дополнительной инфильтрации происходит влагоперенос; развитие процесса происходит по вышеописанному варианту.

Ранее проводились теоретические исследования физико-механических свойств дисперсных грунтов [1–7]. Экспериментальное определение характеристик устойчивости и пластичности различного вида грунтов отражено в публикациях [8–12].

### Материал и методы исследований

Испытания грунтов проводились в лабораторных условиях. Были определены ускорения, возникающие в грунте при определенной возмущающей силе; вертикальные деформации грунтов необратимого характера при компрессионных испытаниях в статическом и динамическом режимах нагружения образцов. При виброкомпрессионном уплотнении грунта использовали металлическую обойму диаметром 152 мм и высотой 410 мм, жестко закрепленную на вибростоле вибрационного электродинамического стенда.

Амплитудно-частотный режим испытаний был выбран на основании обобщения опубликованных в литературе [1] и полученных при исследованиях данных. Амплитуда виброперемещений  $A_0$  задавалась постоянной  $0,3 \cdot 10^{-3}$  м (максимальные амплитуды, характерные для железнодорожного транспорта). Частота гармонических колебаний  $f$  изменялась от 15 до 105 Гц (наиболее часто встречаемые значения для техногенных нагрузок) с интервалом, равным 10 Гц. Каждый эксперимент проводился в течение одного

часа, а виброускорения, возникающие в грунте, обратимые и необратимые деформации измерялись в течение первых пяти минут, через 30 минут и в конце эксперимента. Образцы испытывали без статического пригружения.

Слабосвязным неводонасыщенным грунтам свойственны смешанные структуры. В них кулоновское трение между частицами меньше, чем в чистых песках, а коагуляционная сетка слабая и прерывистая. Ввиду неоднородности структурных связей, даже при небольших напряжениях в пределах упругих деформаций появляются необратимые деформации, т. е. предел упругости принимается условно [1]. В связи с низкой гидрофильностью таких грунтов их динамическая реакция зависит даже от небольших изменений влажности.

### **Результаты и проблематика**

Под действием вибродинамической нагрузки грунт из состояния равновесия переходит в нестабильное состояние. Распределение нормальных напряжений меняется в течение цикла. На стадии разгружения происходит ослабление и разрушение связей между структурными элементами, возрастает их подвижность. На стадии нагружения увеличивается количество и площадь межчастичных контактов и происходит уплотнение грунта. Увеличение влажности способствует разрушению межчастичных связей и препятствует их восстановлению. В результате общая тенденция сохраняется: уменьшение сил сцепления при растяжении компенсируется увеличением числа контактов при сжатии настолько, что деформируемость уменьшается, т. е. процесс уплотнения имеет затухающий характер. При этом изменение значений модулей общей и упругой деформации носит затухающий характер, модули общей деформации приближаются к значениям модулей упругости, а жесткость  $\alpha$  и соответственно собственная частота образцов грунта  $\omega$  увеличивается, но уже при измененном состоянии грунта характеризующимся повышенным значением влажности. Например, для супеси легкой ( $W = 0,135$ ) при изменении коэффициента пористости от 0,83 до 0,59 при одном и том же ускорении динамического воздействия амплитуды перемещений уменьшились от  $2,00 \cdot 10^{-3}$  м до  $0,44 \cdot 10^{-3}$  м.

Зависимость демпфирующих свойств от состава, физических свойств и состояния грунтов мало изучена. В научной литературе упоминается, что уменьшение влажности и увеличение пористости грунта приводит к резкому увеличению коэффициента затухания

### **Выводы**

При приложении вибродинамической нагрузки грунт уплотняется, процесс уплотнения имеет затухающий характер. При этом изменение значений модулей общей и упругой деформаций носит также затухающий характер. Модули общей деформации приближаются к значениям модулей упругости, а жесткость и соответственно собственная частота образцов грунта увеличивается. При увеличении влажности от максимальной гигроскопической влажности до влажности нижнего предела пластичности увеличивается сжимаемость грунта; жесткость, частоты

собственных колебаний образцов, логарифмические декременты и коэффициенты нарастания амплитуды вне резонансной зоны уменьшаются. Явление резонанса с увеличением влажности проявляется более четко.

Следует отметить, что полученные механические характеристики грунтов использовались при расчетах композитивных элементов конструкций, связанных с упругим основанием [13–17].

### *Список литературы*

1. Трофимова В.Т. Грунтоведение / В.Т. Трофимова. – М. Изд-во Московского университета, 2005. – 1023 с.
2. Трацевская Е.Ю. Особенности тектоники территории г. Гомеля в связи с оценкой устойчивости геологической среды / Е.Ю. Трацевская, А.Н. Галкин, И.А. Красовская // Литосфера. – 2003. – №1 (18). – С. 78–85.
3. Трацевская Е.Ю. Закономерности развития суффозионно-просадочных явлений на территории Белоруссии / Е.Ю. Трацевская, А.Н. Галкин // Инженерная геология массивов лессовых пород: труды международной научной конференции / под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева. – М., 2004. – С. 108–109.
4. Трацевская Е.Ю. Особенности формирования техногенного подтопления дисперсных грунтов / Е.Ю. Трацевская // Природные ресурсы. – 2008. – № 2. – С. 106–112.
5. Трацевская Е.Ю. Современное динамическое состояние геологической среды г. Гомеля и его влияние на инженерно-геологические условия / Е.Ю. Трацевская, О.К. Абрамович // Литосфера. – 2008. – №2 (29). – С. 129–137.
6. Трацевская Е.Ю. Геологическая опасность развития подтопления грунтов и оценка экономических рисков при ее реализации / Е.Ю. Трацевская // Природные ресурсы. – 2009. – №1. – С. 102–109.
7. Трацевская Е.Ю. Влияние развития техногенного подтопления в дисперсных грунтах на надежность системы «основание-фундамент-здание» / Е.Ю. Трацевская // Экология урбанизированных территорий. – 2011. – №2. – С. 71–76.
8. Трацевская Е.Ю. Динамическая неустойчивость квазитиксотропных современных грунтов / Е.Ю. Трацевская // Литосфера. – 2017. – №1 (46). – С. 107–111.
9. Трацевская Е.Ю. Характеристики пластичности супесчаных неводонасыщенных грунтов юго-востока Беларуси / Е.Ю. Трацевская // Литосфера – 2018. – №1 (48). – С. 12–17.
10. Трацевская Е.Ю. Демпфирующие свойства слабосвязных трехфазных грунтов / Е.Ю. Трацевская // Литосфера – 2019. – №2 (51). – С. 115–121.
11. Трацевская Е.Ю. Экспериментальное исследование параметров автотранспортного вибродинамического воздействия на массивы грунтов / Е.Ю. Трацевская // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2020. – №1 (40). – С. 58–61.
12. Трацевская Е.Ю. Определение механических свойств неводонасыщенных грунтов / Е.Ю. Трацевская // Современные вопросы механики сплошных сред – 2019 : сб. ст. по материалам Международной конференции. – Чебоксары: Среда, 2019. – С. 99–102.
13. Журавков М.А. Математические модели механики твердого тела / М.А. Журавков, Э.И. Старовойтов. – Минск: БГУ, 2021 – 535 с.
14. Zhuravkov M.A., Mechanics of Solid Deformable Body / M.A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E.I. Starovoirov – Singapore: Springer, 2022. – 317 p.
15. Абдусаттаров А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагрузжениях / А. Абдусаттаров, Э.И. Старовойтов, Н.Б. Рузиева – Ташкент: «IDEAL PRESS», 2023. – 381 с.

16. Vakhneev S., Starovoitov E. Damping of circular composite viscoelastic plate vibration under neutron irradiation / Journal of Applied Engineering Science. – 2020. – 18 (4). – P. 699–704.

17. Pronina P.F. Study of the radiation situation in Moscow by investigating elastoplastic bodies in a neutron flux taking into account thermal effects / P.F. Pronina, O.V. Tushavina, E.I. Starovoitov // Periódico Tchê Química. – 2020. – Vol. 17. – No.35. – Pp.753–764.

Трацевская Елена Юрьевна – канд. геолого-минерал. наук, доцент Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины, e-mail: eltrats@mail.ru

Elena Tratsevskaya, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of Gomel State University named after F. Skorina, e-mail: eltrats@mail.ru

УДК 539.3: 691: 624.001

## УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ НАЧАЛЬНО ИЗОТРОПНЫХ ДИЛАТИРУЮЩИХ СРЕД

*А.А. Трещев*

Тульский государственный университет  
г. Тула, Россия

**Аннотация:** рассмотрен общий подход к формулировке связи соосных тензоров второго ранга для деформируемых упругопластических сред, проявляющих дилатансию на различных этапах нагружения. Продемонстрирована взаимосвязь законов объемного и сдвигового деформирования, что не соответствует классическим постулатам механики. При этом подчеркнута вероятность зависимости механических характеристик материалов от вида напряженного состояния, а полные деформации представлены суммой упругой, пластической и деформацией дилатансии. Упругая деформация представлена в двух вариантах как в соответствии с линейным законом Гука, так и по типу разносопротивляющихся материалов. При этом было использовано нормированное векторное пространство напряжений. Рассмотрены варианты эмпирического нахождения констант материалов.

**Ключевые слова:** разрыхление, дилатансия, упругопластическое деформирование, законы объемного изменения, изменение формы.

## EQUATIONS OF STATE FOR INITIALLY ISOTROPIC DILATING MEDIA

**Abstract:** *a general approach to the formulation of the coupling of coaxial tensors of the second rank for deformable elastoplastic media exhibiting dilatancy at various stages of loading is considered. The interrelation of the laws of volumetric and shear deformation is demonstrated, which does not correspond to the classical postulates of mechanics. At the same time, the probability of dependence of the mechanical characteristics of materials on the type of stress state is emphasized, and complete deformations are represented by the sum of elastic, plastic and deformation dilatancy. Elastic deformation is presented in two versions, both in accordance with Hooke's linear law and according to the type of highly resistant materials. In this case, a normalized stress vector space was used. The variants of empirical finding of constants of materials are considered.*

**Keywords:** *loosening, dilatation, elastoplastic deformation, laws of volumetric change, shape change.*

### Введение

Упругопластическое деформирование широкого класса материалов противоречат традиционным законам механики [1], например, в части проявления свойств необратимого разрыхления и уплотнения, каковые могут быть объединены единым термином дилатансия. Кроме того этим материалам свойственна зависимость упругопластических свойств от типа НДС в самом широком смысле. Эти материалы зачастую называют полухрупкими, у которых разрушение сопровождается остаточными деформациями порядка упругих [2–3]. Подобными материалами являются бетоны [4–5], чугуны [2–3], графиты и углекомпози́ты [6], некоторые марки сталей при отрицательных температурах [6], полимеры и композиты.

Из литературы известен ряд работ, посвященных постулированию уравнений состояния, описывающие деформирование полухрупких материалов [2–6]. В отдельных публикациях разрыхление рассматривается как пластическое изменения объема тела с учетом влияния на скалярные свойства тел, а в противоположность этому разрыхление считается проявлением направленности с влиянием на векторные свойства.

### Материал и методы исследований

Ограничимся теорией малых упругопластических деформаций применительно к классу полухрупких тел с учетом наводящейся деформационной неоднородности и разрыхления, изначально проявляющихся исключительно при развитии пластичности. Наведение деформационной неоднородности учтем рассмотрением нормированных векторных пространств, которые продемонстрированы в работах [7–10].

Постулирование зависимостей параметров деформаций от напряжений для материалов, относящихся к классу полухрупких проведем в рамках достаточно обоснованных гипотез.

1. В произвольной точке тела определим полную деформацию как сумму упругой, пластической и деформации дилатансии

$$e_k = e_k^e + e_k^p + e_k^d; \quad k=1,2,3. \quad (1)$$

Остаточную деформацию можно установить, учитывая эффекты разрыхления

$$e_k^0 = e_k^p + e_k^d. \quad (2)$$

2. Упругие деформации обычно устанавливают в соответствии с обобщенным законом Гука, а именно

$$e_k^e = (\sigma_k - \sigma) / 2G + \sigma / 3K, \quad (3)$$

где  $\sigma = \sigma_{ij} \delta_{ij} / 3$  – гидростатическое напряжение ( $i, j = 1, 2, 3$ );  $G = E / [2(1 + \nu)]$ ;  $K = E / [3(1 - 2\nu)]$ ;  $E, \nu$  – модуль упругости и коэффициент поперечной деформации.

Для материалов, проявляющих зависимость упругих деформационных свойств от вида напряженного состояния взамен закона (3) целесообразно ввести уравнения [8]:

$$e_k = 1/3 \{ 2[b_1 + b_2 \xi (1 + 0,5 \eta^2)] + (b_4 \eta^2 + 1,5 \sqrt{2} b_5) \eta^2 / \xi - \\ - b_3 \eta^3 \cos 3\varphi \} \sigma + 1/3 \{ 2(b_3 + b_4 \xi + b_5 \eta \cos 3\varphi) - \quad (4)$$

$$- (b_2 \xi^2 + b_4 \eta^2) \xi - b_5 (3 - \eta \xi^2) \cos 3\varphi + 3 \sqrt{2} b_5 \mu_k \} (\sigma_k - \sigma),$$

где

$$b_1 = 0,75 [(1 - 2\nu^+) / E^+ + (1 - 2\nu^-) / E^-];$$

$$b_3 = 0,75 [(1 + \nu^+) / E^+ + (1 + \nu^-) / E^-];$$

$$b_2 = 0,75 [(1 - 2\nu^+) / E^+ - (1 - 2\nu^-) / E^-];$$

$$b_4 = 0,375 \{ \sqrt{3} [(3 - 4\nu^+) / E^+ - (3 -$$

$$- 4\nu^-) / E^-] - 3[(1 - 2\nu^+) / E^+ - (1 - 2\nu^-) / E^-] \};$$

$$b_5 = 0,75 \sqrt{2} \{ 0,5 [(1 - 2\nu^+) / E^+ - (1 - 2\nu^-) / E^-] + \sqrt{3} (\nu^+ / E^+ - \nu^- / E^-) \}$$

$$; \quad \xi = \cos \psi = \sigma / S_0; \quad \eta = \sin \psi = \tau / S_0; \quad \cos 3\varphi = \sqrt{2} S_{III} / \tau^3;$$

$$S_{III} = S_{ik} S_{kj} S_{ij}; \quad \tau = (S_{ij} S_{ij} / 3)^{1/2}; \quad S_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma; \quad (i, j = 1, 2, 3);$$

$S_0 = (\sigma^2 + \tau^2)^{1/2}$ ;  $\mu_k = \lambda_k / (\sigma_k - \sigma)$ ;  $\lambda_k = \Delta_k / S_0$ ;  $\Delta_k$  – минор к элементу  $(\sigma_k - \sigma)$ ;  $\psi$  – угол жесткости напряженного состояния (между векторами  $S_0$  и  $\sigma$ );  $E^\pm, \nu^\pm$  – модули упругости и коэффициенты Пуассона, полученные из опытов на осевое растяжение и осевое сжатие [8].

3. Сохраним гипотезу несжимаемости для пластических деформаций, то есть

$$e_1^p + e_2^p + e_3^p = 0. \quad (5)$$

Для полухрупких материалов нарушается гипотеза о единой кривой деформирования, а картина упрочнения зависит от характера НДС. В отличие от работы [7] влияние вида напряженного состояния на необратимые деформационные свойства материалов будет оцениваться функциями только от параметра  $\psi$ , а зависимостью от  $\varphi$  по подобию исследований [8] пренебрегаем. В этом случае связь интенсивности необратимых деформаций с интенсивностью напряжений определим октаэдрических характеристик

$$\gamma_p = \Phi(\psi, \tau) \tau, \quad (6)$$

где  $\gamma_p = 2\sqrt{(e_1^p - e_2^p)^2 + (e_2^p - e_3^p)^2 + (e_3^p - e_1^p)^2} / 3$ ;  $\Phi(\psi, \tau)$  – материальная функция деформирования, которая устанавливается обработкой данных экспериментов в процессе простого нагружения.

4. При пластических деформациях происходит разрыхление дилатирующих материалов, а так как разрыхление вызваны девиатором напряжений и зависят от вида напряженного состояния, то по подобию уравнения (6) можно записать

$$\theta_d = F(\psi, \tau) \tau, \quad (7)$$

где  $\theta_d = e_1^d + e_2^d + e_3^d$ ;  $F(\psi, \tau)$  – материальная функция деформирования, которая устанавливается обработкой данных экспериментов в процессе простого нагружения.

### Результаты и проблематика

Идентификация предлагаемой деформационной математической модели должна сопровождаться определением функций  $\Phi(\psi, \tau)$ ,  $F(\psi, \tau)$  применительно к исследуемым материалам. Тогда с учетом идей, выдвинутых в работах [7–8], эти функции  $\Phi(\psi, \tau)$ ,  $F(\psi, \tau)$  аппроксимируем степенными полиномами от нормированных напряжений  $\xi = \cos \psi$ ,  $\eta = \sin \psi$ . Далее проанализируем следующие варианты аппроксимаций указанных функций:

а) вариант №1;

$$\Phi(\psi, \tau) = \Phi(\xi, \tau) = \Phi_0(\tau) + \Phi_1(\tau)\xi + \Phi_2(\tau)\xi^2; \quad (8)$$

$$F(\psi, \tau) = F(\xi, \tau) = F_0(\tau) + F_1(\tau)\xi + F_2(\tau)\xi^2; \quad (9)$$

б) вариант №2;

$$\Phi(\psi, \tau) = \Phi(\xi, \eta, \tau) = \Phi_0(\tau) + \Phi_1(\tau)\xi + \Phi_2(\tau)\eta; \quad (10)$$

$$F(\psi, \tau) = F(\xi, \eta, \tau) = F_0(\tau) + F_1(\tau)\xi + F_2(\tau)\eta. \quad (11)$$

Функциональные зависимости  $\Phi_m(\tau)$  и  $F_m(\tau)$  (8) – (11) устанавливаются после проведения экспериментов по деформированию эталонных



образцов материалов, реализуя условия чистого сдвига, одноосного растяжения и одноосного сжатия.

Анализ построенных функций  $\Phi(\psi, \tau)$ ,  $F(\psi, \tau)$  при апробации их при деформировании бетонов и чугунов [2, 4, 5] показал, что существенной разница в точности первого (8), (9) или второго варианта полиномов (10), (11) несущественна. В связи с этим в дальнейшем можно остановиться на первом варианте полиномов  $\Phi(\psi, \tau)$ ,  $F(\psi, \tau)$  (8), (9).

Учитывая все выше сказанное, ограничивая закон упругого деформирования Гуковскими уравнениями (3), окончательно представим в главных осях связи деформаций с напряжениями следующим образом

$$e_k = [1/2G + \Phi(\xi, \tau)](\sigma_k - \sigma) + [1/3K + F(\xi, \tau)\eta/\xi]\sigma. \quad (12)$$

При переходе к осям произвольной координатной системы преобразования уравнений (12) представляются следующим образом:

$$e_{kk} = (\alpha + 2\beta)\sigma_{kk}/3 + (\alpha - \beta)(\sigma_{mm} + \sigma_{nn})/3;$$

$$e_{ij} = \beta\tau_{ij} \quad (\text{при } i \neq j), \quad (13)$$

где  $\alpha = (1 - 2\nu)/E + F(\xi, \tau)\eta/\xi$ ;  $\beta = (1 + \nu)/E + \Phi(\xi, \tau)$ .

При известных модуле упругости  $E$  и коэффициенте Пуассона  $\nu$  с учетом обобщенного закона Гука (3) из уравнений (1), (2) можно установить пластические деформации при любом виде реализуемого напряженного состояния.

Рассматривая диаграммы простого нагружения тяжелого бетона двух классов [4–5] и чугуна СЧ15-32 [2] в рамках трех эталонных видов напряженного состояния можно определить константы уравнений деформационной модели (12), (13), которая позволяет рассчитывать параметры упругопластических состояний эти материалов. Для полноты математической модели (12), (13) необходимо сформулировать законы объемного и сдвигового деформирования, которые представляются следующим образом:

а) закон объемного деформирования;

$$\theta = [1/K + F(\xi, \tau)\eta/\xi]\sigma; \quad (14)$$

б) закон формоизменения;

$$\gamma = [1/G + 2\Phi(\xi, \tau)]\tau. \quad (15)$$

Ясно, что параметры, характеризующие модули объемного изменения и изменения формы определяются видом напряженного состояния и являются нелинейными функциями при простом нагружении.

Обязательным при постулировании новых физических соотношений, каковыми являются уравнения (12), (13), (14), (15), необходима проверка постулата Друкера  $\delta\sigma_{ij}\delta e_{ij} \geq 0$ .

### Заключение

Применимость математической модели деформирования дилатирующих материалов (12), (13) проверялась на примере чугуна СЧ15-32 [2] и бетона двух классов [4–5], для которых проанализировано сравнение рас-

считанных диаграмм «напряжения – деформации» с экспериментальными, построенными при различных сложных видах напряженного состояния. Сопоставление диаграмм с расчетами продемонстрировало адекватность сформулированных уравнений состояния реальным картинам упругопластического деформирования рассмотренных материалов.

### *Список литературы*

1. Качанов Л.М. Основы теории пластичности / Л.М. Качанов. – М.: Наука, 1969. – 420 с.
2. Леонов М.Я. Зависимости между деформациями и напряжениями для полухрупких тел / М.Я.Леонов, В.А.Паняев, К.Н.Русинко // Инж. журнал МТТ. – 1967. – №6. – С. 26–32.
3. Ковальчук Б.И. О деформировании полухрупких тел / Б.И.Ковальчук // Проблемы прочности. – 1982. – №9. – С. 51–57.
4. Kupfer H.B. Behavior of Concrete Under Biaxial Stresses / H.B. Kupfer, H.K. Hilsdorf, H. Rusch // ACI Journal. – 1969. – V. 66. – №8. – P. 656–666.
5. Tasuji M.E. Stress-Strain Response and Fracture of Concrete in Biaxial Loading / M.E.Tasuji, F.O.Slate, A.H.Nilson // ACI Journal. – 1979. – №7. – P. 806–812.
6. Ломакин Е.В. Нелинейная деформация материалов, сопротивление которых зависит от вида напряженного состояния / Е.В. Ломакин // Изв. АН СССР. МТТ. – 1980. – №4. – С. 92–99.
7. Матченко Н.М. Определяющие соотношения изотропных разносопротивляющихся сред. Часть 2: Нелинейные соотношения / Н.М. Матченко, Л.А. Толоконников, А.А. Трещев // Изв. РАН. МТТ. – 1999. – №4. – С. 87–95.
8. Ковалев Д.Г. Исследование упругопластического деформирования разносопротивляющихся материалов / Д.Г. Ковалев, А.А. Трещев // Изв. вузов. Строительство. – 1999. – №8. – С. 29–33.
9. Treschev A.A. Constitutive relations for isotropic materials allowing quasi-linear approximation of the deformation law / A.A. Treschev, A.A. Bobrishev, L.N. Shafigullin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 481 (2019) 012014. – Doi: 10.1088/1757-899X/481/1/012014. – P. 1–7.
10. Трещев А.А. Теория деформирования пространственных железобетонных конструкций / А.А.Трещев, В.Г.Теличко. – М.; Тула: РААСН; ТулГУ, 2019. – 386 с.
11. Трещев А.А. О вариантах выбора диаграмм деформирования композитных материалов и не только / А.А.Трещев, И.А.Захарова, И.А.Судакова // Эксперт: Теория и практика (Научно-практический журнал). – 2022. – №2 (17). – С. 81–90.
12. Treshchev A.A. Traditional Measurements in Experiments on Determination of Mechanical Properties Materials and Nuances for Composites / A.A.Treshchev // Advances in Construction and Development. Springer. Part of the Lecture Notes in Civil Engineering book series. Springer, Nature. 2022. LNCE. Vol. 197. – P. 155–167.

Трещев Александр Анатольевич – заведующий кафедрой «Строительство, строительные материалы и конструкции», член-корреспондент РААСН, д-р техн. наук, профессор, Тульский государственный университет. Россия, 300012, г. Тула, проспект Ленина, 92; e-mail: taa58@yandex.ru

Alexander A. Treshchev, Head of the Department of Construction, Building Materials and Structures, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Tula State University. 92 Lenin Avenue, Tula, 300012, Russia; e-mail: taa58@yandex.ru

УДК 539.3

## ТЕРМОСИЛОВОЙ ИЗГИБ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ СО СЖИМАЕМОМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

**Ю.В. Шафиева**

Белорусский государственный университет транспорта  
г. Гомель, Беларусь

**Аннотация:** рассмотрен изгиб круговой трехслойной пластины со сжимаемым заполнителем при осесимметричной поверхностной нагрузке и воздействии температурного поля. В тонких несущих слоях справедливы гипотезы Кирхгофа. В легком заполнителе нормаль остается прямолинейной, поворачивается на некоторый дополнительный угол. Его обжатие принимается линейным по толщине. Деформации малые.

**Ключевые слова:** трехслойная пластина, упругость, сжимаемый заполнитель, осесимметричное нагружение, температурное поле.

## THERMAL FORCE BENDING OF A THREE-LAYER PLATE WITH A COMPRESSIBLE FILLER

**Abstract:** the bending of a circular three-layer plate with a compressible filler under axisymmetric surface load and the influence of a temperature field is considered. Kirchhoff's hypotheses are valid in thin load-bearing layers. In a light filler, the normal remains straight, rotates at some additional angle. Its compression is assumed to be linear in thickness. The deformations are small.

**Keywords:** three-layer plate, elasticity, compressible filler, axisymmetric loading, temperature field.

### Введение

Постановки и методики решения краевых задач о деформировании слоистых элементов конструкций приведены в монографиях [1–4]. В статьях [5–11] рассмотрен ряд задач о деформировании трехслойных стержней и пластин с несжимаемым заполнителем, в том числе при воздействии температурного поля. Публикации [12–21] посвящены исследованию деформирования упругих и упругопластических круглых трехслойных пластин со сжимаемым заполнителем при изотермических нагружениях.

### Материал и методы исследований

Здесь рассматривается постановка и решение задачи о деформировании круглой трехслойной пластины со сжимаемым заполнителем термосиловой нагрузкой. Используется цилиндрическая система координат. В тонких несущих слоях справедливы гипотезы Кирхгофа. В легком заполнителе нормаль остается прямолинейной, поворачивается на некоторый дополнительный угол  $\psi(r)$ . Обжатие по толщине принимается линейным. Деформации малые.

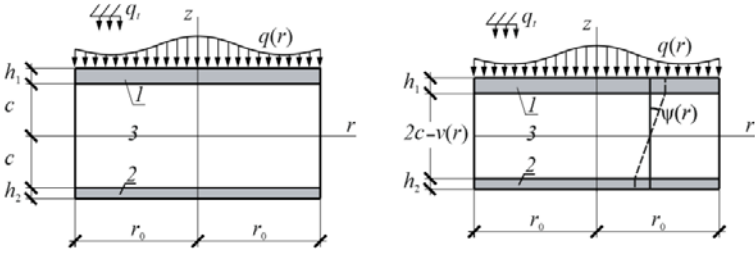


Рис. 1. Расчетная схема круговой трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем

На внешний слой пластины действует осесимметричная распределенная нагрузка  $q = q(r)$  и падает тепловой поток  $q_t$ . На контуре пластины предполагается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительному сдвигу слоев и обжатию наполнителя. Через  $w(r)$  и  $u(r)$  обозначены прогиб и радиальное перемещение срединной плоскости наполнителя,  $v(r)$  – функция обжатия наполнителя.

Радиальные перемещения  $u^{(k)}(r, z)$  и прогибы  $w^{(k)}(r, z)$  в  $k$ -ом слое можно выразить через четыре искомые функции  $w(r)$ ,  $u(r)$ ,  $\psi(r)$ ,  $v(r)$  следующими формулами:

– в несущих слоях  $k = 1, 2$ ;

$$u_r^{(1)}(r, z) = u + c\psi - z(w_r + v_r), \quad w^{(1)}(r, z) = w(r) + v(r) \quad (c \leq z \leq c + h_1),$$

$$u_r^{(2)}(r, z) = u - c\psi - zw_r, \quad w^{(2)}(r, z) = w(r) \quad (-c - h_2 \leq z \leq -c);$$

– в наполнителе  $k = 3$ .

$$u_r^{(3)}(r, z) = u + z\psi - z \left[ w_r + \frac{v_r}{2c}(z + c) \right],$$

$$w^{(3)}(r, z) = w(r) + \frac{v(r)}{2c}(z + c) \quad (-c \leq z \leq c), \quad (1)$$

где  $z$  – координата волокна; запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате.

Введем интенсивности обобщенных внутренних усилий в слоях пластины с помощью компонентов тензора напряжений  $\sigma_\alpha^{(k)}$ :

$$T_\alpha \equiv \sum_{k=1}^3 T_\alpha^{(k)} = \sum_{k=1}^3 \int_{h_k} \sigma_\alpha^{(k)} dz, \quad M_\alpha \equiv \sum_{k=1}^3 M_\alpha^{(k)} = \sum_{k=1}^3 \int_{h_k} \sigma_\alpha^{(k)} z dz, \quad S_\alpha^{(3)} = \int_{-c}^c \sigma_\alpha^{(3)} z^2 dz,$$

$$H_\alpha = M_\alpha^{(3)} + c(T_\alpha^{(1)} - T_\alpha^{(2)}), \quad D_\alpha = M_\alpha^{(1)} + \frac{1}{2}M_\alpha^{(3)} + \frac{1}{2c}S_\alpha^{(3)}, \quad \alpha = r, \varphi. \quad (2)$$

Для связи напряжений и деформаций воспользуемся термоупругими соотношениями закона Гука в девиаторно-шаровой форме:

$$s_\alpha^{(k)} = 2G_k(T_k)\vartheta_\alpha^{(k)}, \quad \sigma^{(k)} = K_k(T_k)\theta^{(k)} = 3K_k(T_k)(\varepsilon^{(k)} - \alpha_{0k}T_k),$$

$$s_{rz}^{(3)} = 2G_3(T_3)\vartheta_{rz}^{(3)}, \quad s_z^{(3)} = 2G_3(T_3)\vartheta_z^{(3)}, \quad \sigma^{(3)} = 3K_3(T_3)(\varepsilon^{(3)} - \alpha_{03}T_3), \quad (3)$$

где  $s_{\alpha}^{(k)}, \vartheta_{\alpha}^{(k)}$  – девиаторные ( $\alpha = r, \varphi$ );  $\sigma^{(k)}, \varepsilon^{(k)}$  – шаровые части тензоров напряжений и деформаций;  $G_k(T_k), K_k(T_k)$  – температурно зависимые модули сдвига и объемного деформирования,  $T_k$  – температура;  $\alpha_{0k}$  – коэффициент линейного температурного расширения материала  $k$ -го слоя.

Используя вариационный принцип Лагранжа, получена система дифференциальных уравнений равновесия во внутренних усилиях. Чтобы получить из них уравнения равновесия в перемещениях нужно с помощью соотношений (1)–(3) внутренние усилия выразить через искомые функции. Например, для момента  $M_r$  получим:

$$\begin{aligned} M_r = & \left[ K_1^+ h_1 \left( c + \frac{h_1}{2} \right) - K_2^+ h_2 \left( c + \frac{h_2}{2} \right) \right] u_{,r} + \left[ K_1^- h_1 \left( c + \frac{h_1}{2} \right) - K_2^- h_2 \left( c + \frac{h_2}{2} \right) \right] \frac{u}{r} + \\ & + \left[ K_1^+ c h_1 \left( c + \frac{h_1}{2} \right) + K_2^+ c h_2 \left( c + \frac{h_2}{2} \right) + \frac{2}{3} K_3^+ c^3 \right] \psi_{,r} + \\ & + \left[ K_1^- c h_1 \left( c + \frac{h_1}{2} \right) + K_2^- c h_2 \left( c + \frac{h_2}{2} \right) + \frac{2}{3} K_3^- c^3 \right] \frac{\psi}{r} - \\ & - \left[ K_1^+ h_1 \left( c^2 + c h_1 + \frac{h_1^2}{3} \right) + K_2^+ h_2 \left( c^2 + c h_2 + \frac{h_2^2}{3} \right) + \frac{2}{3} K_3^+ c^3 \right] w_{,rr} - \\ & - \left[ K_1^- h_1 \left( c^2 + c h_1 + \frac{h_1^2}{3} \right) + K_2^- h_2 \left( c^2 + c h_2 + \frac{h_2^2}{3} \right) + \frac{2}{3} K_3^- c^3 \right] \frac{w_{,r}}{r} - \\ & - \left[ K_1^+ h_1 \left( c^2 + c h_1 + \frac{h_1^2}{3} \right) + K_3^+ \frac{c^3}{3} \right] v_{,rr} - \left[ K_1^- h_1 \left( c^2 + c h_1 + \frac{h_1^2}{3} \right) + K_3^- \frac{c^3}{3} \right] \frac{v_{,r}}{r} - \\ & - \sum_{k=1}^3 3 K_k \alpha_{0k} \int_{h_k} T_k z dz. \end{aligned} \quad (4)$$

В результате имеем следующую систему дифференциальных уравнений для описания деформирования в температурном поле круговой трехслойной пластины со сжимаемым заполнителем:

$$\begin{aligned} L_2(a_1 u + a_2 \psi - a_3 w_{,r} - a_4 v_{,r}) + K_3^- v_{,r} &= 0, \\ L_2(a_2 u + a_5 \psi - a_6 w_{,r} - a_7 v_{,r}) - 2c G_3 \psi &= 0, \\ L_3(a_3 u + a_6 \psi - a_8 w_{,r} - a_9 v_{,r}) &= -q, \\ L_3(a_4 u + a_7 \psi - a_9 w_{,r} - a_{10} v_{,r}) + \frac{c}{6} \left( 2K_3 - \frac{1}{3} G_3 \right) \left( v_{,rr} + \frac{v_{,r}}{r} \right) - K_3^- \left( u_{,r} + \frac{u}{r} \right) - \frac{1}{2c} K_3^+ v &= -q, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $a_i$  – коэффициенты, определяемые термоупругими и геометрическими параметрами слоев,  $L_2, L_3$  – дифференциальные операторы [19].

Краевая задача замыкается добавлением к уравнениям равновесия кинематических граничных условий. Аналитическое решение системы дифференциальных уравнений (5) получено в виде:

$$\begin{aligned} v &= -\frac{C_7}{\beta} J_0(\beta r) + \frac{q_0 r}{2\beta^2} (p_1 + p_2) + C_9, \\ \psi &= -\frac{q_0 r^3}{16a_6} - \frac{1}{a_6} (a_3 u - a_8 w_{,r} - a_9 v_{,r}) + C_3 \frac{r}{2}, \\ u &= b_1 v_{,r} + (b_2 + b_3) \frac{q_0 r^3}{16} + C_5 \frac{r}{2}, \\ w &= \frac{a_2 a_6 - a_3 a_5}{a_6^2 - a_5 a_8} \int u dr - \frac{a_6 a_7 - a_5 a_9}{a_6^2 - a_5 a_8} v - \frac{a_5 q_0}{64(a_6^2 - a_5 a_8)} r^4 + C_{10} \frac{r^2}{4} + C_{12}, \end{aligned}$$

где  $C_i$  – константы интегрирования, следующие из граничных условий.

Это решение отличается от полученных ранее учетом зависимости упругих параметров материалов слоев от температуры, которая рассчитывается по формуле Белла [1–2]. Температура в явном виде входит в решение через константы интегрирования.

### Результаты и проблематика

Численные результаты. На рисунках 2, 3 показано изменение перемещений в пластине с несущими слоями, выполненными из различных материалов ( $c = 0,23$ ,  $h_1 = 0,02$ ,  $h_2 = 0,02$ ): 1 – Д16Т–фторопласт-4–Д16Т, 2 – титан–фторопласт-4–Д16Т, 3 – кордиерит–фт-4–Д16Т, 4 – кордиерит–фторопласт-4–титан.

Следует отметить, что усиление нижнего слоя приводит к увеличению функции обжатия (4) в то время как остальные перемещения уменьшаются.

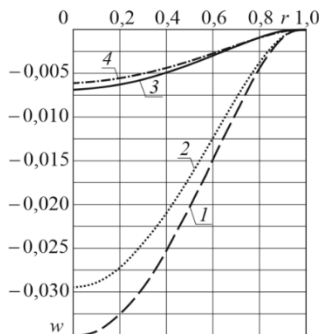


Рис. 2. Прогиб при различных материалах слоев

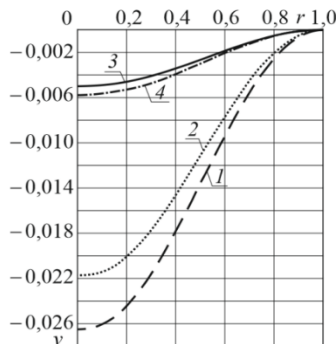


Рис. 3. Функция сжимаемости при различных материалах слоев

### Заключение

Приведенная постановка и аналитическое решение краевой задачи позволяют исследовать напряженно-деформированного состояния круговой несимметричной по толщине трехслойной пластины со сжимаемым легким заполнителем в температурном поле.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Конвергенция».*

### Список литературы

1. Горшков А.Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А.Г. Горшков, Э.И. Старовойтов, А.В. Яровая. – М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2005. – 576 с.
2. Журавков М.А. Математические модели механики твердого тела / М.А. Журавков, Э.И. Старовойтов. – Минск: БГУ, 2021. – 535 с.
3. Zhuravkov M.A., Lyu Yongtao, Starovoitov E.I. Mechanics of Solid Deformable Body. – Singapore: Springer, 2023. – 317 p.
4. Абдусаттаров А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагрузках / А. Абдусаттаров, Э.И. Старовойтов, Н.Б. Рузиева. – Ташкент: «IDEAL PRESS». 2023. – 381 с.
5. Vakhneev S., Starovoitov E. Damping of circular composite viscoelastic plate vibration under neutron irradiation // Journal of Applied Engineering Science. – 2020. – №18 (4). – Р. 699–704.
6. Козел А.Г. Сравнение решений задач изгиба трехслойных пластин на основаниях Винклера и Пастернака / А.Г. Козел // Механика машин, механизмов и материалов. – 2021. – №1 (54). – С. 30–37.
7. Нестерович А.В. Неосесимметричное нагружение трехслойной круговой пластины в своей плоскости / А.В. Нестерович // Теоретическая и прикладная механика. Междунар. н.-т. сборник. Белорусский национальный технический университет. Минск. – 2020. – №35 – С. 246–252.
8. Трацевская Е.Ю. Динамическая неустойчивость квазитиксотропных моренных грунтов / Е.Ю. Трацевская // Литосфера. – 2017. – №1 (46). – С. 107–111.
9. Старовойтов Э.И. Деформирование трехслойного стержня в температурном поле / Э.И. Старовойтов, Д.В. Леоненко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2013. – №1 (22). – С. 31–35.

10. Starovoitov É.I., Pleskachevskii Yu.M., Leonenko D.V., Tarlakovsky D.V. Deformation of a Step Composite Beam in a Temperature Field // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. – 2015. – Vol. 88, no.4. – P. 1023–1029.
11. Pronina P.F., Tushavina O.V., Starovoitov E.I. Study of the radiation situation in Moscow by investigating elastoplastic bodies in a neutron flux taking into account thermal effects // *Periódico Tchê Química*. – 2020. – Vol. 17. – No. 35. – Pp. 753–764.
12. Захарчук Ю.В. Уравнения равновесия упругопластической круговой пластины со сжимаемым заполнителем / Ю.В. Захарчук // *Механика. Исследования и инновации*. – 2018. – №11. – С. 80–87.
13. Захарчук Ю.В. Трехслойная круговая упругопластическая пластина со сжимаемым заполнителем / Ю.В. Захарчук // *Проблемы физики, математики и техники*. – 2018. – №4 (37). – С. 72–79.
14. Захарчук Ю.В. Уравнения равновесия упругопластической круговой пластины со сжимаемым заполнителем / Ю.В. Захарчук // *Механика. Исследования и инновации*. – 2018. – №11. – С. 80–87.
15. Старовойтов Э.И. Нелинейное деформирование трехслойной пластины со сжимаемым заполнителем / Э.И. Старовойтов, Ю.В. Захарчук // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2019. – №3 (48). – С. 26–33.
16. Захарчук Ю.В. Напряженно-деформированное состояние круговой трехслойной пластины со сжимаемым заполнителем / Ю.В. Захарчук // *Механика. Исследования и инновации*. – 2019. – №12. – С. 66–75.
17. Старовойтов Э.И. Изгиб упругопластической круговой трехслойной пластины со сжимаемым заполнителем / Э.И. Старовойтов, Ю.В. Захарчук // *Механика композиционных материалов и конструкций*. – 2020. – Т. 26. №1. – С. 58–73.
18. Захарчук Ю.В. Перемещения в упругой круговой трехслойной пластине со сжимаемым заполнителем / Ю.В. Захарчук // *Теоретическая и прикладная механика*. – 2020. – С. 61–69.
19. Захарчук Ю.В. Осесимметричный изгиб трёхслойной пластины со сжимаемым заполнителем / *Современные вопросы механики сплошных сред* – 2021 : сб. ст. по материалам III Международной конференции. – Чебоксары: Среда. – 2021. – С. 8–16.
20. Starovoitov E.I., Zakharchuk Y.V., Kuznetsova E.L. Elastic circular sandwich plate with compressible filler under axially symmetrical thermal force load // *Journal of the Balkan Tribological Association* – 2021. – Vol. 27. No 2. – P. 175–188.
21. Захарчук Ю.В. Упругое деформирование круговых трехслойных пластин со сжимаемым заполнителем осесимметричными нагрузками / Ю.В. Захарчук // *Теоретическая и прикладная механика*. – 2022. – С. 34–41.

Шафиева Юлия Викторовна – канд. физ.-мат. наук, доцент Белорусского государственного университета транспорта, ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Беларусь. E-mail: zakharchuk.julia2@mail.ru

Shafieva Yulia Viktorovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Belarusian State University of Transport, Kirova str., 34, 246653, Gomel, Belarus. E-mail: zakharchuk.julia2@mail.ru



## РАЗДЕЛ 2. МЕХАНИКА НЕСУЩИХ СИСТЕМ

УДК 691.32, 620.179.12

### НОВЫЕ НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

**С.И. Иванов**

АО «НИЦ «Строительство»

г. Москва, Россия

**Аннотация:** предложен новый для Российской Федерации метод определения прочности цементных бетонов, в том числе тяжелых и мелкозернистых, с максимальной крупностью, заполнителей 20 мм. Прочность по предлагаемому методу определяется за счет измерения усилия извлечения заранее погруженного в бетон гвоздя, изготовленного из специальной стали. Погружение гвоздя производится при помощи строительно-монтажного пистолета порохового типа. Метод позволяет расширить перечень косвенных неразрушающих методов контроля прочности бетона в железобетонных конструкциях.

**Ключевые слова:** бетон, прочность, пистолет монтажный, дюбель-гвоздь, патрон, градуировочная зависимость.

### NEW NON-DESTRUCTIVE METHODS OF CONCRETE STRENGTH CONTROL

**Abstract:** a new method for determining the strength of cement concretes, including heavy and fine-grained aggregates with a maximum size of 20 mm, is proposed for the Russian Federation. The strength of the proposed method is determined by measuring the extraction force of a nail made of special steel previously immersed in concrete. The nail is immersed using a powder-type construction and installation gun. The method allows to expand the list of indirect non-destructive methods of concrete strength control in reinforced concrete structures.

**Keywords:** concrete, strength, mounting gun, dowel-nail, cartridge, calibration dependence.

#### Введение

По инициативе ГБУ ЦЭИИС [1–2] в 2018–2023 годах выполнялись работы по исследованию метода контроля прочности бетона, основанного на погружении в бетон стальных дюбелей. По результатам работ был подготовлен отчет [3], публикации [4] и проект государственного стандарта на неразрушающий метод контроля [5], утверждаемый в 2023 году.

Результаты работ подтверждали возможность применения исследуемого метода в качестве косвенного неразрушающего метода.

К исследованиям [3] был выявлен ряд замечаний [6]. С целью развития метода контроля и устранения замечаний, исследования были продолжены в 2023 году совместно с АО «НИЦ «Строительство». Метод был дополнен определением усилия вырыва дюбеля из бетона, определением отношения усилия вырыва к глубине погружения. Обзор результатов исследований представлен в настоящей статье.

### **Материал и методы исследований**

В качестве методов для исследования были применены:

- анализ имеющихся нормативных документов и технической литературы по данному вопросу;
- сбор и анализ с использованием методов математической статистики результатов ранее проведенных исследований;
- разработка программы исследований и назначение параметров, значение которых необходимо контролировать при выполнении исследований;
- выполнение собственных испытаний и исследований;
- анализ полученных результатов с использованием методов математической статистики результатов выполненных исследований;
- анализ вливания различных факторов на результат исследований и исключение не оказывающих влияние факторов;
- разработка рекомендаций по применению исследуемого метода контроля.

Исследования выполнялись для тяжелых бетонов проектных классов от В15 до В50 на монолитных железобетонных конструкциях зданий и сооружений, строящихся в Москве, после их твердения в течении 28 суток при температуре 20–25 градусов.

Подготовка к испытаниям включала в себя подбор мощности патронов таким образом, чтобы обеспечить погружение дюбелей на глубину 20–45 мм. Размеры фрагментов монолитной конструкции выбирались таким образом, чтобы обеспечить расстояние между участками испытаний исследуемым методом не менее 20 диаметров дюбеля (но не менее чем 80 мм). Расстояние между местами погружения дюбель-гвоздей, толщина конструкции и расстояние от ее края составляли не менее 100 мм. В плане участки измерений представляли собой 24 ячейки, образованные проекцией арматурных стержней арматурного каркаса.

Для определения прочности были изготовлены образцы из кернов, извлеченных из проконтролированных исследуемым методом участков конструкций и испытаны по ГОСТ 28570 [7].

Были использованы стальные закаленные дюбель-гвозди диаметром 4,5 мм и длиной 50 или 60 мм [8]. Для погружения дюбелей был использован пистолет монтажный пороховой марки GFT 5 [9] с приспособлением для обеспечения перпендикулярности погружения дюбель-гвоздя (см. рисунок 1).

В качестве источника энергии при погружении дюбель-гвоздей использовались патроны индустриальные, снаряженные пороховым зарядом калибра 6,8/18. Использовались три вида патронов – со средней мощностью 350 Дж (по паспорту имели колебания мощности 27%), со средней мощностью 450 Дж (имели колебания мощности 23%) и со средней мощностью 650 Дж (имели колебания мощности 20%). Извлечение дюбель-гвоздей выполнялось с использованием специально изготовленного съемного захвата, закрепляемого в прибор ПОС-50, входящего в комплект оборудования к методу отрыва со скалыванием (см. рисунок 2).



Рис. 1. Установка дюбель-гвоздей с помощью пистолета GFT 5

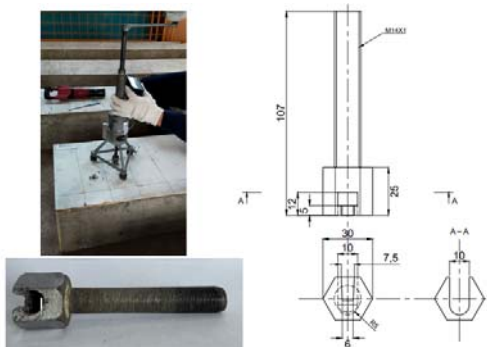


Рис. 2. Захватное приспособление для испытания дюбеля на вырыв, устанавливаемое в прибор ПОС-50

В процессе погружения и последующего извлечения стальных гвоздей, контролировалось наличие или же отсутствия изгиба гвоздя как

выше, так и ниже поверхности бетона (погруженная в бетон часть), выполнялось измерение размеров призмы выкалывания (см. рисунок 3).



Рис. 3. Искривление выступающей (а) и заглубленной (б) части дюбель-гвоздя

По результатам испытаний определялась глубина погружения дюбеля, усилия вырыва, рассчитывалась косвенная характеристика - отношение усилия вырыва [Н] к глубине [мм], размерность косвенной характеристики [Н/мм] для каждого дюбеля. При этом результаты испытаний, имеющие отклонения от нормальной формы разрушения в виде конуса, загиб выступающей или заглубленной части дюбеля (см. рисунок 3) отбраковывались и в расчете не учитывались.

По описанной выше методике было получено 30 серий испытаний в монолитных бетонах с прочностью от 15 до 55 МПа, было сделано 558 погружений дюбелей, из которых в различных сериях, в связи с загибом дюбелей было отбраковано от 18% до 62% значений, в среднем 36%.

### Результаты и проблематика

Выявлены ограничения для применения исследованного метода и факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на точность метода:

- разброс мощности порохового заряда;
- параметры индентора (забиваемого гвоздя);
- качество установки дюбель-гвоздя.

Была разработана методика отбраковки некачественных результатов и вычисления среднего значения при обработке результатов измерений. Определены факторы, не оказывающие существенного влияния на результаты испытаний.

Построение градуировочных зависимостей между контролируемой косвенной характеристикой и прочностью бетона, определенной по контрольным образцам-кернам, выполнялось согласно требованиям Прил. Е к ГОСТ 22690 [10].

Градуировочная зависимость, построенная с учетом исключения выпадающих значений, отличающихся от среднего на 10% в каждой серии, представлена на рисунке 4.

По данным, представленным на рисунке следует, что построенная градуировочная зависимости удовлетворяют требованиям п. Е.5 ГОСТ 22690 [10], следовательно, может применяться для контроля прочности бетона исследуемым методом.

Для сравнения, на рисунках 5 представлены градуировочные зависимости между прочностью бетона, глубиной погружения дюбеля и усилием вырыва дюбеля. При построении зависимостей по условию Е.6 Прил. Е ГОСТ 22690 [10] было отбраковано 2 и 9 серий соответственно.

По данным, представленным на рисунках 4 и 5, установлено, что исследуемый метод контроля прочности имеет существенно лучшую корреляцию с прочностью бетона, чем корреляция между прочностью бетона и глубиной погружения дюбеля и корреляция между прочностью бетона и усилием вырыва.

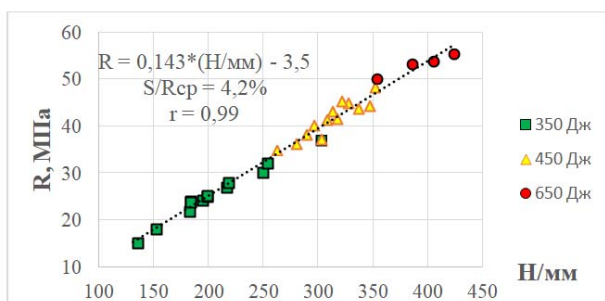
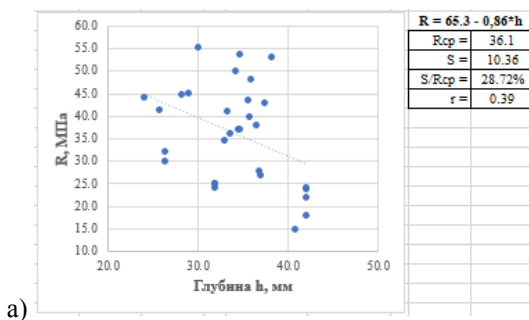


Рис. 4. Градуировочная зависимость с разделением значений с учетом энергии выстрела



а)

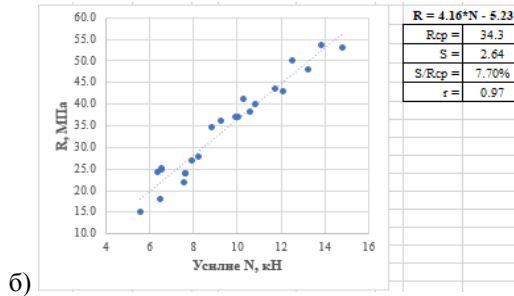


Рис. 5. Градуировочная зависимость прочности бетона от глубины погружения (а) и усилия вырыва (б) дюбель-гвоздя

### Заключение

1. Предложенный и исследованный метод контроля прочности бетона может быть классифицирован как косвенный неразрушающий метод определения прочности бетонов с прочностью от 15 до 55 МПа.

2. Разработана методика неразрушающего контроля прочности, содержащая требования к оборудованию, средствам измерений, а также требования к обработке результатов измерений.

3. В качестве косвенной характеристики следует использовать отношение усилия извлечения дюбель-гвоздя к глубине его погружения.

4. Основное влияние на точность измерений исследованным методом оказывает наличие в составе бетона гранитного щебня. Остальные компоненты бетона: цементный камень, мелкий заполнитель и щебень из гравия и карбонатных пород оказывают существенно меньшее влияние на точность измерений. Для повышения точности контроля рекомендуется использовать дюбель-гвозди и патроны тех же партий, что и использованные при построении градуировочной зависимости.

5. Наиболее рациональная область применения предлагаемого метода – это тонкостенные или густоармированные конструкции и участки конструкций чувствительные к качеству поверхности и не позволяющие выполнить испытания другими косвенными методами.

6. Эффект от внедрения предлагаемого метода заключается в расширении области применения косвенных неразрушающих методов контроля прочности, в том числе для конструкций, где контроль не мог быть выполнен вследствие ограничений изложенных в ГОСТ 22690 [10].

### Список литературы

1. Торицын И.В. Несветайло В.М. Способ определения прочности по глубине погружения дюбеля-гвоздя в тестируемый бетон и дюбель-гвоздь. Патент на изобретение. Номер патента: RU 2706390 C1.

2. Торицын И.В., Егоров В.Н., Несветайло В.М. Способ определения прочности по усилию выдергивания погруженного дюбель-гвоздя в тестируемый бетон. Патент на изобретение. Номер патента: RU 2724369 C1.

3. Отчет о НИОКР. Разработка новых прямых механических неразрушающих способов определения прочности бетона, Договор № 216/2021 от 24.05.2021г. Рег. №НИОКТР АААА-А16-116020310269-5 Рег. № ИКРБС 20161225-НИР-013, М., 2021.

4. Егоров В.Н. Новый неразрушающий метод определения прочности тяжелого бетона / В.Н. Егоров, В.М. Несветайло, А.Я. Токарский // Технологии бетонов. – 2023. – №3. – С. 43–48.

5. Проект ГОСТ Р Бетоны. Определение прочности по глубине погружения дюбель-гвоздя дюбелей, 2023 г.

6. Иванов С.И. Особенности определения прочности бетона методом погружения стальных дюбелей / С.И. Иванов, А.В. Невский, Д.А. Чесноков // Вестник НИЦ «Строительство». – 2022. – № 2. – С. 97–105.

7. ГОСТ 28570-2019 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций.

8. ТУ 14-4-1731-92 Дюбели-гвозди с насаженными шайбами с цинковым покрытием. Технические условия.

9. ТУ 7181-001-90573248-2012 Пистолеты монтажные поршневые GFT5.

10. ГОСТ 22690-2015 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.

Сергей Ильич Иванов – канд. техн. наук, заведующий лабораторией напрягающих бетонов и самонапряженных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва.

Sergey Ilyich Ivanov, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Straining Concretes and Self-stressed structures of the A.A. Gvozdev NIIJHB JSC "SIC "Stroitelstvo", Moscow, e-mail: 5378018@mail.ru

УДК 624

## РАСЧЕТ УСИЛЕНИЯ СТЕРЖНЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЯ

**В.А. Иванов**  
**А.Г. Николаева**  
**Н.В. Иванова**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»  
г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** рассмотрены вопросы по расчету варианта усиления элементов стержневой конструкции покрытия здания торгового центра, в том числе с использованием программы «конструктор сечений» при моделировании усиленного сечения для вычисления его геометрических характеристик.

**Ключевые слова:** усиление, стержневая конструкция, лира-САПР, конструктор сечений.

## CALCULATION OF REINFORCEMENT OF THE CORE STRUCTURE OF THE COATING

**Abstract:** *the issues of calculating the option of strengthening the core structure of the coating of the shopping center building are considered, including the use of the "section designer" program when modeling a reinforced section to calculate its geometric characteristics.*

**Keywords:** *reinforcement, core construction, lira-CAD, section designer.*

### Введение

При выполнении капитального ремонта кровли торгового центра встал вопрос о прочности структурной плиты покрытия. Так как планировалось увеличение толщины утеплителя и жесткости настила, было принято решение о проведении численных расчетов структурной конструкции с учетом увеличения нагрузки от кровли и полученных деформаций (осадок) [1–3].

### Материал и методы исследований

Объект представляет собой каркасное здание торгового центра с покрытием типа «Кисловодск» и антресольным этажом во втором свете. Несущими элементами покрытия являются четыре металлические колонны, жестко заделанные в отдельно стоящие железобетонные фундаменты (рис. 1).

Стержневая пространственная решетчатая конструкция с размерами в плане 30 x 30 м и сеткой колонн 18 x 18 м имеет ортогональную сетку поясов с ячейкой 3 x 3 м и высоту по осям поясов 2,12 м (рис. 2–3). Узлы верхнего и нижнего поясов соединены раскосами.

Пространственная жесткость конструктивных элементов обусловлена совместной работой жестко заделанных колонн покрытия в фундаменты, диска покрытия антресоли на отм. + 4.350 и колонн антресоли.

Все стержни одной системы имеют одинаковую длину и конструкцию. Они состоят из электросварных труб с приваренными к торцу шайбами. В отверстия шайб пропущены стержни высокопрочных болтов с закрепленными на них муфтами из шестигранника.

Для соединения стержней в пространственную конструкцию выполнены узловые элементы. Узловой элемент представляет собой стальной многогранник с резьбовыми отверстиями (коннектор). Отверстия сориентированы по направлению сходящихся в узле поясов и раскосов. Грани узлового элемента нормальны к осям отверстий, а оси пересекаются в центре узла. Кроме того, в узловом элементе имеются отверстия для крепления прогонов, подвесных потолков и технологического оборудования.

В зависимости от величины расчетных усилий стержни, имея одинаковые размеры по длине, выполнены из труб разных диаметров и толщин, начиная от 53 x 3 до 102 x 4.

Опираение структурной плиты на колонну шарнирное. Оно осуществлено посредством опорных капителей, состоящих из 4-х стержневых элементов и одного узлового. Основанием капители является ячейка нижнего пояса.



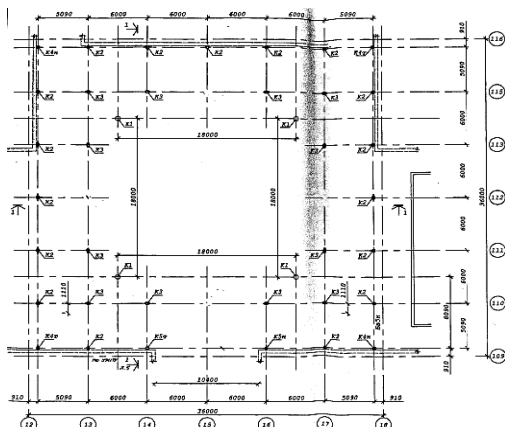


Рис. 1. Монтажная схема колонн на отм.+4,350

В результате технического обследования стальных конструкций покрытия и кровли пристройки «МАРХИ» к колхозному рынку ТК «Дорогомиловский», расположенного по адресу: г. Москва, ул. Можайский Вал, д. 10, было установлено: неравномерность осадок несущих конструкций покрытия обусловлена ненормативной осадкой колонны K4, в то время как соседние колонны K1, K2, K3, не имеют значительной разности осадок. Однако, стойки фахверка, расположенные по периметру пристройки, частично воспринимающие нагрузку от прогонов крыши пристройки, не получили каких-либо осадок, вследствие чего периметр покрытия находится в проектных отметках, а центральная часть, опирающаяся на 4 колонны структурного покрытия, изменила свое проектное положение из-за возникших осадок фундаментов.

Существенные неравномерные деформации структурной плиты покрытия – разность отметок центров коннекторов нижнего пояса достигает 120 мм, а относительная разность осадок опорных узлов капителей покрытия составила 78 мм. Относительная разность осадок соседних фундаментов колонн K1 и K4  $\Delta S/L = 78/18000 = 0,0043$ , что значительно превышает предельно допустимые значения, принятые по [6] (0,001).

По результатам анализа проведенного геодезического контроля установлено, что осадки колонн здания прогрессируют и составляют по сравнению с данными мониторинга 2012 г. 18 мм. Фундаменты пристройки получили дополнительные осадки, значения которых превышают предельно допустимые показатели по [6] (30 мм). При этом в конструкции покрытия пристройки образовались дополнительные напряжения, которые в свою очередь привели к образованию деформаций прогонов и напряжению в узлах структурного покрытия.

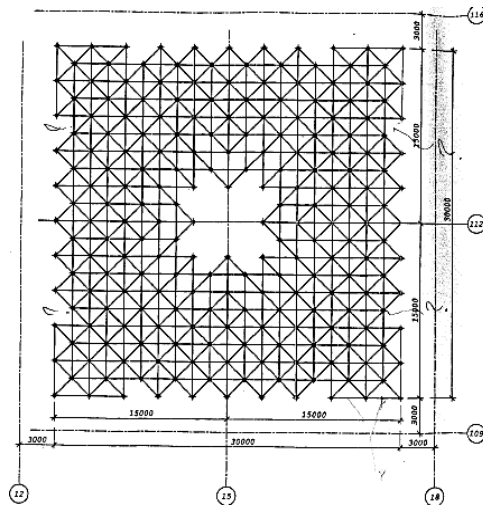
Для анализа прочности элементов структурного покрытия и для нахождения наиболее опасных зон деформаций в узлах и элементах покрытия принята стержневая конструкция структурной плиты. Расчетная

модель плиты покрытия была смоделирована в программном комплексе Лира-САПР[4–5, 7–8].

### Результаты и проблематика

По результатам расчета были получены усилия в элементах структурной плиты, от увеличенной нагрузки и деформации основания под колонной К4. В расчете деформации основания были заданы как вынужденные перемещения узлов опирания колонн. Так же была выполнена проверка несущей способности элементов структурной плиты. Проверка показала, что необходимо усиление некоторых элементов верхнего и нижнего поясов, а также раскосной решетки (рис. 4–6).

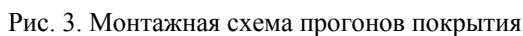
Обеспечение требуемой гибкости в сжатых стержнях пространственной структуры покрытия решено увеличением площади поперечного сечения сжатых стержней за счет сварки дополнительных усиливающих уголков по всей длине стержня (рис. 7).



СПИСОК ТАБЛИЦ

| Марка  | Содержание | Наименование         | Кол.<br>шт. | Масса<br>кг. | Примеч. |
|--|------------|----------------------|-------------|--------------|---------|
| Конструкция решетчатая крыша СПЗ-300А Чертеж 351/02.03.02.05 |            |                      |             |              |         |
| Сборочные единицы  |            |                      |             |              |         |
| 351/02.00.00.0.-03   |            | Стержень С-6         | 306         | 13.65        |         |
| 167.02.01.01.01  |            | Стержень С-7         | 106         | 17.3         |         |
| -01  |            | Стержень С-8         | 68          | 31.5         |         |
| -02  |            | Стержень С-12        | 16          | 40.0         |         |
| -03  |            | Стержень С-13        | 4           | 52.8         |         |
| Детали   |            |                      |             |              |         |
| 351/02.00.00.02  |            | Элемент узловой С-10 | 16          | 3.5          |         |
| 351/02.00.00.03  |            | Элемент узловой С-11 | 204         | 2.5          |         |
|  |            | Итого                |             | 12321        |         |

Рис. 2. Решетчатая конструкция покрытия



CITE THIS ARTICLE

| Марка           | Обозначение            | Наименование      | Кол.<br>шт. | Масса<br>кг. | Примеч.  |
|-----------------|------------------------|-------------------|-------------|--------------|----------|
| Комплект пружин |                        |                   |             |              |          |
| 1               | Н756Н.02.00.01         | Пружин НП-7-2к    | 21          | 15,52        | L=2450мм |
| 2               | Н756Н.02.00.02         | Пружин НП-7-2     | 94          | 21,62        |          |
| 3               | Н756Н.02.02.00         | Опора НП-12       | 22          | 2,43         |          |
| 4               | -01                    | Опора НП-13       | 22          | 2,66         |          |
| 5               | -02                    | Опора НП-14       | 22          | 2,89         |          |
| 6               | -03                    | Опора НП-15       | 22          | 3,11         |          |
| 7               | Н906Г.02.00.00         | Опора НП-16       | 16          | 3,64         | L=380мм  |
| 8               | Н906Г.02.00.00.Го типу | Опора НП-17       | 5           | 4,17         | L=425мм  |
| 9               | Гр Ø53х3               | Распорки L=1974мм | 20          | 7,9          |          |
| 10              | Гр Ø53х3               | Опора L=30-225мм  |             | 6,5          |          |
| Матем.          |                        |                   |             |              |          |
| Болт            | ГОСТ 7798-70*          | М16-6х25, 46, 09  | 650 шт.     | 49,3 кг      |          |
| Гайка           | ГОСТ 9815-79*          | М16-6Н, 4, 09     | 520 шт.     | 17,2 кг      |          |
| Вайда           | ГОСТ 4402-70           | 16, 65Г, 02, 09   | 650 шт.     | 5,2 кг       |          |

РСН(СП 20.13330.2011/2016\_1)  
Мозаика N  
Единица измерения - кН

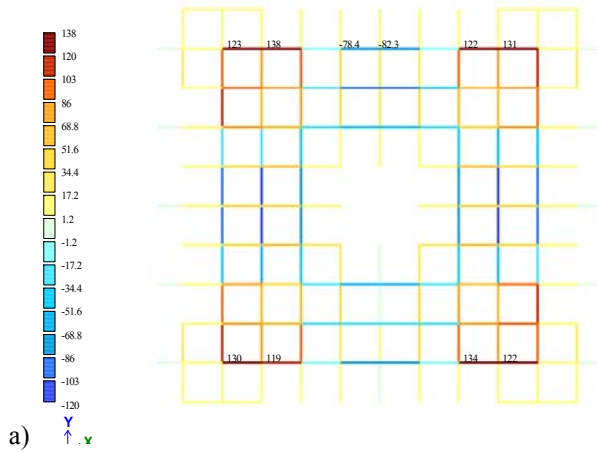


Схема верхнего пояса ПСК

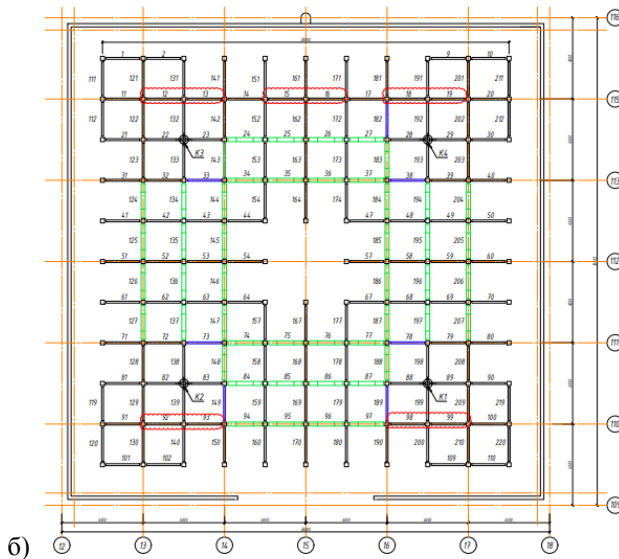
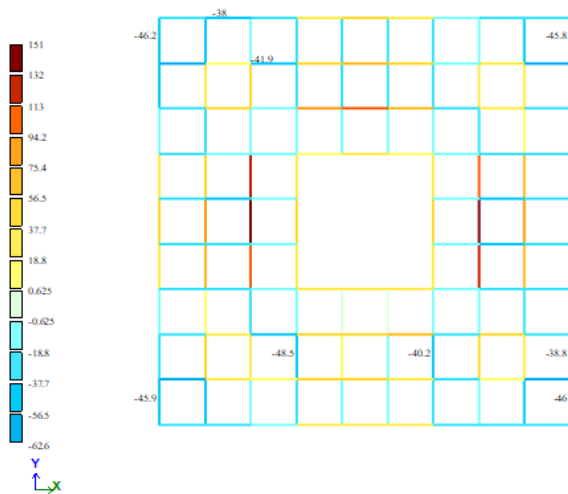
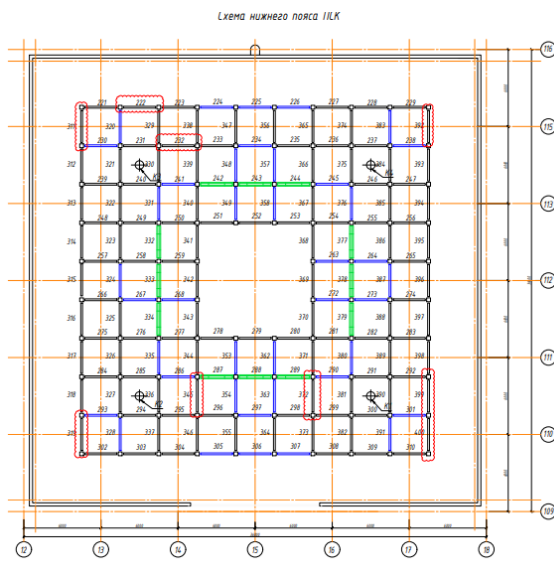


Рис. 4. Мозаика N перегруженных элементов верхнего пояса плиты (а).  
Схема усиленных элементов верхних поясов (б)

РСН1(СП.20.13330.2011/2016\_1)  
Мозаика N  
Единицы измерения - кН



а)



б)

Рис. 5. Мозаика N перегруженных элементов нижнего пояса плиты (а).  
Схема усиляемых элементов нижнего поясов (б)

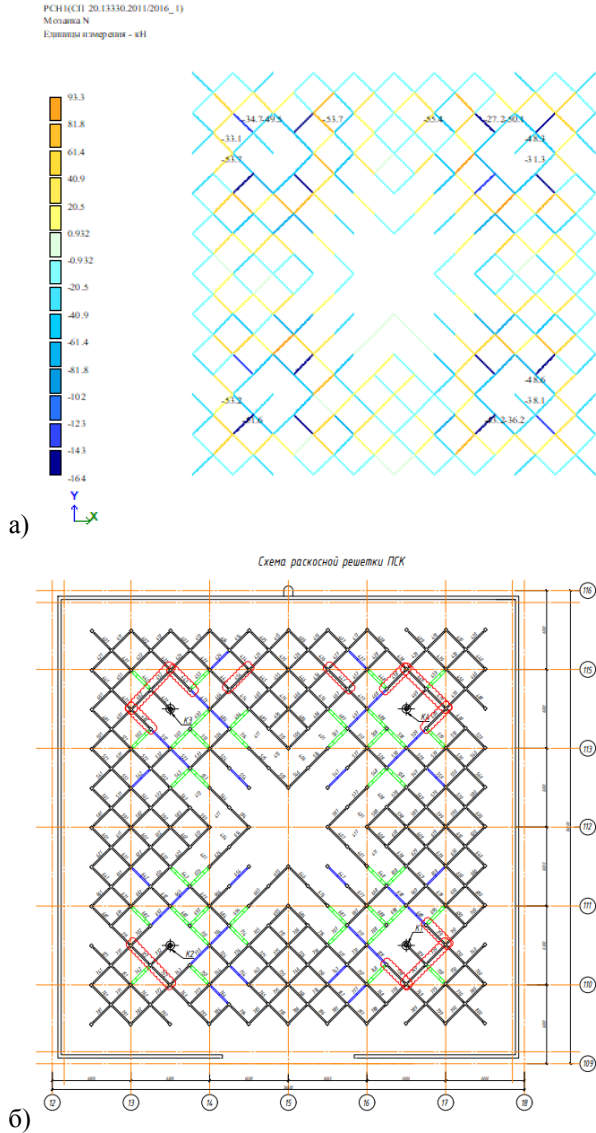


Рис. 6. Мозаика N перегруженных элементов решетки плиты (а).  
Схема усиливаемых элементов раскосной решетки (б)

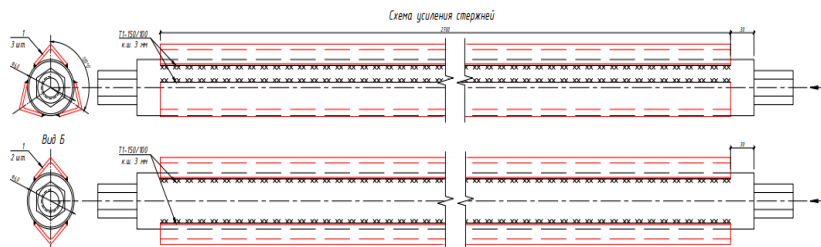


Рис. 7. Схема усиления стержней

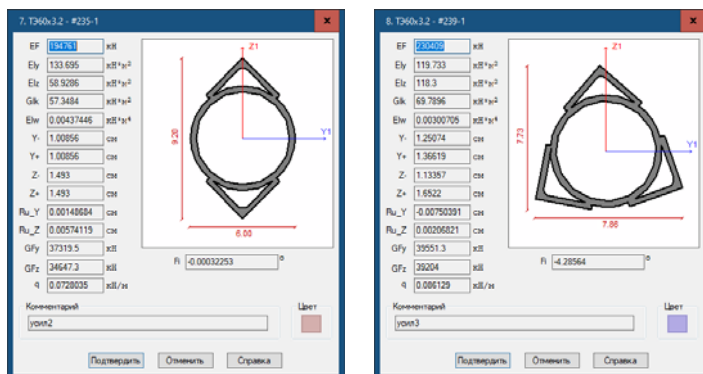


Рис. 8. Схема усиливаемых сечений и их жесткостные параметры

Для проверки несущей способности усиленных элементов были созданы соответствующие типы сечений с использованием программы «Конструктор сечений» и вычислены их жесткостные характеристики (рис. 8) [4, 8]. Далее созданные сечения вводились в расчетную схему, задавались усиленным стержням как тип жесткости. Потом проводилась проверка несущей способности.

Выравнивание высотного положения опорных коннекторов капителей на колонне К2 и К4 реализуется системой стальных винтовых компенсаторов (домкратов), монтируемых на каждой колонне. Компенсаторы рассчитаны на возможное дальнейшее развитие неравномерных осадок колонн до 100 мм после выполнения мероприятий по выравниванию (рис. 9).

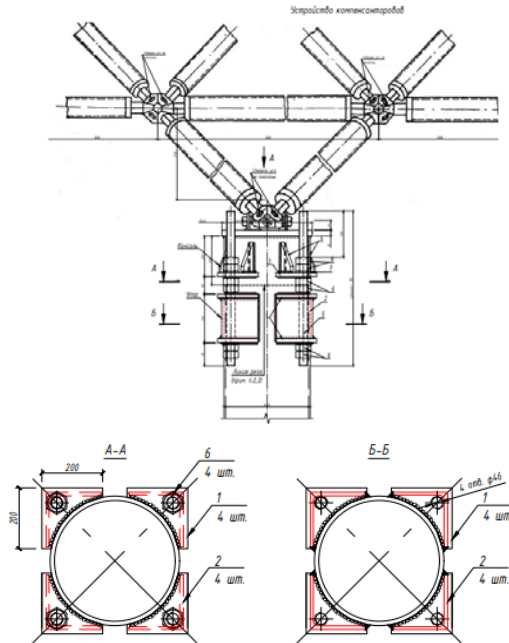


Рис. 9. Схема установки компенсатора на колонны

### Заключение

В процессе проверки несущей способности элементов структурной плиты было найдено конструктивное решение по усилению отдельных элементов. А так же реализован компьютерный расчет элементов с измененным поперечным сечением.

### Список литературы

1. Техническое заключение по результатам технического обследования стальных конструкций покрытия и кровли пристройки «МАРХИ» к колхозному рынку ТК «Дорогомиловский», расположенного по адресу: г. Москва, ул. Можайский Вал, д. 10» Рег. № А2111, 2021 г.
2. Рабочая документация «Торговый центр «ДОРОГОМИЛОВСКИЙ» Альбом 1. Архитектурно-строительные решения, 2000 г.
3. Проверка усиления стальных конструкций покрытия пристройки «МАРХИ» к колхозному рынку ТК «Дорогомиловский», расположенного по адресу: г. Москва, ул. Можайский Вал, д. 10.
4. Кудишин Ю.И. Металлические конструкции / Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева [и др.]; под ред. Ю.И. Кудишина. – 13-е изд., испр. – М.: Академия, 2011. – 688 с.
5. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции (актуализированная редакция СНиП II-23-81\*) / Минрегион России. – М.: ОАО ЦПП, 2017. – 172 с.
6. СП. 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений».



7. Яковлева Л.А. Огнезащита металлических конструкций / Л.А. Яковлева, Н.В. Иванова // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы III Международной (IX Всероссийской) конференции (Чебоксары, 23–24 ноября 2016 г.). – Чебоксары: Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, 2016. – С. 210–217.

8. Николаева А.Г. Применение САПР в проектировании многоэтажных стальных каркасов / А.Г. Николаева, Н.В. Иванова // Современные вопросы механики сплошных сред – 2019 : сборник статей по материалам конференции с международным участием (Чебоксары, 07 июня 2019 г.). – Чебоксары: Среда, 2019. – С. 175–180.

Иванов Виктор Анатольевич – старший преподаватель кафедры строительных конструкций, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия, e-mail: 2605viktor@mail.ru

Николаева Анастасия Георгиевна – ст. преподаватель ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия, e-mail: nag\_sf@mail.ru

Иванова Наталья Васильевна – ст. преподаватель ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия, e-mail: sus-a@mail.ru

Ivanov Viktor Anatolyevich, Senior Lecturer, Department of Building Structures, Chuvash State University named after I.N. Ulyanova, Cheboksary, Russia, e-mail: 2605viktor@mail.ru

Nikolaeva Anastasia Georgievna, senior lecturer of the "Chuvash state University named I. N. Ulyanov", Cheboksary, Russia, e-mail: nag\_sf@mail.ru

Ivanova Natalia Vasilevna, senior lecturer of the "Chuvash state University named I. N. Ulyanov", Cheboksary, Russia, e-mail: sus-a@mail.ru

УДК 69.07

## УСТОЙЧИВОСТЬ МНОГОСЛОЙНОЙ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ СИЛОВЫХ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

*Л.А. Сакмарова  
Е.Г. Гоник  
М.А. Бахмисова*

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»  
г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** в работе выполнено исследование устойчивости многослойной ограждающей конструкции при силовых и температурных воздействиях. Эксперименты ранее возведенных объектов показали, что устойчивость конструкции стен теряется в зоне упругости. Что бы убедиться в этом, была запроектирована и рассчитана ограждающая конструкция здания. Исследуемое здание запроектировано в программном комплексе Autodesk Revit, выделены критические участки здания, на которые необходимо обратить внимание в дальнейших расчетах в ПК ЛИРА и Сапфир. Данные участки являются критическими, так как там возможно выпадение кирпичей из лицевой кирпичной кладки в связи с температурными перепадами.

**Ключевые слова:** многослойная ограждающая конструкция, устойчивость, эксперимент, расчет, методика, Autodesk Revit, ПК ЛИРА, Canfir, нагрузки.

## STABILITY OF MULTILAYER ENCOUNTERING STRUCTURE UNDER FORCE AND TEMPERATURE INFLUENCES

**Abstract:** *the work carried out a study of the stability of a multilayer enclosing structure under force and temperature influences. Experiments on previously constructed objects have shown that the stability of the wall structure is lost in the elastic zone. To verify this, the building envelope was designed and calculated. The building under study was designed in the Autodesk Revit software package, critical areas of the building were identified, which need to be paid attention to in further calculations in the LIRA and Sapphire software. These areas are critical, since bricks may fall out of the facing brickwork there due to temperature changes.*

**Keywords:** *multilayer enclosing structure, stability, experiment, calculation, methodology, Autodesk Revit, PC LIRA, Sapphire, loads.*

### Введение

В настоящее время в жилых зданиях необходимо предусматривать в качестве ограждающей конструкции – многослойную. Существовавший ранее СНиП II-22–81 «Каменные и армокаменные конструкции» [5] был разработан для зданий с наружными стенами из массивной кладки и требовал изменений. Расстояния между вертикальными деформационными швами в нем назначались 35–120 м. Устройство горизонтальных деформационных швов предусмотрено не было. Массовые дефекты наружных стен из каменной кладки начались с конца 1990-х гг. Были ужесточены требования по сопротивлению теплопередаче и начали возводить многослойные стены. Допущенные ошибки при проектировании и низкое качество строительства сказались на качестве ограждающей конструкции. В настоящее время наблюдаем некоторые дефекты и выпадение кирпичей из стен построенных зданий.

Цель работы. Определение влияния внешних факторов на устойчивость наружной стены. Выполнение расчетов ограждающей конструкции, моделирование объекта в ПК, выявление критических мест для выполнения экспериментальных исследований устойчивости.

### Материал и методы исследований

В качестве рассматриваемого объекта для дальнейших исследований и экспериментов, было подобрано строящееся здание в г. Чебоксары. Место строительства относится к ПВ климатическому району согласно [4]. Климатические параметры холодного периода года приняты по таблице 3.1 [4, 8].

Нормативное значение веса снегового покрова на 1 м<sup>2</sup> горизонтальной поверхности земли – 2,0 кН/м<sup>2</sup> (IV снеговой район по карте 1 приложения Ж [6]).

Нормативное значение ветрового давления ( $W_0$ , кПа) составляет 0,23 кПа, таблица 11.1 (I ветровой район по карте 2 приложение Е [6, 9]).

Сейсмичность района строительства оценивается в 6 баллов (по шкале MSK-64), согласно [7].

Объемно-планировочные решения жилого дома разработаны в соответствии с градостроительными, функциональными и технологическими требованиями. Проектируемый объект имеет размеры в плане по осям 56,23 x 71,69 м. Конфигурация здания имеет блочную структуру и состоит из 4 блок-секций. В блок-секциях «А–Г» – 9 жилых этажей. Высота типового этажа – 2,7 м (от пола до низа перекрытия), высота 9-го этажа – 3,0 м (от пола до низа перекрытия).

Высота подвала – 2,2 м (от пола до низа перекрытия). Высота чердачного пространства (от пола до низа перекрытия) – 1,78 м. Блок-секции А, В, Г имеют сквозной проход. В каждой блок-секции жилого дома технический чердак запроектирован как «теплый чердак».

В данном исследовании приняты наружные ограждающие конструкции-стены надземных этажей, состоящих из кладки из крупноформатных пустотных керамических камней Римкер 2,15 НФ М150 F50 ( $\gamma = 900 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_B = 0,23 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ ). Перевязка лицевого слоя с основной кладкой – жесткая, один тычковый ряд на 4 ряда лицевой кладки. Толщина наружных стен: 640 мм – внутренний кирпич, 120 мм – лицевой кирпич.

Перекрытие из сборных железобетонных плит – многопустотных, предварительно напряженных, стенового безопалубочного формования, по серии ИЖ 998 выпуск 1, 2, 3 толщиной 220 мм. Плиты опираются на наружную ограждающую конструкцию (см. рис. 1).

Кровля над чердаком – инверсионная с внутренним водостоком, из наплавляемого рулонного битумно-полимерного материала «Техноэласт» в 2 слоя; утеплитель кровли – экструдированный пенополистирол ( $\gamma = 35 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_B = 0,032 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ ), пароизоляция – наплавляемый рулонный битумно-полимерный материал «Технониколь». Для создания уклона используется керамзитовый гравий ( $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$ ), поверх которого устраивается армированная стяжка из цементно-песчаного раствора М150 (см. рис. 1).

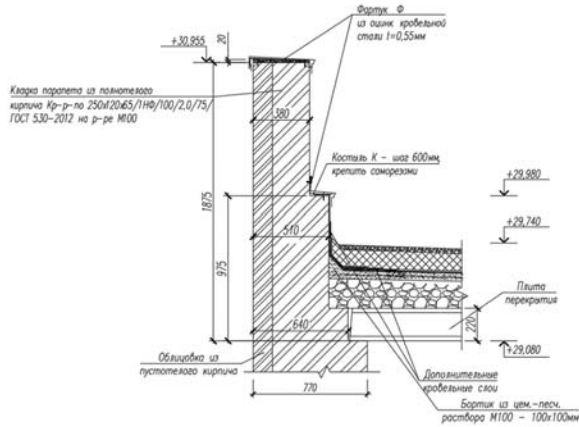


Рис. 1. Узел кровли с наружной ограждающей конструкцией

В исследовании принято здание высотой 9 этажей. Форма участков стен из керамического кирпича L-образная и прямая. Расстояние между вертикальными температурно-усадочными швами было подобрано по [4], в соответствии с толщиной лицевого слоя в 120 мм.

Для исследования было смоделировано здание, сложной конфигурации, с учетом выступов наружной стены (рис. 2). Фрагмент плана секции В показан на рис. 3.

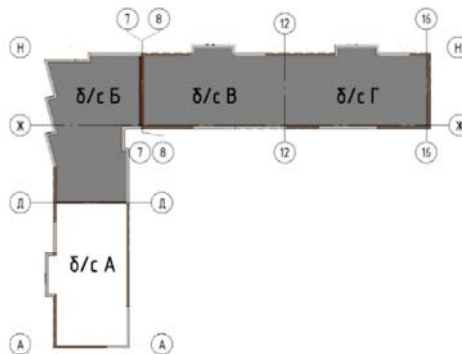


Рис. 2. Схема исследуемого здания

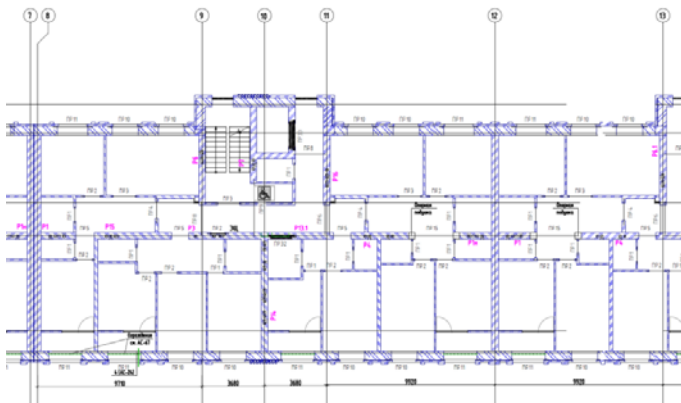


Рис. 3. Фрагмент плана секционного многоквартирного жилого дома

Конструкция стен здания с использованием наружной многослойной стены с лицевой кирпичной кладкой имеет определенные особенности, связанные с возможными температурными воздействиями на нее.

На рис. 4 показан внешний вид исследуемого здания в процессе моделирования в программном комплексе Autodesk Revit, где выделены критические участки здания, на которые необходимо обратить внимание в дальнейших расчетах. Данные места являются критическими, так как там возможно выпадение кирпичей из лицевой кирпичной кладки в связи с температурными перепадами. К опасным участкам относятся: выступающие наружные и внутренние углы здания, участки здания, в местах примыкания перемычек оконных проемов, цоколя, участков стен, где размещены помещения с влажным режимом.



Рис. 4. Модель здания в Autodesk Revit

В качестве материалов исследования были применены теоретические и практические основы. Методами исследования были наблюдение, сравнение ограждающих конструкций и материалов, эксперимент, измерение.

### Результаты и проблематика

При проектировании ограждающей конструкции, были выявлены основные технические аспекты, которые необходимо учитывать при проектировании и строительстве такой конструкции [1–3].

Одним из основных технических аспектов, который нужно учитывать при проектировании, является ее термическая устойчивость. Термическая устойчивость стены зависит от толщины и типа материала утеплителя, плотности и толщины кирпичной кладки, а также от теплопроводности, влажности и других теплофизических свойств материалов, используемых в конструкции. Еще одним важным аспектом является устойчивость стены при действии внешних нагрузок. Будет зависеть от условий ее закрепления, внешних сил, воспринимаемой стеной.

Так как материалы имеют различные коэффициенты температурного расширения, то при изменении температуры стена может подвергаться деформациям. Это может привести к различным проблемам, например, к образованию трещин в кирпичной кладке. Для предотвращения таких проблем необходимо правильно спроектировать крепление кирпичной кладки.

Важным аспектом является также управление влагой внутри стен. Конденсат или вода, накапливающаяся внутри стен, может привести к различным проблемам, таким как образование плесени и грибка, разрушение стен и утрате теплоизоляционных свойств.

Кроме того, необходимо учитывать возможные нагрузки на стену, которые могут возникнуть из-за температурных воздействий. Например, при изменении температуры кирпичная кладка может сжиматься или расширяться, что может приводить к нагрузкам на саму стену. При возведении стен с утеплителем, температура окружающей среды играет важную роль в формировании напряженного деформированного состояния лицевого слоя кладки. Во время укладки кирпичей, между ними образуется зазор, который затем заполняется раствором и в результате затвердевания раствора возникает напряжение. В дальнейшем, температура окружающей среды и прогревание утеплителя могут вызывать термическое расширение или сжатие многослойной стены, что в свою очередь влияет на напряженное деформированное состояние. При проектировании необходимо учитывать эти нагрузки и предусмотреть специальные механизмы для компенсации деформаций. Также следует учитывать влияние внешних факторов, таких как солнечная радиация, ветер, атмосферные осадки и т. д. Они могут привести к изменению температуры и влажности на поверхности стены, что в свою очередь может влиять на ее термическую и деформационную устойчивость.

Также, на этапе возведения и эксплуатации, важно проводить регулярный мониторинг состояния стены и выполнять необходимое техническое обслуживание, чтобы предотвратить возможные проблемы и убедиться в ее долговечности и устойчивости.

### Заключение

1. Многослойные стены с кирпичной кладкой представляют собой сложные конструкции, которые требуют тщательного проектирования и строительства.

2. Важно учитывать возможные температурные и силовые воздействия на стену, чтобы обеспечить ее устойчивость.

3. Предусмотреть влияние влаги и соответственно предотвратить возможные проблемы, связанные с ней.

4. Только в таком случае можно быть уверенным в долговечности и устойчивости несущей ограждающей конструкции.

### Список литературы

1. Петров М.В. Разработка многослойной ограждающей конструкции и проверка прочности подсистемы при температурных воздействиях / М.В. Петров, М.А. Бахмисова // Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020: Материалы V Междунар. (XI Всерос.) конф. (Чебоксары, 25–26 ноября 2020 г.). – Чебоксары: Среда. – С. 97–104.

2. Бахмисова М.А. Цифровизация, информационное моделирование и проектирование в учебном процессе / М.А. Бахмисова, Л.А. Сакмарова // Новые компетенции цифровой реальности: теория и практика их развития у обучающихся: сборник докладов и научных статей III Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 24 марта 2022 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2022. – С. 22–30.

3. Бахмисова М.А. Гибкие связи в многослойной ограждающей конструкции / М.А. Бахмисова, Е.Г. Гоник, Л.А. Сакмарова [и др.] // Строительство и застройка: жизненный цикл – 2022: Материалы VI Международной (XII Всероссийской) конференции (Чебоксары, 23–24 ноября 2022 г.). – Чебоксары: Среда, 2022. – С. 30–37.

4. СП 131.13330.2020 «Строительная климатология».

5. СНиП II-22–81 «Каменные и армокаменные конструкции».

6. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

7. СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах».

8. Сакмарова Л.А. Многослойные ограждающие конструкции, и их свойства при температурных воздействиях / Л.А. Сакмарова, М.А. Бахмисова // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции : Материалы IV Международной (X Всероссийской) конференции (Чебоксары, 21–22 ноября 2018 г.). – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2018. – С. 88–96.

9. Development, Strength Check, Calculation of the Wind Load of a Multi-layer Guarding Structure / M. A. Bakhmisoa, A. N. Plotnikov, L. A. Sakmarova, M. V. Petrov // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 197. – P. 49–54. – DOI 10.1007/978-981-16-6593-6\_6.

Сакмарова Лариса Алексеевна – канд. пед. наук, доцент Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. E-mail: lara.sakmarova@mail.ru

Гоник Екатерина Григорьевна – канд. техн. наук, доцент, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. E-mail: kattyа.gonik@mail.ru

Бахмисова Мария Алексеевна – аспирант, старший преподаватель, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. E-mail: masha\_a94@mail.ru

Sakmarova Larisa Alekseevna, Ph.D. Pedagogical Sciences, Associate Professor Chuvash State University named after. I.N. Ulyanova, Cheboksary, Russia. E-mail: lara.sakmarova@mail.ru

Gonik Ekaterina Grigorievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chuvash State University named after. I.N. Ulyanova, Cheboksary, Russia. E-mail: katya.gonik@mail.ru

Bakhmisova Maria Alekseevna, graduate student, senior lecturer, Chuvash State University named after. I.N. Ulyanova, Cheboksary, Russia. E-mail: masha\_a94@mail.ru

УДК 624.1

## БУРОИНЪЕКЦИОННАЯ СВАЯ ЭРТ В СВАЙНЫХ ПОЛЯХ

*Н.С. Соколов*

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Россия

ООО «Научно-производственная фирма «ФОРСТ»

г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** *буроинъекционная свая, изготовленная по разрядно-импульсной технологии (свая-ЭРТ), обладает рядом конкурентных преимуществ по сравнению с буроинъекционными сваями, изготавливаемыми по традиционным технологиям. Это: 1) повышенные значения прочности мелкозернистого бетона, превышающие на 40–60%. 2) повышенные значения несущей способности по грунту в 1,5 ÷ 3,0 раза. 3) повышенные значения несущей способности по прочности поперечного сечения в 1,5 раза и более. 4) рост значений несущей способности, как по грунту, так и по телу во времени по сравнению с проектными значениями. Кроме того, электрогидравлическая обработка мелкозернистого бетона повышает его водонепроницаемость.*

**Ключевые слова:** *буроинъекционные сваи-ЭРТ, прочность поперечного сечения, несущая способность, рабочая арматура, многоместные уширения.*

## DRILLED INJECTION PILE ERT IN PILE FIELDS

**Annotation:** *a drilled injection pile manufactured using discharge-pulse technology (pile-EDT) has a number of competitive advantages compared to drilled injection piles manufactured using traditional technologies. These are: 1) increased strength values of fine-grained concrete, exceeding 40–60%. 2) increased values of bearing capacity on the ground by 1.5 ÷ 3.0 times. 3) increased values of load-bearing capacity for cross-sectional strength by 1.5 times or more. 4) an increase in load-bearing capacity values, both on the ground and on the body, over time compared to the design values. In addition, electro-hydraulic processing of fine-grained concrete increases its water resistance.*



**Keywords:** *drilled injection piles-EDT, cross-sectional strength, bearing capacity, working reinforcement, multiple widenings.*

### **Введение**

Современные геотехнические технологии [1–2] позволяют изготавливать буроинъекционные сваи с повышенными значениями несущей способности. Разрядно-импульсная технология устройства свай (свай-ЭРТ) является наиболее приспособленной для достижения этих целей.

### **Материал и методы исследований**

Наиболее интересным представляется устройство свай-ЭРТ с многоместными уширениями [3–6, 7–13]. Благодаря устройству уширений вдоль ствола сваи и под ее пятой создается возможность устройства заглубленной железобетонной конструкции с возможностью регулирования несущей способности, как по грунту, так и по телу.

Технология устройства свай с многоместными уширениями известна с 60-х годов прошлого века. Опыт использования таких свай есть в Индии, ФРГ, Великобритании, Японии, СССР, России. Конструкция такой сваи представляет собой буровую сваю с уширением на пяте. Кроме того в зависимости от типа инженерно-геологических условий и требуемой несущей способности сваи выше пяты вдоль ствола устраиваются дополнительные уширения [4–5, 7–14].

### **Результаты и проблематика**

Свая с многоместными уширениями работает как железобетонная заглубленная конструкция, имеющая количество опор соответствующих числу уширений. На начальном этапе нагружения в работу вступает верхнее уширение. По мере увеличения нагрузки постепенно включаются нижележащие уширения, при этом каждое уширение выполняет функцию дополнительной опоры.

Практика изготовления таких свай показала их высокую эффективность. Несущая способность свай по грунту с одним уширением в 2,0–2,5 раза, а с двумя – в 3,0–3,5 раза выше, чем у свай, выполненных без уширений [4–5, 7–8].

Достоинствами буроинъекционных свай-ЭРТ с многоместными уширениями являются: 1) простота выполнения (добавляется одна легковыполняемая операция); 2) возможность точного определения места устройства уширения (определяются по уходу мелкозернистой бетонной смеси); 3) возможность устройства необходимого количества уширений по расчету несущей способности вдоль длины сваи; 4) минимизация технологических осадок; 5) максимальная по сравнению с любыми другими технологиями устройства буровых свай усиления несущая способность сваи, как по грунту, так и по материалу.

Расчет несущей способности свай-ЭРТ с многоместными уширениями пяте аналогичен расчету буровых свай по формуле 7.11 «СП 24.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты», при этом диаметр уширения определяется согласно таб. 2.3 «ТР 50-180-06. Технические рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов, выполняемых с использованием разрядно-импульсной технологии для зданий

повышенной этажности Москва 2006», а величина минимально допустимого интервала между уширениями составляет 3,5 диаметра уширения. Для слоистого напластования оснований, устройство уширений наиболее предпочтительны на контактных поверхностях инженерно-геологических элементов.

При конструировании вновь сооружаемых фундаментов из свай-ЭРТ следует руководствоваться правилами и требованиями, предъявляемыми к конструированию фундаментов из буровых и набивных свай и изложенными в СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты» и СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов», а также актуализированной редакции СП 24.13330.2011. «Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты».

Армирование микросвай производится из расчета несущей способности поперечного сечения сваи (по формуле 2.7 [6] и 14.6 «ТР 50-180-06. Технические рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов, выполняемых с использованием разрядно-импульсной технологии для зданий повышенной этажности Москва 2006»). В качестве расчетной арматуры используются одиночные стержни, сварные каркасы, жесткая арматура в виде проката из черных металлов или стальные трубы.

Арматура сваи может быть как однородной на всю длину, так и комбинированной (например, труба или прокат в зоне действия изгибающего момента и каркас на всю остальную длину).

Она должна иметь фиксирующие элементы, центрирующие ее в скважине и обеспечивающие требуемую толщину защитного слоя бетона. Фиксирующие элементы могут выполняться из металла или пластика и крепиться с трех или четырех сторон арматурного стержня или каркаса на расстоянии 8–10 диаметров скважины друг от друга.

В качестве продольной арматуры свай-ЭРТ используется горячекатаная арматурная сталь класса АIII и AIV диаметром от 12,0 мм до 40,0 мм включительно. Продольная арматура располагается равномерно по контуру сваи с расстоянием в свету между отдельными стержнями не менее диаметра стержнями и не менее 50 мм. Общая площадь сечения продольной арматуры должна составлять не менее 0,5% и не более 10% от площади сечения бетона, в том числе в зоне стыкования секций.

В грунтовых условиях, исключающих потерю продольной устойчивости ствола сваи, рекомендуется выполнять центральное армирование. Оно выполняется из отдельного стержня, пучка стержней, трубы, прокатного или сварного профиля или их сочетаний, например трубой, усиленной по периметру арматурными стержнями или проволокой.

Поперечная арматура арматурных каркасов свай-ЭРТ изготавливается в виде спиралей или круглых вязаных или сварных хомутов из арматуры класса В-500 диаметром не менее 5 мм или класса А-240 диаметром 6–10 мм с шагом не более 10 диаметров стержней продольной арматуры и не более 150 мм.

При установке поперечной арматуры, требуемой по расчету на действие поперечных сил, шаг хомутов принимается не более 1/2 диаметра сваи.

Зона стыкования секций армокаркасов дополнительно усиливается спиральной арматурой с шагом не более 100 мм. Диаметр поперечной арматуры в вязаных каркасах принимается не менее 1/4 диаметра стержней продольной арматуры, а в сварных каркасах устанавливается из условия сварки сваи [6].

Арматурные каркасы изготавливают, как правило, в заводских условиях на приводных станках контактной сваркой.

Допускается использование электродуговой сварки для случая использования поперечной арматуры класса А-240 диаметром более 10 мм.

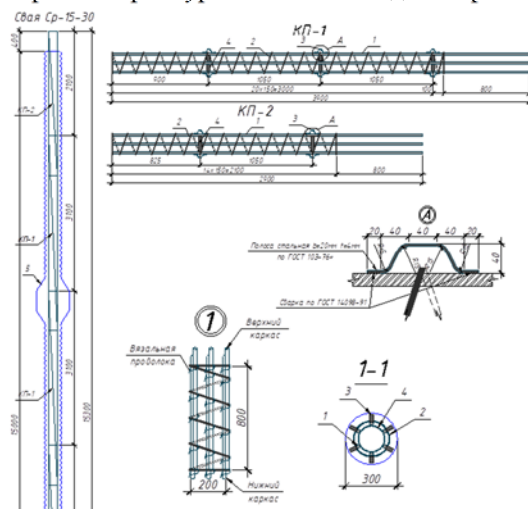


Рис. 1. Пример схемы армирования буроналивной сваи-ЭРТ Ср-15-30 (15 – длина сваи в м., 30 – диаметр в см.): 1 – продольная арматура класса А500с; 2 – поперечная арматура класса А240;

3 – фиксатор каркаса сваи (из стальной пластины  $b = 20$  мм,  $t = 4$  мм; 4 – труба  $d159$  мм обеспечивает жесткость каркаса при транспортировке и складировании; 5 – уширения вдоль ствола и пяты сваи

Соединение арматурных каркасов по длине сваи осуществляется стыковкой отдельных секций с помощью вязальной проволоки или с помощью сварных стыков. Сварные стыки должны обеспечивать равнопрочность арматуры и удобство производства работ по инъецированию бетонной смеси. Сварное соединение арматурных каркасов рекомендуется выполнять с помощью стыковочного трубчатого элемента, к которому дуговыми фланговыми швами привариваются стыкуемые арматурные стержни (нахлесточное сварное соединение).

Сжатые одиночные стержни и каркасы рекомендуется соединять запрессовкой несварным стыком, обеспечивающим расчетное сопротивление на сжатие. Допускаются неравнопрочные стыки, например шарнирные.

Толщина защитного слоя арматурного каркаса микросвай должна быть не

менее 80 мм. Допускается уменьшение толщины защитного слоя до 20 мм в случае применения специальных мероприятий (защитные антикоррозийные покрытия арматуры, защита арматурного каркаса рукавом из полимерной ткани или специальной гофрированной полимерной трубкой и т. д.).

На рис. 1 приведен пример армирования буроинъекционной сваи–ЭРТ СР-15-30 длиной 15 м и диаметром 30 см с двумя уширениями вдоль ствола и уширением по пяте. Диаметры уширений составляют: верхнее – 415 мм; нижнее – 395 мм, а по пяте – 410 мм. Продольное армирование запроектировано из пространственных каркасов КП-1 и КП-2. Соединение каркасов, состоящих из 6 стержней  $\varnothing 18$  А 500 производится вязальной проволокой с нахлестом не менее 40 диаметров – 800 мм (узел 1 на рис. 1). Возможен вариант сварного соединения. При этом размер нахлеста составляет не менее 20 диаметров – 400 мм. Для создания защитного слоя бетона использована стальная полоса (фиксатор каркаса – узел 3 на рис. 1) шириной  $b = 20$  мм и толщиной  $t = 4.0$  мм.

### Заключение

Многолетним опытом автора, на практике доказано, что буроинъекционная свая, изготовленная по разрядно-импульсной технологии (свая–ЭРТ), обладает рядом конкурентных преимуществ по сравнению с буроинъекционными сваями, изготавливаемыми по традиционным технологиям из-за повышенных значений несущей способности по грунту, также электрогидравлическая обработка мелкозернистого бетона повышает его водонепроницаемость и его прочность. Свая с многоместными уширениями работает как железобетонная заглубленная конструкция, имеющая количество опор соответствующих числу уширений, у нее максимальная по сравнению с любыми другими технологиями устройства буровых свай усиления несущая способность свай, как по грунту, так и по материалу.

### Список литературы

1. Ильичев В.А. Опыт освоения подземного пространства Российских мегаполисов / В.А. Ильичев, Р.А. Мангушев, Н.С. Никифорова // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2012. – № 2. – С. 17–20.
2. Улицкий В.М. Геотехническое сопровождение развития городов / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин. – СПб.: Георекострукция, 2010. – 551 с.
3. Ilichev V.A. Deformations of the Retaining Structures Upon Deep Excavations in Moscow / V.A. Ilyichev, P.A. Kononov, N.S. Nikiforova, L.A. Bulgakov // Proc. Of Fifth Int. Conf on Case Histories in Geotechnical Engineering, April 3–17. New York, 2004. – P. 5–24.
4. Ilyichev V.A. Computing the evaluation of deformations of the buildings located near deep foundation trenches / V.A. Ilyichev, N.S. Nikiforova, E.B. Koreneva // Proc. of the XVIth European conf. on soil mechanics and geotechnical engineering. Madrid, Spain, 24–27th September 2007 «Geo-technical Engineering in urban Environments»... Volume 2. – P. 581–585.
5. Nikiforova N.S. Geotechnical cut-off diaphragms for built-up area protection in urban underground development / N.S. Nikiforova, D.A. Vnukov // The pros, of the 7th Int. Symp. «Geotechnical aspects of underground construction in soft ground», 16–18 May, 2011, tc28 IS Roma, AGI, 2011, № 157NIK.

6. Petrukhin V.P. Effect of geotechnical work on settlement of surrounding buildings at underground construction / V.P. Petrukhin, O.A. Shuljatjev, O.A. Mozgacheva // Proceedings of the 13th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Prague, 2003.

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. Пичугин Ю.П., Соколов Н.С. Генератор импульсных токов. Патент на изобретение RU2282936 C1, 27.08.2006. Заявка №2005102864/09 от 04.02.2005.

9. Соколов Н.С., Джантимиров Х.А., Кузьмин М.В., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Способ возведения набивной конструкции в грунте. Патент на изобретение RU2605213 C1, 20.12.2016. Заявка №2015126349/03 от 01.07.2015.

10. Никонорова И.В. Хозяйственное освоение зоны влияния Чебоксарского водохранилища / И.В. Никонорова, Н.С. Соколов // Управління водними ресурсами в умовах змін клімату: збірник Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – 2017. – С. 71–72.

11. Соколов Н.С., Рябинов В.М., Таврии В.Ю., Абрамушкин В.А. Способ возведения набивной сваи. Патент на изобретение RU2318960 C2, 10.03.2008. Заявка № 2005140716/03 от 26.12.2005.

12. Соколов Н.С. Определение несущей способности буройнъекционных свай-РИТ со сформированными «подпятниками» / Н.С. Соколов // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: сборник материалов I Международной (VII Всероссийской) конференции. – 2012. – С 289–292.

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

14. Sokolov N. Foundation with increased load bearing base capacity / N. Sokolov, B. Mikhailov, S. Viktorova // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021) : 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, 21–28 апреля 2021 года. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 3015.

Соколов Николай Сергеевич – зав. кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства» ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», директор ООО НПФ «ФОРСТ», канд. техн. наук, доцент, член РОМГТИФ и ISSMGE, г.Чебоксары, e-mail: ns\_sokolov@mail.ru

Sokolov N.S., Head of the Department of "Construction technologies, geotechnics and construction economics" in Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "I.N. Ulianov Chuvash State University", Director of ООО NPF "FORST", Candidate of Sciences (Engineering), Docent, member of RSSMGE, Cheboksary, e-mail: ns\_sokolov@mail.ru

УДК 624.1

## БУРОИНЪЕКЦИОННЫЕ СВАИ ЭРТ ОГРАЖДЕНИЙ КОТЛОВАНОВ

**Н.С. Соколов**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Россия

ООО «Научно-производственная фирма «ФОРСТ»

г. Чебоксары, Россия

**С.С. Викторова**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** проблема повышения несущей способности оснований всегда является актуальной проблемой в современном геотехническом строительстве. Она приобретает особую важность при строительстве на оползневоопасных склонах. При этом как проектировщики, так и заказчики допускают непоправимые ошибки при разработке проектной документации удерживающих заглубленных конструкций при возведении объектов на таких участках. Все допускаемые огрехи в основном связаны с отсутствием должного контроля техническим заказчиком на производство предпроектных работ, в том числе инженерно-геологических изысканий. В настоящей статье описывается отрицательный случай из геотехнической практики проектирования и строительства жилого комплекса на оползневом склоне. Статья является обзорной.

**Ключевые слова:** удерживающие заглубленные конструкции, геотехническое строительство, электроразрядная технология ЭРТ, буроинъекционная свая ЭРТ, монолитный железобетонный ростверк.

## DRILLED INJECTION PILES ERT FOR FENCING PITCHES

**Abstract:** the problem of increasing the bearing capacity of foundations is always a pressing problem in modern geotechnical construction. It becomes especially important during construction on landslide-prone slopes. At the same time, both designers and customers make irreparable mistakes when developing design documentation for retaining buried structures when constructing objects in such areas. All mistakes made are mainly related to the lack of proper control by the technical customer over the performance of pre-design work, including engineering and geological surveys. This article describes a negative case from geotechnical practice in the design and construction of a residential complex on a landslide slope. The article is a review.

**Key words:** retaining buried structures, geotechnical construction, electric discharge technology EDT, drilled injection pile EDT, monolithic reinforced concrete grillage.

### Введение

Строительство ответственных объектов на пересеченных территориях [1–7] с наличием склонов, оврагов и других неровностях предполагает устройство или заглубленных этажей, или возведение удерживающих строительных конструкций. При этом все технические и технологические решения [8–9] по обеспечению устойчивости оснований построенных зданий и объектов окружающей застройки должны быть обоснованными геотехническими расчетами. Зачастую в реальной практике строительства [10–11] происходят технические сбои, связанные с надежной эксплуатацией удерживающих конструкций. В таких сложных геотехнических случаях возникает необходимость закрепления уже существующих ограждающих сооружений.

В качестве удерживающих конструкций при строительстве в сложных геотехнических условиях, на оползневоопасных склонах и случаях при сбоях связанных с надежной эксплуатацией удерживающих конструкций гармонично подходят буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРТ) изготавливаемые по электроразрядным технологиям [12]. Электроразрядная технология [8–17], обладая рядом технических и технологических преимуществ широко используется в геотехнической практике устройства, как свайных полей, так и свай усиления оснований фундаментов, закрепления оснований фундаментов, склонов, при устройстве нагелей и т. д.

В рассматриваемой статье приводится опыт использования буроинъекционных свай ЭРТ с грунтовыми анкерами ЭРТ в комплексе с подпорными стенами.

### Материал и методы исследований

**Объект №1.** Деформированная уголкового монолитная (см. рис. 1) железобетонная подпорная стена поз. 1 в микрорайоне Радужный в г. Чебоксары. Горизонтальное смещение существующей стены достигает 200,0 мм до 1000,0 мм. Дальнейшие деформации грозили безаварийной эксплуатации существующим инженерным сооружениям. Для стабилизации деформации решено устроить дополнительную удерживающую монолитную железобетонную подпорную стену поз. 2, возводимую на оголовки буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРТ). Вновь возведенная подпорная стена дополнительно закреплена монолитными железобетонными контрфорсами поз. 3 и грунтовыми анкерами.

**Объект №2.** Деформированная монолитная железобетонная подпорная стена (см. рис. 2) поз. 1. Как упор грунта в котловане как упор деформированного ограждения котлована из буронабивных свай поз. 2. Необходимо отметить что буронабивные сваи служили в качестве ограждения котлована для обеспечения устойчивости восьмизэтажного крупнопанельного жилого дома. Для обеспечения устойчивости существующей стены запроектированы и возведены монолитные железобетонные контрфорсы

по монолитным железобетонным ростверкам поз. 4. Основанием ростверков служат буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) размещенные под контрфорсами по схеме свайного куста. В настоящее время 15 этажный объект общественного назначения возведен в эксплуатацию.

**Объект №3.** Ограждение котлована как удерживающая подпорная стена из двух рядов буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРТ) (см. поз. 2 рис. 3) в г. Нижний Новгород запроектировано и возведено для возведения поликлиники МВД как ограждение котлована и удерживающая конструкция существующего двухэтажного объекта поз. 1. По оголовкам свай ЭРТ возведен монолитный обвязочный железобетонный пояс поз. 3 с арматурными выпусками для дальнейшего возведения наружной стены строящегося здания.

**Объект №4.** Ограждение котлована из буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) (см. поз. 1 рис. 4) в г. Нижний Новгород служит конструктивом в качестве наружных стен двухэтажного подвала. Для этой цели по оголовкам свай возведен монолитный железобетонный обвязочный пояс поз. 2 с выпусками арматуры как по верхней так и по нижней граням пояса, служащие для возведения ограждающих конструкций и обвязки плоского арматурного каркаса с целью обетонирования поверхности по очищенным поверхностям свай РИТ (см. поз. 3).

**Объект №5.** Ограждение котлована из буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) (см. поз. 1 рис. 5) и грунтовых анкеров ЭРТ (см. поз. 2) по стальному анкерному поясу (см. поз. 3) в г. Н. Новгород служит как раскрепленное ограждение котлована. Одновременно она является внутренней стеной двухэтажного подвала. Для этого по верху оголовков буроинъекционных свай ЭРТ имеется монолитный железобетонный пояс (поз. 4) с выпусками арматуры по верхней и нижней граням. Выпуски арматуры по нижней грани служат для создания плоского арматурного каркаса с последующим обетонированием поверхности подвального помещения (см. поз. 5). Выпуски по верхней грани служат для возведения наружных стен выше нулевой отметки.

**Объект №6.** Ограждение котлована с использованием стальных труб поз. 1 и грунтовых анкеров ЭРТ поз 2 по стальному анкерному поясу поз. 3 в г. Чебоксары (рис. 6) служит как ограждение котлована и как удерживающая конструкция для обеспечения надежной эксплуатации объектов и сооружений окружающей застройки. Для безопасного производства работ ниже нулевой отметки предусмотрена забирка из досок толщиной 50,0 мм.





Рис. 1. Монолитная железобетонная угловая подпорная стена с контрфорсами как удерживающая заглубленная строительная конструкция деформированной подпорной стены: 1 – существующая монолитная железобетонная угловая подпорная стена: 2 – монолитная железобетонная угловая подпорная стена с контрфорсами 3



Рис. 2. Монолитные железобетонные контрфорсы на буронабивных сваях ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) как упор деформированной подпорной стены в г. Н. Новгород: 1 – существующая монолитная железобетонная подпорная стена как упор деформированного ограждения котлована из буронабивных свай 2; 3 – монолитные железобетонные контрфорсы по монолитным железобетонным ростверкам 4



Рис. 3. Подпорная стена из двух рядов буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) как ограждение котлована в г. Н. Новгород:  
1 – усиливаемый объект; 2 – ограждение котлована из двух рядов буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ); 3 – монолитный железобетонный обвязочный пояс



Рис. 4. Ограждение котлована из буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) в г. Н. Новгород: 1 – ограждение котлована из двух рядов буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ); 2 – монолитный железобетонный обвязочный пояс; 3 – опалубка



Рис. 5. Ограждение котлована из буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) и грунтовых анкеров ЭРТ в г. Н. Новгород:  
1 – ограждение котлована из буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ); 2 – грунтовые анкера ЭРТ; 3 – анкерный пояс;  
4 – монолитный железобетонный обвязочный пояс; 5 – опалубка



Рис. 6. Ограждение котлована с использованием стальных труб и грунтовых анкеров ЭРТ в г. Чебоксары:  
1 – ограждение котлована из стальных труб; 2 – грунтовые анкера ЭРТ;  
3 – анкерный пояс; 4 – забирка из досок толщиной 50,0 мм

### Результаты и проблематика

При наличии сложных условий строительства и сохранения эксплуатационных характеристик зданий окружающей застройки с учетом проведенных изысканий необходимо тщательно выбирать технологию устройства котлованов и обустройства подпорных стен. По результатам проведенных работ

на различных представленных в статье объектах для дальнейшей безопасной и безаварийной их эксплуатации достигнуты расчетные показатели устойчивости и проведена стабилизация деформаций, а именно по:

- объекту №1 для стабилизации деформации устроена дополнительно удерживающая монолитная железобетонная подпорная стена с применением буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРТ);

- объекту №2 для обеспечения устойчивости существующей стены запроектированы и возведены монолитные железобетонные контрфорсы по монолитным железобетонным ростверкам;

- объекту №3 произведено ограждение котлована как удерживающая подпорная стена из двух рядов буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРТ). Возведен монолитный обвязочный железобетонный пояс с арматурными выпусками для дальнейшего возведения наружной стены строящегося здания;

- объекту №4 произведено ограждение котлована из буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ). По оголовкам свай возведен монолитный железобетонный обвязочный пояс с выпусками арматуры, как по верхней, так и по нижней граням пояса;

- объекту №5 произведено ограждение котлована из буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) (см. поз. 1 рис. 5) и грунтовых анкеров ЭРТ (см. поз. 2) по стальному анкерному поясу;

- объекту №6 ограждение котлована с использованием стальных труб и грунтовых анкеров ЭРТ по стальному анкерному поясу послужило ограждением котлована и включено в работу как удерживающая конструкция.

### **Заключение**

Строительство ответственных объектов на пересеченных территориях с наличием склонов, оврагов предполагает устройство или заглубленных этажей, или возведение удерживающих строительных конструкций. Рассмотренные в статье технологии с применением буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРТ) и грунтовых анкеров ЭРТ позволили эффективно эксплуатировать здания и сооружения в г. Н. Новгород и Чебоксары. Благодаря ним объекты общественного назначения возведены в эксплуатацию.

### **Список литературы**

1. Ильичев В.А. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов / В.А. Ильичев, Р.А. Мангушев, Н.С. Никифорова // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2012. – № 2. – С. 17–20.
2. Улицкий В.М. Геотехническое сопровождение развития городов / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин. – СПб.: Георекострукция, 2010. – 551 с.
3. Illichev V.A., Kononov P.A., Nikiforova N.S., Bulgakov L.A. Deformations of the Retaining Structures Upon Deep Excavations in Moscow. Proc. Of Fifth Int. Conf on Case Histories in Geotechnical Engineering, April 3–17. New York, 2004, pp. 5–24.
4. Illichev V.A., Nikiforova N.S., Koreneva E.B. Computing the evaluation of deformations of the buildings located near deep foundation tranches. Proc. of the XVIth European conf. on soil mechanics and geotechnical engineering. Madrid, Spain, 24–27th September 2007. «Geo-technical Engineering in urban Environments». Vol. 2, pp. 581–585.

5. Nikiforova N.S., Vnukov D.A. Geotechnical cut-off diaphragms for built-up area protection in urban underground development. The pros, of the 7th Int. Symp. «Geotechnical aspects of underground construction in soft ground», 16–18 May, 2011. tc28 IS Roma, AGI, 2011, № 157NIK.

6. Nikiforova N.S., Vnukov D.A. The use of cut off of different types as a protection measure for existing buildings at the nearby underground pipelines installation. Proc. of Int. Geotech. Conf. dedicated to the Year of Russia in Kazakhstan. Almaty, Kazakhstan, 23–25 September 2004, pp. 338–342.

7. Petrukhin V.P., Shuljatjev O.A., Mozgacheva O.A. Effect of geotechnical work on settlement of surrounding buildings at underground construction. Proceedings of the 13th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Prague. 2003.

8. Соколов Н.С. Проблемы расчета буроинъекционных свай, изготовленных с использованием разрядно-импульсной технологии / Н.С. Соколов, М.В. Петров, В.А. Иванов // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: Материалы VIII Всероссийской (II Международной) конференции. – 2014. – С. 415–420.

9. Соколов Н.С. Расчет буроинъекционных свай ЭРТ повышенной несущей способности / Н.С. Соколов, А.Н. Соколов, С.Н. Соколов [и др.] // Жилищное строительство. – 2017. – №11. – С. 20–25.

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

11. Соколов Н.С. Использование буроинъекционных свай ЭРТ в качестве оснований фундаментов повышенной несущей способности / Н.С. Соколов, С.Н. Соколов, А.Н. Соколов [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – №9. – С. 66–70.

12. Sokolov N.S. One of geotechnological technologies for ensuring the stability of the boiler of the pit. Key Engineering Materials, 2018. Т. 771. С. 56–69.

13. Соколов Н.С. Расчет буроинъекционных свай ЭРТ повышенной несущей способности / Н.С. Соколов, А.Н. Соколов, С.Н. Соколов [и др.] // Жилищное строительство. – 2017. – № 11. – С. 20–25.

14. Соколов Н.С. Технологические приемы устройства буроинъекционных свай с многоместными уширениями / Н.С. Соколов // Жилищное строительство. – 2016. – №10. – С. 54.

15. 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. Т. 15. Special Issue 1. С. 1–11.

16. Sokolov, N. Foundation with increased load bearing base capacity / N. Sokolov, B. Mikhailov, S. Viktorova // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021) : 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE – 2021), Kazan, 21–28 апреля 2021 года. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 3015.

Соколов Николай Сергеевич – зав. кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства» ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», директор ООО НПФ «ФОРСТ», канд. техн. наук, доцент, член РОМГГиФ и ISSMGE, г.Чебоксары, e-mail: ns\_sokolov@mail.ru

Викторова Светлана Станиславовна – старший преподаватель кафедры «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», зам.декана строительного факультета ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова».

Sokolov N.S., Head of the Department of "Construction technologies, geotechnics and construction economics" in Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "I.N. Ulianov Chuvash State University", Director of OOO NPF "FORST", Candidate of Sciences (Engineering), Docent, member of RSSMGE, Cheboksary, e-mail: ns\_sokolov@mail.ru

Viktorova Svetlana Stanislavovna, senior lecturer of the Department of Construction Technologies, Geotechnics and Construction Economics, Deputy Dean of the Faculty of Construction of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "CSU named after I.N. Ulyanov"

УДК 624.1

## ГРУНТОВЫЕ АНКЕРЫ И СВАИ ЭРТ КАК СТРОИТЕЛЬНЫЕ ЗАГЛУБЛЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ

*Н.С. Соколов*

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Россия

ООО «Научно-производственная фирма «ФОРСТ»

г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** процесс урбанизации в современных условиях требует освоения территорий, ранее не использовавшихся под строительство. Но при этом от строителей требуется минимальное вмешательство в сформировавшийся ландшафт и экосистему. Наиболее эффективным при строительстве зданий в сложных условиях на склонах будет устройство свайно-анкерных систем при использовании инновационной технологии, решающей инженерную задачу стабилизации и укрепления грунтов. В статье рассмотрен пример из геотехнической практики проектирования и строительства в нестандартных условиях.

**Ключевые слова:** экология при капитальном строительстве, сохранение ландшафта, устойчивость склона, стабилизация геоморфологических процессов, стесненные условия, буроинъекционная свая по электро-разрядной технологии (свая ЭРТ).

## GROUND ANCHORS AND PILES ERT AS BUILDING CONSTRUCTION STRUCTURES FOR ENSURING SLOPE STABILITY

**Abstract:** *the process of urbanization in modern conditions requires the development of territories that were not previously used for construction. But at the same time, builders are required to have minimal intervention in the established landscape and ecosystem. The most effective way to construct buildings in difficult conditions on slopes will be the installation of pile-anchor systems using innovative technology that solves the engineering problem of stabilizing and strengthening soils. The article discusses an example from the geotechnical practice of design and construction in non-standard conditions.*

**Keywords:** *ecology during capital construction, landscape preservation, slope stability, stabilization of geomorphological processes, cramped conditions, drilled injection pile using electric discharge technology (EDT pile).*

### Введение

Под воздействием геоморфологических процессов на поверхности земли сформировались уникальные ландшафты, закрепленные растительностью и сложившейся геологией.

Ландшафт – это генетически однородный территориальный комплекс с характерными только ему условиями. В нынешнем веке приветствуется и поддерживается экологичность в архитектуре. Все чаще здания и сооружения вписывают в ландшафт с его минимальными изменениями, сохраняя уникальность и узнаваемость мест. Такой подход не нарушает гармонии, сохраняет экобаланс и устойчивость экосистемы местности.

### Материал и методы исследований

Увеличение и расширение городов требует освоения новых территорий, прилегающих, но не использовавшихся ранее по причине сложных условий для строительства. К ним относятся склоны рек, оврагов и другие места с достаточной вероятностью возникновения оползневых процессов под действием дополнительной нагрузки от возведенных зданий, а также территории со сложными инженерно-геологическими условиями, в которых водоносные инженерно-геологические элементы играют немаловажную роль для обеспечения в дальнейшем их устойчивости.

На стадии проектирования необходимо тщательно изучить геологию, правильно произвести расчеты и верно выбрать методы для стабилизации будущего основания под возводимым на склоне зданием. В геотехническом строительстве важно рационально, но при этом с достаточным запасом применить противооползневые мероприятия и тем самым решить задачи, предъявляемые современностью, поддерживая тренд на экологичность, не переделывая природу под себя, а быть с ней в единении, сохраняя уникальность



ландшафта местности, но при этом обеспечивая надежность и долговечность сооружения (рис. 1).



Рис. 1. Пример строительства жилого здания на косогоре. Анкерное крепление деформированного откоса на оползневом склоне на абсолютной отм. 94.60: 1 – грунтовый анкер ЭРТ; 2 – анкерный обвязочный пояс; 3 – уголково-монолитные железобетонные подпорные стены

Появляется ниоткуда. Если рис. 1 (и последующие рисунки) – это и есть рассматриваемый пример (одно и то же здание), то где-то выше надо сказать, что это за объект, что он расположен в Н. Новгороде. Хорошо бы привести фото самого здания, тем более что в конце упоминается 2-летнее наблюдение за ним. Если рисунки относятся к разным объектам, то это как-то надо пояснить.

Город Нижний Новгород расположен на прилегающих берегах реки Волги с характерным для речных долин рельефом, с достаточно большим перепадом высот и сложной гидрологией. Кроме того, в местах строительства новых зданий уже существуют различного рода подземные коммуникации, что значительно усложняет решение инженерных задач по закреплению рельефа и повышает насущную необходимость в стабилизации склонов от вероятности возникновения оползневых эффектов.

В строительстве достаточно широко распространены способы закрепления грунтов различными методами (смолизация, силикализация, цементация и пр.). Однако использование таких технологий приводит к вмешательству в экологию и создает препятствие для фильтрации подземных вод – как сезонной, так и в результате избыточного увлажнения от атмосферных осадков. Особенно это актуально для построенных объектов на берегах рек, где в течение многих лет сложилась система водовмещающих слоев, и необдуманное вмешательство может привести к необратимым последствиям.

Ранее для решения такого рода задач без перекрытия водоносных слоев использовали в качестве грунтовых анкеров изготовленные на полигонах желе-



зобетонные сваи, погружаемые в грунт сваебойными установками вертикально, или буровые сваи, усиленные армированными каркасами, устроенные непосредственно в грунте. Недостатком такого способа является гладкая поверхность бетонной сваи, не обеспечивающая достаточную несущую способность за счет боковой поверхности. В инженерно-геологических разрезах, на склонах рек и оврагов слои чаще всего представлены слабыми и рыхлыми осадочными породами с недостаточной несущей способностью, плотностью и значительной деформативностью инженерно-геологических слоев.

Исключить эти недостатки и повысить эффективность при оптимальных затратах можно, используя инновационную запатентованную технологию устройства буруинъекционных анкеров и свай, изготовленных по электроразрядным технологиям (ЭРТ). Кроме того, технология ЭРТ позволяет устроить грунтовые анкеры под углом к поверхности, что, в свою очередь, создает условия для более надежного крепления грунтов в сложных инженерно-геологических условиях при возникновении оползней, поскольку обеспечивается возможность дойти до слоев с достаточной несущей способностью и плотностью под необходимым углом. Эффект достигается за счет формирования неровной поверхности на этапах 3–5 (см. ниже рис. 2), и чем слабее грунт, через который проходит тело сваи, тем больше уширение ее диаметра в этом месте, и, следовательно, повышается площадь контактной поверхности и уплотнение, а также происходит упрочнение грунта в месте контакта с телом сваи. Результат – грунтовый анкер-ЭРТ держит надежнее в 1,5–2,0 раза, чем обычная свая аналогичной длины.

### Результаты и проблематика

В качестве конструктивных элементов обеспечения устойчивости склона при строительстве общественного здания в г. Нижнем Новгороде приняты буруинъекционные сваи (сваи-ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)) и грунтовые анкеры (анкеры-ЭРТ) [1–18], изготавливаемые по электроразрядным технологиям (ЭРТ).

Технологическая последовательность устройства свай-ЭРТ и анкеров-ЭРТ (рис. 2) представляет собой несколько этапов:

- 1 этап – бурение скважины;
- 2 – заполнение скважины мелкозернистым бетоном;
- 3 – электрогидравлическая обработка ствола скважины;
- 4, 5 – определение абсолютных отметок возможных уширений вдоль длины скважины по результатам электрогидравлической обработки;
- 6 – армирование буровой скважины, заполненной мелкозернистым бетоном, электрогидравлической обработкой, пространственными армокаркасами.

Особо следует обратить внимание на этап 4. Электрогидравлической обработкой, заполненной мелкозернистым бетоном, вдоль ствола сваи с помощью излучателя прощупываются слабые слои грунта (этап 3). Абсолютные отметки со слабыми слоями заносятся в журналы производства работ. Следует помнить, что слабыми слоями (конкретно для технологии ЭРТ) считаются отметки с повышенными значениями уходов (опусканий) мелкозерни-

стого бетона, наблюдаемых визуально или инструментально с помощью геодезических приборов. Как правило, уширения создаются именно на отметках с повышенными значениями уходов бетона. Электрогидравлическая обработка на этих отметках производится до величин нулевых значений уходов (этап 5). Размеры уширений (объем,  $\text{м}^3$  и радиус, м) можно определить по формуле 4 [11–12]. Окончательным этапом (этап 6) является армирование буроинъекционной сваи-ЭРТ пространственными армокаркасами.

В геоморфологическом отношении участок строительства находится на правом высоком коренном берегу р. Волги (рис. 3). Поверхность площадки неровная. Общий уклон поверхности на север. Отметки поверхности изменяются от 140 до 148 м. Высота склона на участке изысканий составляет 79–80 м. Подъезды к выработкам сильно затруднены. Площадку пересекают подземные коммуникации (ливневая канализация, дренажные сооружения).

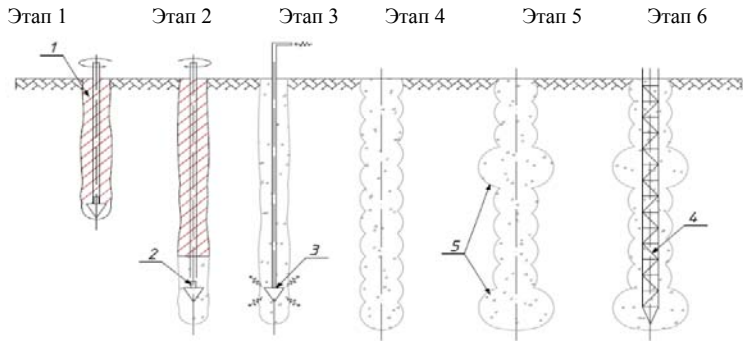


Рис. 2. Технологическая схема устройства свай-ЭРТ. Условные обозначения: 1 – проходной шнек; 2 – клапан шнека; 3 – электрический излучатель; 4 – пространственный армокаркас; 5 – уширения (подпятники)

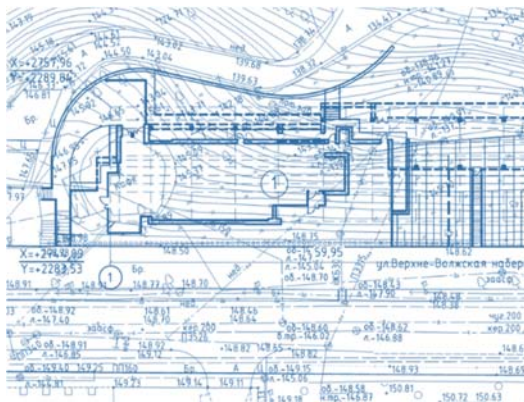


Рис. 3. Ситуационный план строительства объекта

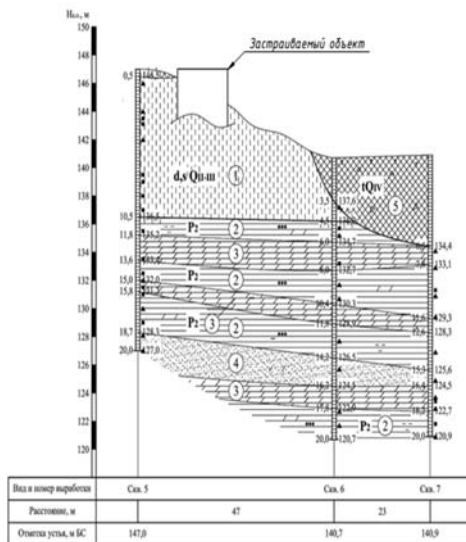


Рис. 4. Инженерно-геологический разрезпо линии I-I

Геологическое строение площадки до глубины 20,0–60,0 м (рис. 4) представлено среднечетвертичными делювиальными и солифлюкционными образованиями – суглинками лессовыми и отложениями средней перми – глинами с прослоями мергелей и алевроитов, алевроитами и песками полимиктовыми пылеватыми и мелкими. Сверху отложения перекрыты современными образованиями – насыпными грунтами, представленными песками мелкими кварцевыми, суглинками, с включением обломков красного кирпича, щебня и строительного мусора до 10–30%. В скважинах № 6 и 7 насыпные грунты представлены щебнем и дресвой с включением органических веществ.

**Гидрогеологические условия** до глубины 60 м (отметка 88,0 м) характеризуются наличием водоносного горизонта, относящегося к среднепермским отложениям. В период проведения изысканий (июнь 2012 года) водоносный горизонт вскрыт скважиной №3 на глубине 29,0 м, на отметке 101,6 м. Установившийся уровень зафиксирован на глубине 28 м, на отметке 102,6 м. Горизонт слабонапорный, величина напора составляет 1,0 м. Водовмещающие породы представлены песками полимиктовыми, а также трещиноватыми мергелями и глинами. Водоупор – плотные разности среднепермских отложений. Источником питания горизонта являются атмосферные осадки в местах выхода пород на поверхность.

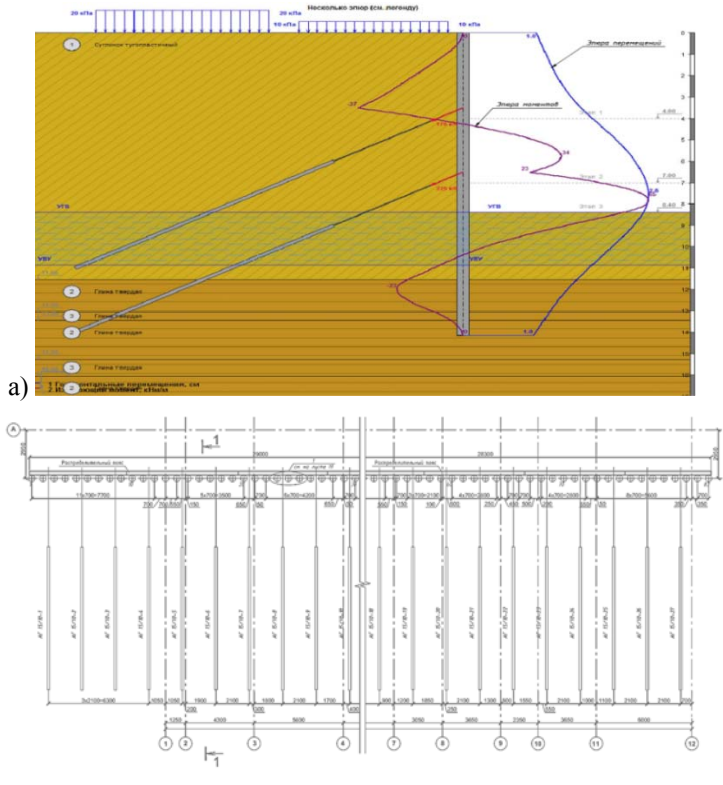


Рис. 5. Эпюры перемещений и изгибающих моментов:  
 а) схема расположения грунтовых анкеров-ЭРТ 1-го яруса;  
 б) схема расположения грунтовых анкеров-ЭРТ 2-го яруса

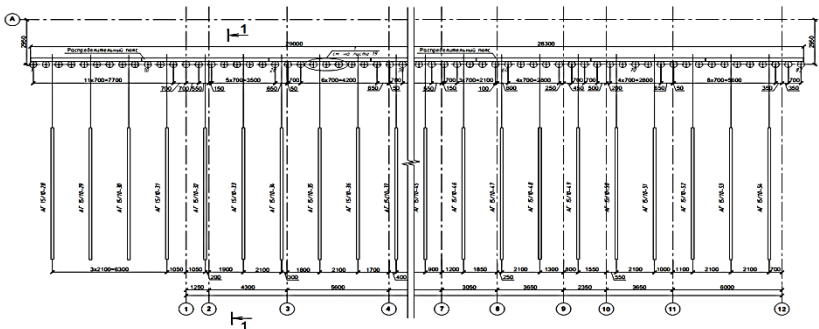


Рис. 6. План шпунтовой стены с грунтовыми анкерами



На сегодняшний день существует достаточно широкий спектр различных технологий для закрепления грунтов, однако каждая из них имеет ряд недостатков и особенностей. В процессе решения инженерной задачи для конкретного объекта требуется глубокая и всесторонняя оценка геологических и гидрологических условий на месте строительства, а также проведение моделирования и расчетов с использованием специализированного программного обеспечения. Такой комплексный подход при назначении конструкций грунтовых анкеров и шпунтовых стенок позволил избежать вероятных ошибок и зафиксировать (стабилизировать) нижележащие слои под построенным в дальнейшем зданием, что подтверждается двумя годами наблюдений за ним. При этом капитальные затраты на геотехнические работы по применению запатентованного метода устройства грунтовых анкеров-ЭРТ и свай-ЭРТ были значительно меньше, чем если бы использовались традиционные геотехнические технологии.

### Заключение

Применение ЭРТ технологий для закрепления склонов и, тем самым, стабилизации ландшафта решает насущную задачу по безопасному использованию ранее неудобных для строительства участков земли в процессе расширения и развития городов, оставляя и не изменяя при этом узнаваемость местности, что является основным трендом в архитектуре и строительстве на сегодняшний день.

### Список литературы

1. Мангушев Р.А. Проектирование и устройство подземных сооружений в открытых котлованах / Р.А. Мангушев, Н.С. Никифорова, В.В. Конюшков [и др.]. – М.: АСВ, 2013. – 256 с.
2. Мангушев Р.А. Численное моделирование технологической осадки соседних зданий при устройстве траншейной «стены в грунте» / Р.А. Мангушев, А.А. Веселов, В.В. Конюшков [и др.] // II Вестник гражданских инженеров. – 2012. – №5 (34). – С. 87–98.
3. Маковецкий О.А. Обеспечение геотехнической безопасности строящегося здания / О.А. Маковецкий, С.С. Зуев, И.И. Хусаинов [и др.] // Жилищное строительство. – 2014. – №9. – С. 34–38.
4. Ilichev V.A. Deformations of the Retaining Structures Upon Deep Excavations in Moscow / V.A. Ilyichev, P.A. Kononov, N.S. Nikiforova, L.A. Bulgakov // Proc. Of Fifth Int. Conf on Case Histories in Geotechnical Engineering, April 3–17. New York, 2004. P. 5–24.
5. Ilyichev V.A. Computing the evaluation of deformations of the buildings located near deep foundation trenches / V.A. Ilyichev, N.S. Nikiforova, E.B. Koreneva // Proc. of the XVIth European conf. on soil mechanics and geotechnical engineering. Madrid, Spain, 24–27th September 2007 «Geo-technical Engineering in urban Environments»... Volume 2. P. 581–585.
6. Nikiforova N.S. Geotechnical cut-off diaphragms for built-up area protection in urban underground development / N.S. Nikiforova, D.A. Vnukov // The pros. of the 7th Int. Symp. «Geotechnical aspects of underground construction in soft ground», 16–18 May, 2011, tc28 IS Roma, AGI, 2011, № 157NIK.
7. Nikiforova N.S. The use of cut off of different types as a protection measure for existing buildings at the nearby underground pipelines installation / N.S. Nikiforova, D.A. Vnukov // Proc. of Int. Geotech. Conf. dedicated to the Year of Russia in Kazakhstan. Almaty, Kazakhstan, 23–25 September 2004. P. 338–342.

8. Petrukhin V.P. Effect of geotechnical work on settlement of surrounding buildings at underground construction / V.P. Petrukhin, O.A. Shuljatjev, O.A. Mozgacheva // Proceedings of the 13th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Prague, 2003.

9. Triantafyllidis Th. Impact of diaphragm wall construction on the stress state in soft ground and serviceability of adjacent foundations. / Th. Triantafyllidis, R. Schafer // Proceedings of the 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Madrid, Spain, 22–27 September. 2007. Vol. 2. P. 683–688.

10. Пономарев А.Б. Геотехнический мониторинг жилого дома / А.Б. Пономарев // Жилищное строительство. – 2015. – №9. – С. 41–46.

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

12. Соколов Н.С. Использование буроинъекционных свай ЭРТ в качестве оснований фундаментов повышенной несущей способности / Н.С. Соколов, С.Н. Соколов, А.Н. Соколов [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – №9. – С. 66–70.

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

14. Соколов Н.С. Проблемы расчета буроинъекционных свай, изготовленных с использованием разрядно-импульсной технологии / Н.С. Соколов, М.В. Петров, В.А. Иванов // Новое в архитектуре, проектировании и строительных конструкциях и реконструкции: Материалы VIII Всероссийской (13 Международной) конференции. – 2014. – С. 415–420.

15. Соколов Н.С., Джантимиров Х.А., Кузьмин М.В., Соколов С.Н. Соколов А.Н. Устройство для камуфлетного уширения набивной конструкции в грунте. Патент на полезную модель RU 161650 U1, 27.04.2016. Заявка 2015126316/03 от 01.07.2015.

16. Соколов Н.С. Один из случаев усиления основания деформированной противоподающей подпорной стены / Н.С. Соколов // Жилищное строительство. – 2021. – №12. – С. 23–27.

17. Пичугин Ю.П., Соколов Н.С. Генератор импульсных токов. Патент на изобретение RU2282936 C1, 27.08.2006. Заявка №2005102864/09 от 04.02.2005.

18. Sokolov N. Foundation with increased load bearing base capacity / N. Sokolov, B. Mikhailov, S. Viktorova // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021) : 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, 21–28 апреля 2021 года. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 3015.

Соколов Николай Сергеевич – зав. кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства» ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», директор ООО НПФ «ФОРСТ», канд. техн. наук, доцент, член РОМГТИФ и ISSMGE, г.Чебоксары, e-mail: ns\_sokolov@mail.ru

Sokolov N.S., Head of the Department of "Construction technologies, geotechnics and construction economics" in Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "I.N. Ulianov Chuvash State University", Director of ООО NPF "FORST", Candidate of Sciences (Engineering), Docent, member of RSSMGE, Cheboksary, e-mail: ns\_sokolov@mail.ru

УДК 624.1

## ПРЕИМУЩЕСТВА ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ (ЭРТ) УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ

**Н.С. Соколов**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Россия

ООО «Научно-производственная фирма «ФОРСТ»

г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** проблема повышения несущей способности основания всегда является актуальной проблемой в современном геотехническом строительстве. При существенных внешних нагрузках, передаваемых на основание использование традиционных технологий не всегда оправданно, в этих случаях необходимо применить нестандартные способы усиления оснований. Во многих случаях геотехническая ситуация усугубляется наличием в инженерно-геологических разрезах слабых подстилающих слоев с неустойчивыми физико-механическими характеристиками. При усилении таких оснований с помощью традиционных свай последние могут получить негативное трение, существенно уменьшающее их несущую способность по грунту, достигающие иногда до нулевых значений. Это может привести к дополнительным осадкам возводимого и возведенных в зоне геотехнического влияния объектов. Использование свай ЭРТ в большинстве случаев успешно решает многие сложные геотехнические проблемы.

**Ключевые слова:** геотехническое строительство, грунтобетонная свая, электроразрядная технология ЭРТ, буроинъекционная свая ЭРТ, грунтовые анкеры ЭРТ, промежуточные уширения (подпятники), «уходы».

## ADVANTAGES OF ELECTRIC DISCHARGE TECHNOLOGY (EDT) FOR BASE STRENGTHENING

**Abstract:** the problem of increasing the bearing capacity of the foundation is always an urgent problem in modern geotechnical construction. When significant external loads are transferred to the foundation, the use of traditional technologies is not always justified; in these cases, it is necessary to use non-standard methods of strengthening the foundations. In many cases, the geotechnical situation is aggravated by the presence in engineering geological sections of weak underlying layers with unstable physical and mechanical characteristics. When strengthening such foundations with the help of traditional piles, the latter can receive negative friction, which significantly reduces their bearing capacity on the ground, sometimes reaching zero values. This can lead to additional precipitation of objects being built and constructed in the zone of geotechnical influence. The use of EDT piles in most cases successfully solves many complex geotechnical problems.



**Keywords:** *geotechnical construction, soil concrete pile, electric discharge technology EDT, drilled injection pile EDT, soil anchors EDT, intermediate widening (thrust bearings), “removals”.*

### Введение

При существенных внешних нагрузках, передаваемых на основание использование традиционных технологий не всегда оправданно. Часто возникает настоятельная необходимость применения нестандартных способов усиления оснований. Рассматриваемая электроразрядная технология, обладающая рядом технических и технологических преимуществ [1–29] широко используется в геотехнической практике устройства буронъекционных свай ЭРТ в свайных полях, свай усиления оснований и фундаментов, закрепления оснований фундаментов, склонов, при устройстве нагелей и т. д.

### Материал и методы исследований

Технологическим преимуществом электроразрядной технологии является взрывообразное преобразование электрической энергии в механическую при достижении ударной волны с шириной переднего фронта порядка  $10^{-9}$  м со скоростью подъема давления до  $10^{18}$  Па/с.

Электрогидравлический удар на грунт стенок буровой скважины, заполненной мелкозернистым бетоном, намного превышает статическую нагрузку на него. В результате воздействия таких высоких давлений и температур в грунте зарождается полость и за счет сил гравитации мгновенно заполняется мелкозернистым бетоном. Тем самым возникает уширение на конкретном участке по высоте сваи ЭРТ. Это уширение далее назовем «подпятником» [13–30]. Таким образом, возникшая дополнительная опора начинает статически работать совместно со свай по нижней поверхности уширения, увеличивая ее несущую способность по грунту. Геометрические параметры формы уширения в первом приближении можно принять за сферу. Параметры сферы такие, например, как диаметр  $d$  и ее высота  $h$  зависят от энергии электрогидравлического удара, пористости, влажности и вида обрабатываемого грунта. Диаметр уширения  $d$  возможно определить по величине максимального понижения уровня мелкозернистого бетона в скважине, как говорят геотехники по «уходам». Следует, конечно, отметить, что величины «уходов» во время электрогидравлической обработки (именно поэтому при устройстве свай ЭРТ уровень мелкозернистого бетона всегда следует держать на отметке поверхности земли) и с течением времени существенно разнятся. «Уходы» во времени от начала бетонирования до начала твердения бетона могут составить от нескольких сантиметров до нескольких метров. Прежде всего такие большие понижения связаны со спецификой грунта как пористого материала. Эти вертикальные перемещения мелкозернистого бетона дополнительно увеличиваются за счет электроосмотического всасывания цементного молока в структуру грунта.

### Результаты и проблематика

Следует предположить, что при максимальных объемах всасывания цементного молока в поры грунта, несущая способность свай ЭРТ повысилась

бы многократно благодаря задействию прочностных характеристик массива грунта, таких как удельное сцепление и угол внутреннего трения, в совместную работу со сваяй. Но этому процессу препятствует, то обстоятельство, что при замешивании мелкозернистого бетона и электрогидравлической обработке происходит его намагничивание, что способствует образованию цементных коллоидов. В то же время их размеры многократно превосходят размеры пор грунта. К сожалению, пока нет технологии, воспрепятствующей комкованию цементного молока. Это возможно на мой субъективный взгляд только при размагничивании биполей воды в бетоне.

Необходимо обратить внимание еще на один аспект, связанный с возможным увеличением несущей способности оснований, усиленных буровыми сваями. В среде проектировщиков устоялась мнение том, что чем больше диаметр буровой сваи, тем больше ее несущая способность по грунту. Да это так. Но критерием оценки несущей способности  $\bar{F}_d$  по грунту на наш взгляд должны служить не диаметр и длина сваи, а «удельная несущая способность по грунту», т. е. несущая способность одного кубического метра буровой сваи, а также «удельная расчетная нагрузка», т. е. расчетная нагрузка одного кубического метра буровой сваи. При таком подходе, анализируя результаты расчетов несущей способности для свай ЭРТ и буронабивных свай разных диаметров можно, сделать вывод о том, что с увеличением диаметра буровых свай удельная несущая способность снижается, приближаясь к некоторой асимптоте. В то же время наиболее оптимальным по удельным характеристикам являются «микросваи», т. е. буроинъекционные сваи ЭРТ диаметром до 300 мм, изготавливаемые по электроэрозийным технологиям. На рис. 1 графики 1–4 наглядно демонстрируют это.

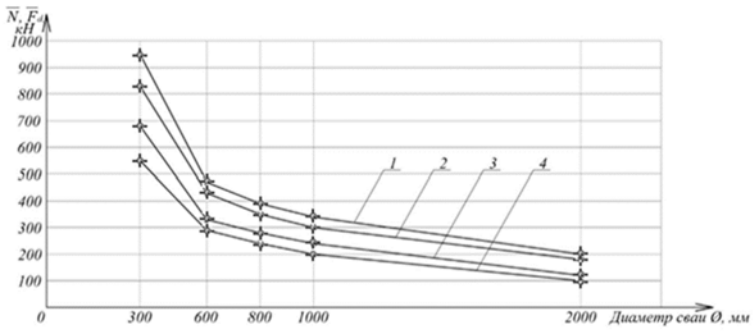


Рис. 1. Графики зависимости  $f(\bar{N})$  и  $f(\bar{F}_d)$ , где  $\bar{F}_d$  — удельная несущая способность (кН),  $\bar{N}$  — удельная расчетная нагрузка (кН),  
1 и 2 — графики  $f(\bar{F}_d)$ ; 3 и 4 — графики  $f(\bar{N})$ .

Примечания: 300-диаметр сваи ЭРТ; 600,0; 800,0; 1000,0; 2000,0 диаметры буронабивных свай (мм)

Необходимо обратить внимание на широкий диапазон использования электроразрядной технологии усиления оснований с использованием «микросвай». Область использования ЭРТ технологии существенно расширяется, комбинируя ее с технологией устройства грунтоцементных свай, т. е. GET технологией. Ниже в таблице 1 приведены апробированные геотехнические технологии с использованием этих двух.

Таблица 1

| № | Апробированные геотехнические технологии с использованием буро-инъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ), грунтовых анкеров ЭРТ и грунтоцементных свай GET  |
|---|--|
| 1 | 2  |
| 1 | Электроразрядная геотехническая технология усиления основания фундаментов с использованием буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)  |
| 2 | Электроразрядная геотехническая технология устройства буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) в свайных полях.  |
| 3 | Электроразрядная технология устройства буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) как шпунтовая стенка ограждений котлованов   |
| 4 | Комплексная электро-разрядная технология устройства свай повышенной несущей способности с использованием грунтобетонных свай GET   |
| 5 | Геотехническая технология устройства комбинированной грунтобетонной сваи повышенной несущей способности с использованием электроразрядной ЭРТ и GET технологий   |
| 6 | Геотехническая технология устройства ограждения склонов и берегов водоемов и рек из комбинированной грунтобетонной сваи с использованием электроразрядной и GET технологий и монолитной железобетонной подпорной стены как заглубленная железобетонная конструкция |
| 7 | Устройство буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) как грунтовые железобетонные нагеля укрепления оползневого склона  |
| 8 | Устройство буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) как свайное основание под монолитной железобетонной уголкового подпорной стеной  |
| 9 | Устройство грунтовых анкеров ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ), устраиваемые по электроразрядной технологии как заглубленные железобетонные конструкции совместно со шпунтовой стенкой  |

Окончание таблицы 1

| 1  | 2  |
|----|--|
| 10 | Комбинированные грунтовые анкера, устраиваемые по электро-разрядной и GET технологиям как заглубленные железобетонные конструкции для обеспечения устойчивости стенок котлованов и оползневых склонов                                |
| 11 | Геотехническая техно-логия усиления оползневого склона с использованием буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) и монолитной железобетонной уголкового подпорной стены (как вариант, монолитный железобетонный обвязочный пояс) |
| 12 | Геотехническая технология устройства ограждения котлована при наличии в основании ИГЭ повышенной прочности с использованием буроинъекционных свай ЭРТ(РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ)  |
| 13 | Геотехническая технология усиления основания фундаментов с использованием буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ)   |

Таблица 2

| № | Область применения. Краткое описание геотехнической технологии   |
|---|--|
| 1 | 2  |
| 1 | Геотехническая технология с использованием буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) актуальна для усиления оснований фундаментов аварийных, реконструируемых зданий и сооружений. Она востребована в стесненных и особо стесненных условиях, а также в перемеживающихся слабых подстилающих слоев (см. ниже на рис. 2)   |
| 2 | Геотехническая технология наиболее эффективна для применения в стесненных условиях и под большие внешние нагрузки, а также как усиленное свайное основание высотных зданий и сооружений (см. ниже на рис. 3)   |
| 3 | Геотехническая технология устройства буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) как конструктив является консольной шпунтовой стенкой. Она в основном служит для обеспечения устойчивости стенок грунта неглубоких котлованов. В зависимости от количества рядов из свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) стенка может обеспечить устойчивость стенок грунта котлованов разных глубин (см. ниже на рис. 4)                           |
| 4 | Комплексная геотехническая технология устройства свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) с использованием грунтобетонных свай GET позволяет получить заглубленную железобетонную конструкцию повышенной несущей способности (см. ниже на рис. 5)   |
| 5 | Геотехническая технология востребована для устройства буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) повышенной несущей способности в случае наличия в основании слабых перемеживающихся грунтов. Предполагает использование технологии GET для устройства уширений (подпятников) на глубинах наличия слабых ИГЭ вдоль их толщин. Конструкция является вариантом грунтобетонной железобетонной сваи (ГБС) (см. ниже на рис. 6) |

Окончание таблицы 2

| 1  | 2  |
|----|--|
| 6  | Геотехническая технология из комбинированной грунтобетонной сваи с использованием электро-разрядной и GET технологий и монолитной железобетонной подпорной стены как противofильтрационная завеса и упор массива грунта (см. ниже на рис. 7)   |
| 7  | Геотехническая технология служит для укрепления оползневого и нагруженного склона с помощью свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ), закрепляющих поверхность призмы обрушения. Часто используется совместно с монолитной железобетонной уголковой подпорной стеной с усиленным сваями ЭРТ основанием (см. ниже на рис. 8)   |
| 8  | Геотехническая технология наиболее востребована как упор массива грунта от оползневого и нагруженного склона. Эта конструкция работает как консольная железобетонная конструкция. Для ее оптимизации в конструктивную схему возможно включение грунтовых анкеров ЭРТ в один или несколько рядов (см. ниже на рис. 9)   |
| 9  | Геотехническая технология с использованием грунтовых анкеров ЭРТ в составе шпунтовой стенки из свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) наиболее экономична по сравнению с консольными подпорными стенами. Она оптимально подходит для обеспечения устойчивости грунта стенок котлованов(см. ниже на рис. 10)   |
| 10 | Геотехническая технология с использованием грунтовых анкеров ЭРТ в составе шпунтовой стенки наиболее экономична по сравнению с консольными подпорными стенами. Она оптимально подходит для обеспечения устойчивости грунта стенок котлованов, а также оползневых и нагруженных склонов (см. ниже на рис. 11)   |
| 11 | Геотехническая технология востребована для устройства буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ)укрепления основания оползневого склона с возведением монолитной железобетонной подпорной стены. Сваи ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) могут размещаться в несколько рядов(см. ниже на рис. 12)  |
| 12 | Геотехническая технология с использованием буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) в случае наличия в основании инженерно-геологических элементов с высокими прочностными характеристиками (аргиллит, алевролит), заземляющих их, в качестве ограждения котлованов в один или несколько рядов. По верху свай ЭРТ устраивается монолитный железобетонный обвязочный пояс (см. ниже на рис. 13) |
| 13 | Геотехническая технология усиления основания фундаментов с использованием буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) широко применима для реконструируемых объектов и в случае наличия в основании слабых инженерно-геологических элементов (см. ниже рис. 14)   |

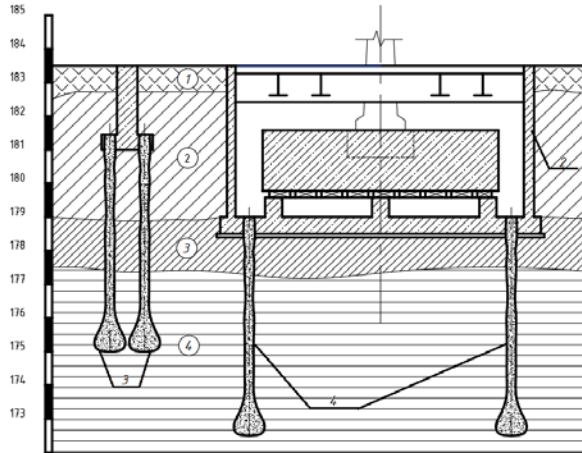


Рис. 2. Схема усиления основания: 1 – фундамент каркаса здания; 2 – фундамент кузнечного молота; 3 – буринъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) усиления оснований фундаментов каркаса; 4 – буринъекционные сваи ЭРТ усиления оснований фундаментов молота



Рис. 3. Свайное поле из буринъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ): 1 – бетонная подготовка; 2 – выпуски армокаркаса свай ЭРТ

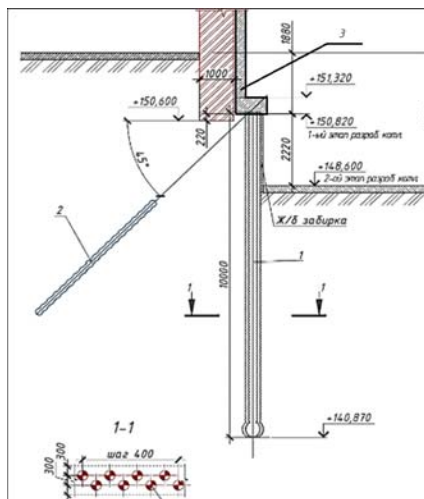


Рис. 4. Шпунтовая стена ограждения котлована из буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) и грунтовых анкеров ЭРТ:  
1 – буроинъекционные сваи ЭРТ; 2 – грунтовые анкера ЭРТ;  
3 – уголкообразная монолитная ж/б подпорная стена

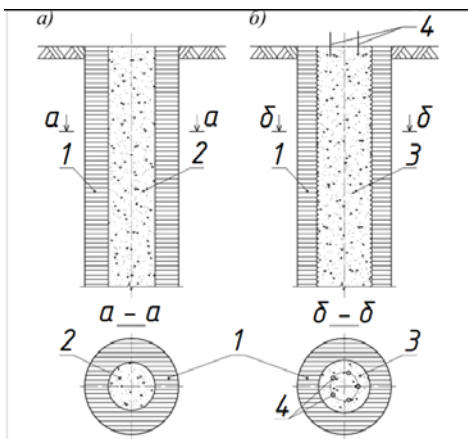


Рис. 5. Схема устройства грунтобетонной сваи (ГБС):  
1 – грунтоцементный массив; 2 – свежеложенный мелкозернистый бетон; 3 – электрогидравлически обработанный и армированный мелкозернистый бетон; 4 – выпуски пространственного армокаркаса

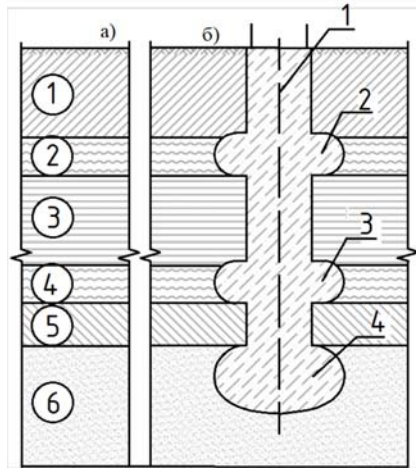


Рис. 6. Врезка в инженерно-геологический разрез буровой грунтобетонной сваи ГБС с многоместными уширениями:

- (1)–(6) – инженерно-геологические элементы (ИГЭ);  
 (2),(4) – слабые ИГЭ; 1 – железобетонный ствол сваи;  
 2–4 – промежуточные уширения (подпятники)

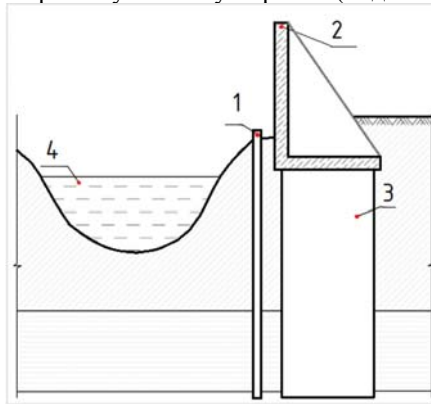


Рис. 7. Схема укрепления берегов разливающихся рек:  
 1 – сплошной шпунт, 2 – угловая подпорная стена,  
 3 – свайное основание из грунтобетонных свай (ГБС)  
 как противofильтрационная завеса, 4 – русло реки



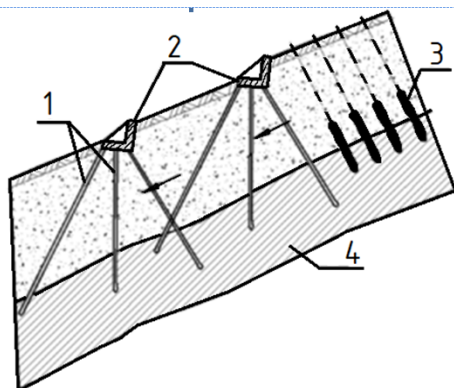


Рис. 8. Противооползневая защита склонов из буройнъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) и нагелей (шпунков): 1 – сваи в составе подпорной сетчатой стены; 2 – уголкового сетчатая подпорная стена; 3 – нагели(шпунки) в плоскости сдвига; 4 – плоскость сдвига

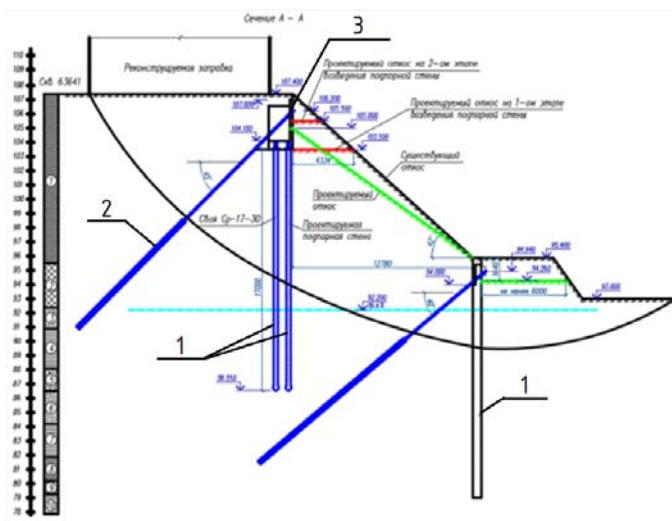


Рис. 9. Сечение прислоненного откоса с противооползневыми заглубленными ЖБК: 1 – буройнъекционная свая ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ); 2 – грунтовые анкера; 3 – уголкового монолитная ж/б подпорная стена



Рис. 10. Схема устройства ограждения котлована:  
 1 – буроналивные сваи ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ);  
 2 – монолитный ж/б обвязочный пояс;  
 3 – анкерный пояс; 4 – грунтовые анкера ЭРТ

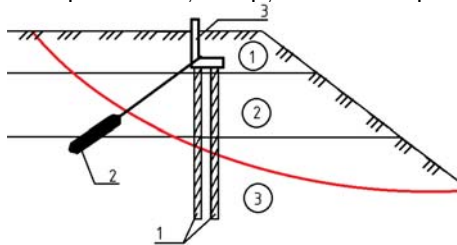


Рис. 11. Схема усиления оползневого склона с помощью свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) и грунтобетона: 1 – сваи ЭРТ; 2 – грунтобетонный анкер; 3 – уголкообразная монолитная ж/б подпорная стена; (1)–(3) – инженерно-геологические элементы



Рис. 12. Схема устройства усиления оползневого склона:  
 1 – буроналивные сваи ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) в три ряда;  
 2 – выпуски арматурного каркаса свай



Рис. 13. Схема устройства ограждения котлована:  
1 – буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ);  
2 – монолитный железобетонный обвязочный пояс

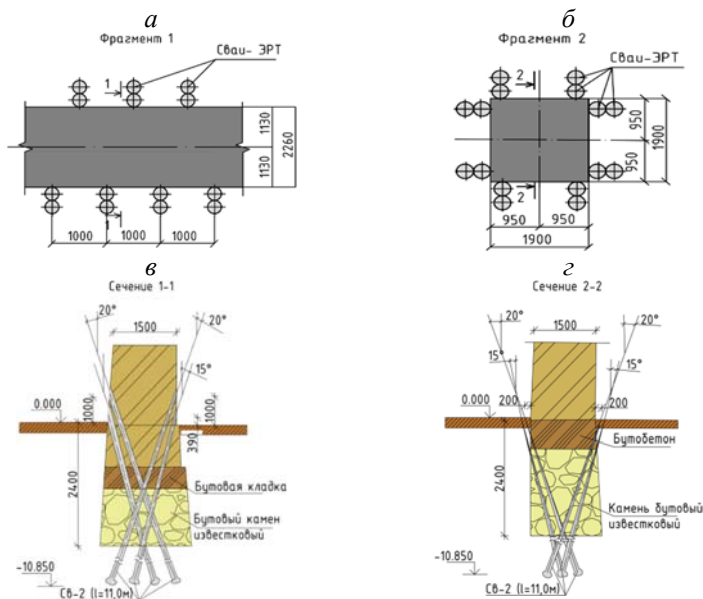


Рис. 14. Схема расположения буроинъекционных свай при усилении основания и фундаментов усиления ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ):  
а, б, в, г – фрагменты 1 и 2 с расчетными сечениями 1-1, 2-2

### Заключение

С учетом вышесказанного результаты длительных исследований использование электроразрядной геотехнической технологии устройства заглубленных железобетонных конструкций с использованием электро-

разряда и *апробации* в реальном подземном строительстве в течение длительного периода времени позволили рекомендовать ее для решения следующих строительных задач, приведенных в таблице 3 ниже.

Таблица 3

| №  | Геотехническая задача   |
|----|---|
| 1  | При усилении перегруженных оснований фундаментов, включая цементацию слабых инженерно-геологических элементов   |
| 2  | При усилении оснований фундаментов существующих зданий и сооружений в связи с планируемым повышением или изменением характера эксплуатационных нагрузок при изменении конструктивной схемы  |
| 3  | При усилении оснований фундаментов существующих зданий и сооружений в связи с планируемым повышением или изменением характера эксплуатационных нагрузок при изменении конструктивной схемы  |
| 4  | Для исправления сверхнормативных кренов зданий и сооружений или отдельных фундаментов   |
| 5  | Для противооползневой защиты склонов, берегов рек и морей   |
| 6  | Для усиления оснований железнодорожных насыпей с нестабильным балластным шлейфом  |
| 7  | Для решения сложных геотехнических задач при реконструкции зданий и фундаментов, а также в случае капитального ремонта  |
| 8  | При строительстве новых объектов в сложных инженерно-геологических условиях, а также при наличии перемеживающихся слабых грунтов оснований  |
| 9  | При устройстве подземных этажей в бесподвальных зданиях, углубления полов подвалов, влекущих за собой усиления тела существующих фундаментов, устройства протвofильтрационной завесы, а также цементации контактного слоя подошвы фундаментов с несущим слоем |
| 10 | Для устройства железобетонных шпонок (нагелей) по границе призмы обрушения при усилении оползневых склонов с целью стабилизации их деформаций   |

#### **Список литературы**

1. Cai F., Ugal K. 2000. Numerical analysis of the stability of a slope reinforced with piles. *Soils and Foundations* 40 (1). P. 73–84.
2. Hassiotis S, Chamcau J.L., Gunaratne, M. 1997. Design method for stabilisation of slopes with piles. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 123 (4). P. 314–323.
3. Lee J.H., Salgado R. 1999. Detervination of pile base resistance in sands. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 125 (8). P. 673–683.
4. Mandolini A., Russo G., Veggiani, C. 2005. Pile foundations: experimtntal investigations, analisis and design. *Ground Engineering* 38 (9). P. 34–38.

5. Ilichev V.A., Mangushev R.A., Nikiforova N.S. Opytosvoeniyapodzemnogo-prostranstvarossijskikhmegapolisov [Experience Of Development Of Russian Megacities Underground Space]. Osnovaniya, fundamentiymekhanikagruntov [Soil Mechanics and Foundation Engineering], 2012, no. 2, p. 17–20.
6. Ulickij V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Geotekhnich eskoesoprovozhdenierazvitiyagorodov [Geotechnical Support of Urban Development]. St. Petersburg, Georeconstruction Publ., 2010. 551 p.
7. Ilichev V.A. Deformations of the Retaining Structures Upon Deep Excavations in Moscow / V.A. Ilyichev, P.A. Konovalov, N.S. Nikiforova, L.A. Bulgakov // Proc. Of Fifth Int. Conf on Case Histories in Geotechnical Engineering, April 3–17. - New York, 2004. – P. 5–24.
8. Ilyichev V.A. Computing the evaluation of deformations of the buildings located near deep foundation trenches / V.A. Ilyichev, N.S. Nikiforova, E.B. Koreneva // Proc. of the XVIth European conf. on soil mechanics and geotechnical engineering. Madrid, Spain, 24–27th September 2007 «Geo-technical Engineering in urban Environments»... Volume 2. – P. 581–585.
9. Nikiforova N.S. Geotechnical cut-off diaphragms for built-up area protection in urban underground development / N.S. Nikiforova, D.A. Vnukov // The pros, of the 7th Int. Symp. "Geotechnical aspects of underground construction in soft ground", 16–18 May, 2011, tc28 IS Roma, AGI, 2011, № 157NIK.
10. Nikiforova N.S. The use of cut off of different types as a protection measure for existing buildings at the nearby underground pipelines installation / N.S. Nikiforova, D.A. Vnukov // Proc. of Int. Geotech. Conf. dedicated to the Year of Russia in Kazakhstan. Almaty, Kazakhstan, 23–25 September 2004. – P. 338–342.
11. Petrukhin V.P. Effect of geotechnical work on settlement of surrounding buildings at underground construction / V.P. Petrukhin, O.A. Shuljatjev, O.A. Mozgacheva // Proceedings of the 13th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Prague, 2003.
12. Triantafyllidis Th. Impact of diaphragm wall construction on the stress state in soft ground and serviceability of adjacent foundations. / Th. Triantafyllidis, R. Schafer // Proceedings of the 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Madrid, Spain, 22–27 September 2007. Vol. – P. 683–688.
13. Sokolov N.S. Ground Anchor Produced by Elektric Discharge Technology, as Reinforced Concrete Structure// Журнал в базе данныхScopus-"Key Enginiring Materials". 2018. – P. 76–81.
14. Sokolov N.S. Use of the Piles of Effective Type in Geotechnical Construction // Журнал в базе данных Scopus – "Key Enginiring Materials". – 2018. – P. 70–74.
15. Sokolov N.S. One of Geotechnological Technologies for Ensuring the Stability of the Boiler of the Pit // Журнал в базе данных Scopus-"Key Enginiring Materials". 2018. – P. 56–69.
16. Sokolov N.S. Regulated injection pile-electric discharge technology with multiple pile enlargements posed as an underground reinforced concrete structure with a controlled load capacity// 18 international multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2018 Albena Resort SPA Bulgaria. 2018. P. 601–608. Базаданных Web of Science.
17. Sokolov N.S. One of the geotechnical technologies to strengthen the foundation base in constraint environment in the addition of 4 floors//18 international multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2018 Albena Resort SPA Bulgaria. 2018. P. 513–522. Базаданных Web of Science.

18. Sokolov N.S., Viktorova S.S. Method of aligning the turches of objects target-sized foundations and increased loads on them // Журнал баз данных Scopus-"Key Enginiring Materials". 2018. – P. 1–11.
19. Sokolov N.S., Sokolov A.N., Sokolov S.N., Glushkov V.E., Glushkov A.E. Raschyot buroinyekcyonnikhsvaipovishennoyesusheysposobnosti [Calculation of Increased Bearing Capacity Bored Piles]. Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction], 2017, no. 11. – P. 20–26.
20. Sokolov N.S. Fundament povyshennoyesusheysposobnosti s ispolzovaniyemburoinyekcionnikhsvai ERT s mnogomestnymiushhireniyami [The Foundation of Increased Bearing Capacity Employing Bored Electric Discharge (ЭРТ) Piles with Multi-seat Broadening]. Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction], 2017, no. 09, P. 25–29.
21. Nikolay Sokolov, Sergey Ezhov, Svetlana Ezhova. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem // Journal of applied.
22. Sokolov N.S. Ground Ancher Produced by Electric Discharge Technology, as Reinforced Concrete Structure // Log in database Scopus-"Key Enginiring Materials". 2018. – P. 76–81.
23. Sokolov N.S. Use of the Piles of Effective Type in Geotechnical Construction // Журнал в базе данных Scopus-"Key Enginiring Materials". 2018. – P.70–74.
24. Sokolov N.S. One of Geotechnological Technologies for Ensuring the Stability of the Boiler of the Pit // Log in database Scopus-"Key Engineering Materials". 2018. P. 56–69.
25. Sokolov N.S. Regulated injection pile-electric discharge technology with multiple pile enlargements posed as an underground reinforced concrete structure with a controlled load capacity// 18 international multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2018 Albena Resort SPA Bulgaria. 2018. P. 601–608. Database Web of Science.
26. Sokolov N.S. One of the geotechnical technologies to strengthen the foundation base in constraint environment in the addition of 4 floors//18 international multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2018 Albena Resort SPA Bulgaria. 2018. P. 513–522. Базаданных Web of Science.
27. Sokolov N.S., Viktorova S.S. Method of aligning the turches of objects target-sized foundations and increased loads on them // Log in database Scopus-"Key Engineering Materials". 2018. P. 1–11.
28. Nikolay Sokolov. Electroimpulse Device for Manufacture of Continuous Flight Augering Piles //Current Trends in Civil and Structural Engineering. August 2020.
29. Nikolay Sokolov. Approach to Increasing the Carring Capacity of the Pile Base // Current Trends in Civil and Structural Engineering. August 2020.
30. Sokolov, N. Foundation with increased load bearing base capacity / N. Sokolov, B. Mikhailov, S. Viktorova // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021) : 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, 21–28 апреля 2021 года. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 3015.

Соколов Николай Сергеевич – зав. кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства» ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», директор ООО НПФ «ФОРСТ», канд. техн. наук, доцент, член РОМГГиФ и ISSMGE, г.Чебоксары, e-mail: ns\_sokolov@mail.ru

Sokolov N.S., Head of the Department of "Construction technologies, geotechnics and construction economics" in Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "I.N. Ulianov Chuvash State University", Director of ООО NPF "FORST", Candidate of Sciences (Engineering), Docent, member of RSSMGE, Cheboksary, e-mail: ns\_sokolov@mail.ru

УДК 624.1

## УВЕЛИЧЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЛАБОГО ОСНОВАНИЯ

*Н.С. Соколов*

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Россия

ООО «Научно-производственная фирма «ФОРСТ»

г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** в статье рассмотрен случай из геотехнической практики усиления перегруженного основания железобетонной фундаментной плиты 25 этажного жилого дома на стадии строительства. В качестве заглубленных конструкций использованы комбинированные грунтовые сваи, состоящие из грунтобетонных свай Get (1 типа) армированные вдоль продольной оси буронагнеточными сваями, изготовленными по электропорядной технологии (сваи ЭПТ). Такой способ устройства комбинированной заглубленной железобетонной конструкции обусловлен необходимостью увеличения несущей способности Get сваи по грунту в два раза и более.

**Ключевые слова:** буронагнеточная свая ЭПТ, грунтобетонная свая, Get технология, несущая способность.

## INCREASING THE LOAD-LOADING CAPACITY OF A WEAK FOUNDATION

**Annotation:** the article examines a case from the geotechnical practice of strengthening the overloaded base of a reinforced concrete foundation slab of a 25-story residential building at the construction stage. Combined soil piles were used as buried structures, consisting of Get soil concrete piles (type 1) reinforced along the longitudinal axis with drilled injection piles made using electric discharge technology (EDT piles). This method of constructing a combined buried reinforced concrete structure is due to the need to increase the load-bearing capacity of Get piles on the ground by a factor of two or more.

**Key words:** EDT drilled injection pile, soil concrete pile, Get technology, load-bearing capacity.

### Введение

Современное геотехническое строительство позволяет решать большинство проблем возникающих как во время строительства, так и в период эксплуатации объектов. Если не удастся достичь проектных значений несущей способности оснований применяя существующие геотехнические технологии, то используя несколько существующих технологий совместно воз-

можно создать заглубленную конструкцию повышенной несущей способности, что позволит объекту соответствовать заданным характеристикам.

К современному геотехническому строительству предъявляются повышенные требования [1–3, 4–14]. В большинстве случаев это оправдано. Часто не удастся достичь проектных значений несущей способности оснований применяя существующие геотехнические технологии. Используя несколько существующих технологий совместно возможно создать заглубленную конструкцию повышенной несущей способности. Современное геотехническое строительство позволяет решать большинство проблем возникающих как во время строительства, так и в период эксплуатации объектов. Ниже описан случай усиления основания железобетонного плитного фундамента многоэтажного жилого дома. Рассматриваемый объект уже во время его возведения (построено 5 этажей) начал деформироваться со скоростью до 2,0 мм за неделю.

### Материал и методы исследований

Нами было предложено усиление по технологии предложенной в [4–15] являющаяся синтезом **3-х** геотехнических технологий: **1. Get-технология** – устройство грунтоцементных свай согласно «СП 291.1325800.2017 Конструкции грунтоцементные армированные. Правила проектирования Москва. 2017»; **2. Технология SFA** – устройство буроинъекционных свай с помощью непрерывных проходных шнеков (НПШ) в теле грунтоцементного массива вдоль его оси симметрии, как правило, диаметром не боле 300 мм; **3. Разрядно-импульсная технология устройства буроинъекционных свай.** Электрогидравлический эффект возникающий при обработке мелкозернистого бетона способствует внедрению его в грунтоцементный массив. Тем самым происходит более полное сцепление этих двух конструктивных элементов [5–13].

Это обстоятельство позволяет сконструировать принципиально новую заглубленную железобетонную конструкцию – **грунтобетонную сваю**.

На рис. 1 приведена схема устройства комбинированной грунтобетонной сваи. Заглубленная железобетонная конструкция – грунтобетонная свая (ГВС) приведенная на рис. 1 б в отличии от других типов имеет сложную конструкцию поперечного сечения. Несущим элементом служит электрогидравлически обработанная и армированная свая SFA (НПШ) (поз. 3). Ее несущая способность по наружной поверхности зависит от фрикционных характеристик грунтоцементной составляющей (поз. 1) (см. рис. 2).

Кроме того свая SFA (НПШ) совместно с грунтоцементным массивом работает как железобетонная свая трения по боковой поверхности с окружающим грунтом (см. рис. 3). Инженерно-геологический разрез усиливаемого комбинированного грунтобетонными сваями основания представлен насыпными грунтами, песками от мелкого до среднезернистого, от влажного до водонасыщенного состояний, а также суглинками мягкопла-



стичной консистенции, твердых и полутвердых глин. Описание инженерно-геологических элементов (ИГЭ) и физико-механических характеристик ИГЭ приведены ниже в таблице.

Таблица нормативных и расчетных физико-механических свойств грунтов

| № ИГЭ | Наименование грунта*  | E<br>МПа | Нормативные характеристики            |          |                   | Расчетные значения характеристик<br>при $\alpha=0,85$ |          |                   | Расчетные значения характеристик<br>при $\alpha=0,95$ |          |                   |
|-------|---|----------|---------------------------------------|----------|-------------------|---|----------|-------------------|---|----------|-------------------|
|       |   |          | $\rho$<br>г/см <sup>3</sup>           | C<br>МПа | $\varphi$<br>град | $\rho$<br>г/см <sup>3</sup>                           | C<br>МПа | $\varphi$<br>град | $\rho$<br>г/см <sup>3</sup>                           | C<br>МПа | $\varphi$<br>град |
| 1     | Насыпной грунт: песок с включением 10% строительного мусора |          | Расчетное сопротивление $R_0=200$ кПа |          |                   |   |          |                   |   |          |                   |
| 2     | Песок мелкий, средней плотности                             | 25       | $\frac{1,99}{1,79}$                   | 1        | 32                | $\frac{1,97}{1,77}$                                   | 1        | 30                | $\frac{1,95}{1,75}$                                   | -        | 29                |
| 2а    | Песок мелкий, плотный                                       | 38       | $\frac{2,10}{1,90}$                   | 5        | 36                | $\frac{2,08}{1,88}$                                   | 5        | 34                | $\frac{2,06}{1,86}$                                   | 3        | 33                |
| 2б    | Песок мелкий, рыхлый  | 18       | $\frac{1,93}{1,73}$                   | -        | 28                | $\frac{1,91}{1,71}$                                   | -        | 27                | $\frac{1,89}{1,69}$                                   | -        | 26                |
| 3     | Песок средней крупности, средней плотности                  | 28       | $\frac{2,02}{1,82}$                   | 1        | 33                | $\frac{2,00}{1,80}$                                   | 1        | 32                | $\frac{1,98}{1,78}$                                   | -        | 31                |
| 3б    | Песок средней крупности, рыхлый                             | 18       | $\frac{1,95}{1,75}$                   | -        | 27                | $\frac{1,93}{1,73}$                                   | -        | 26                | $\frac{1,91}{1,71}$                                   | -        | 25                |
| 4     | Суглинок мягкопластичный                                    | 18       | 2,00                                  | 12       | 23                | 1,98  | 12       | 22                | 1,96  | 8        | 21                |
| 5     | Глина полутвердая   | 15       | 1,72                                  | 75       | 15                | 1,71  | 75       | 14                | 1,71  | 50       | 13                |

Примечание: в числителе приведены значения деформационных характеристик при природной влажности, в знаменателе – при водонасыщении

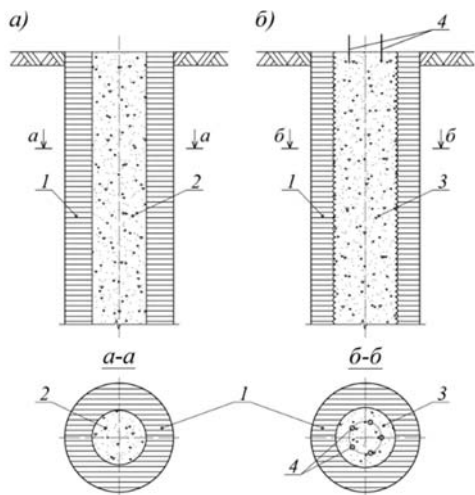


Рис. 1. Схема устройства грунтобетонной сваи (ГБС)

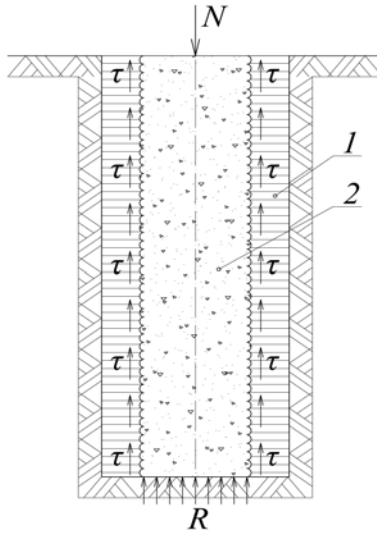


Рис. 2. Схема к определению несущей способности сваи SFA (НПШ) по грунтоцементному основанию  $F_d$ :  
1 – грунтоцементный массив, 2 – свая SFA (НПШ)

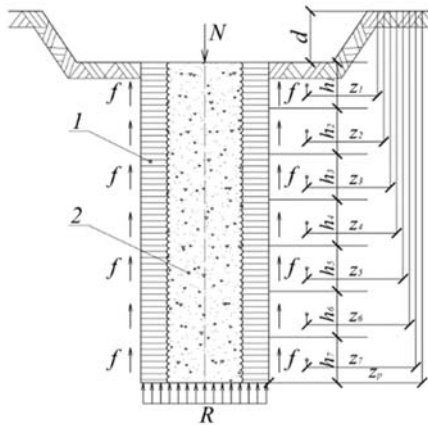


Рис. 3. Схема к определению несущей способности сваи SFA (НПШ) совместно с грунтоцементным массивом по грунту (грунтобетонные сваи (ГВС): 1 – грунтоцементный массив, 2 – свая SFA (НПШ)

### Результаты и проблематика

В результате проведенных инженерных геотехнических расчетов основания с учетом реальных инженерно-геологических условий строительной площадки выявлен дефицит несущей способности основания плитного фундамента. При этом он составляет до 50% проектных значений. Следует отметить, что высота подвала составляет 3,3 м. Исходя из этого выбор существующих геотехнических технологий для усиления рассматриваемого основания не очень велик. Если рассмотреть в качестве конструкции усиления основания технологию Get, то грунтоцементная свая способна понести по прочности поперечного сечения до 50 тс (500 кН) при диаметре  $\varnothing$  600 мм. При этом она должна воспринять до 120 тс (1200 кН) для преодоления дефицита проектной нагрузки. Использование грунтобетонной сваи (ГБС) решает возникшую проблему. Устраивая грунтобетонную сваю и армируя ее буроинъекционными сваями  $\varnothing$  250 мм изготавливаемыми по электроразрядной технологии по алгоритму (приведенному в [14]) решена проблема восстановления дефицита несущей способности грунтового основания. На рис. 4 приведены планы и разрезы грунтобетонных свай. Сваи ГБС запроектированы 14,0–19,0 метровой длины с несущей способностью по грунту от 110,0 (1100 кН) до 150,0 тс (1500 кН). При этом коэффициент запаса несущей способности усиленного основания составляет  $K = 1,4$ .

### Заключение

В рассматриваемой статье приведен неординарный случай усиления основания железобетонного плитного фундамента многоэтажного жилого дома. Рассматриваемый объект уже во время его возведения (построено 5 этажей) начал деформироваться со скоростью до 2,0 мм за неделю. Командой проектировщиков совместно с автором статьи было предложено усиление по технологии являющаяся синтезом 3-х геотехнических технологий. Разработанная технология армирования грунтоцементных свай с помощью буроинъекционных свай изготавливаемых по электроразрядной технологии (ЭРТ) позволила решать задачи усиления перегруженных оснований, а также устройства свай повышенной несущей способности.

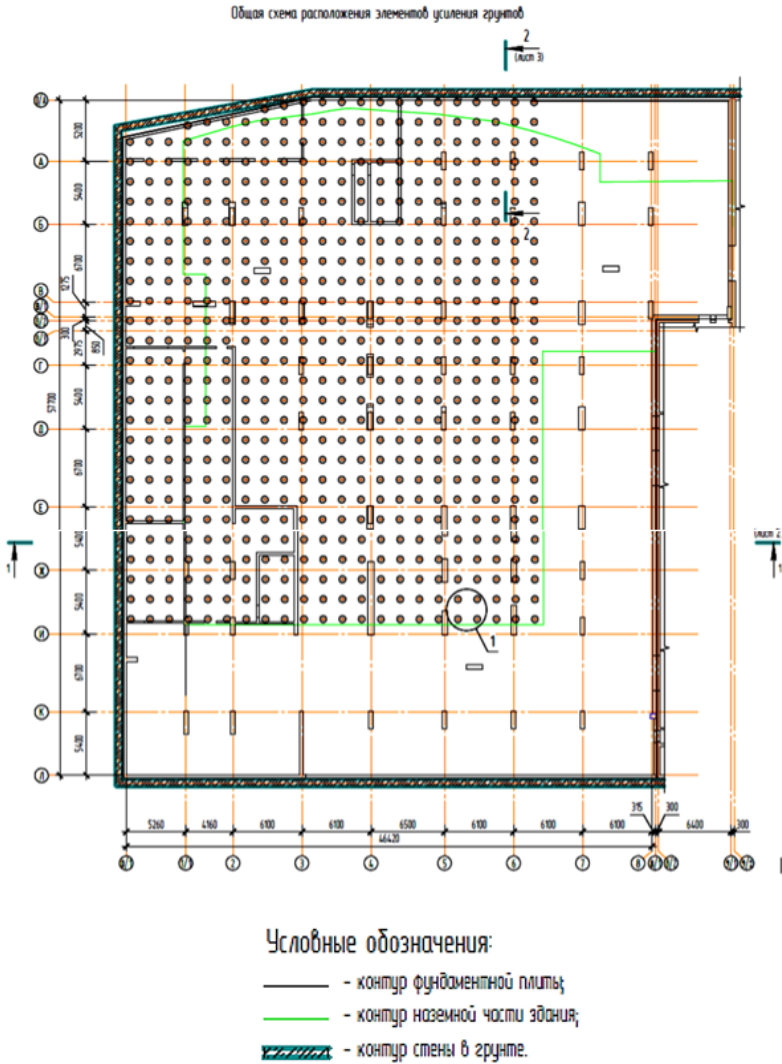
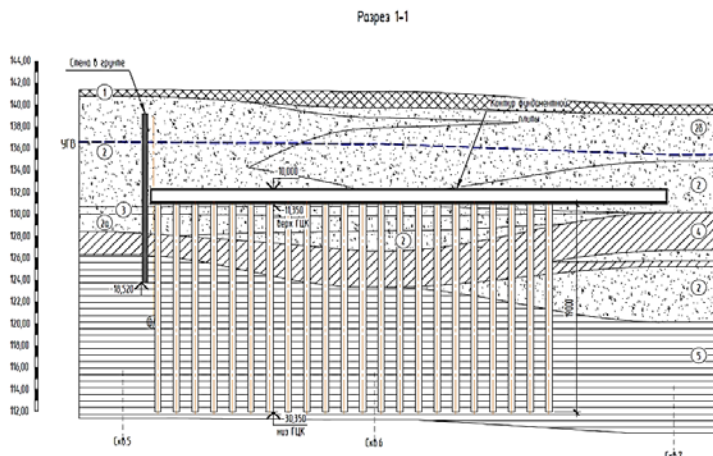
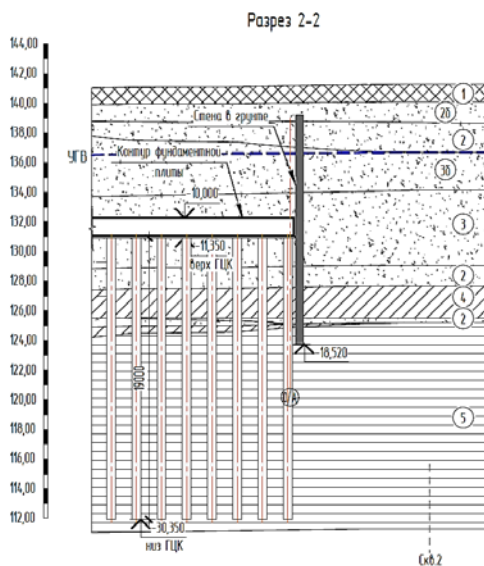


Рис. 4. Усиление основания фундаментов комбинированными грунтобетонными сваями. План



а)



б)

Рис. 5. Усиление основания фундаментов комбинированными грунтобетонными сваями: а) разрез 1-1 б) разрез 2-2

### Список литературы

1. Ильичев В.А. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов / В.А. Ильичев, Р.А. Мангушев, Н.С. Никифорова // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2012. – №2. – С. 17–20.
2. Улицкий В.М. Геотехническое сопровождение развития городов / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин. – СПб.: Георекострукция, 2010. – 551 с.

3. Разводовский Д.Е. Оценка влияния усиления фундаментов зданий по технологии струйной цементации на их осадку / Д.Е. Разводовский, А.А. Чепурнова // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – №10. – С. 64–72.
4. Соколов Н.С. Мелко зернистый бетон как конструкционный строительный материал буроинъекционных свай ЭРТ / Н.С. Соколов, С.Н. Соколов, А.Н. Соколов // Строительные материалы. – 2017. – №5. – С. 16–20.
5. Соколов Н.С. Буроинъекционная свая ЭРТ как заглубленная железобетонная конструкция / Н.С. Соколов, С.С. Викторова, Г.М. Смирнова [и др.] // Строительные материалы. – 2017. – №9. – С. 47–50.
6. Соколов Н.С. Исследование и разработка разрядного устройства для изготовления буровой набивной сваи / Н.С. Соколов, С.С. Викторова // Вестник Чувашского университета. – 2017. – №3. – С. 152–159.
7. Соколов Н.С. Электроразрядная технология для устройства буроинъекционных свай / Н.С. Соколов, Е.Н. Кадышев // Вестник Чувашского университета. – 2017. – №3. – С. 159–165.
8. Соколов Н.С. Использование буроинъекционных свай ЭРТ в качестве оснований фундаментов повышенной несущей способности / Н.С. Соколов // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – №8. – С. 74–79.
9. Соколов Н.С. Расчет буроинъекционных свай повышенной несущей способности / Н.С. Соколов, А.Н. Соколов, С.Н. Соколов [и др.] // Жилищное строительство. – 2017. – №11. – С. 20–26.
10. Соколов Н.С. Фундамент повышенной несущей способности с использованием буроинъекционных свай ЭРТ с множественными уширениями / Н.С. Соколов // Жилищное строительство. – 2017. – №9. – С. 25–29.
11. Соколов Н.С. Исследование и разработка разрядного устройства для изготовления буровой набивной сваи / Н.С. Соколов, С.С. Викторова // Строительство: Новые технологии – Новое оборудование. – 2017. – №12. – С. 38–43.
12. Nikolay Sokolov, Sergey Ezhov, Svetlana Ezhova. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem // Journal of applied engineering science. 15 (2017) 4, 482. – p. 518–523.
13. Соколов Н.С. Электроимпульсная установка для изготовления буроинъекционных свай / Н.С. Соколов // Жилищное строительство. – 2018. – №1–2. – С. 62–66.
14. Соколов Н.С. Один из подходов решения проблемы по увеличению несущей способности буровых свай / Н.С. Соколов // Строительные материалы. – 2018. – №5. – С. 44–47.
15. Sokolov, N. Foundation with increased load bearing base capacity / N. Sokolov, B. Mikhailov, S. Viktorova // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021) : 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, 21–28 апреля 2021 года. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 3015.

Соколов Николай Сергеевич – зав. кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства» ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», директор ООО НПФ «ФОРСТ», канд. техн. наук, доцент, член РОМГГиФ и ISSMGE, г.Чебоксары, e-mail: ns\_sokolov@mail.ru

Sokolov N.S., Head of the Department of "Construction technologies, geotechnics and construction economics" in Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "I.N. Ulianov Chuvash State University", Director of ООО NPF "FORST", Candidate of Sciences (Engineering), Docent, member of RSSMGE, Cheboksary, e-mail: ns\_sokolov@mail.ru

УДК 624.1

## ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ К УСЛОВИЯМ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

*Н.С. Соколов*

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Россия

ООО «Научно-производственная фирма «ФОРСТ»

г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** *разрядно-импульсная геотехническая технология (технология ЭРТ) устройства буроинъекционных свай является новым направлением в освоении подземного пространства. Благодаря ее специфике она является оригинальной и универсальной. В отличие от других технологий она позволяет изготовить буроинъекционные сваи и анкера ЭРТ в стесненных и наиболее стесненных условиях повышенной несущей способности. Технология, в которой одним из циклов устройства свай является использование генератора импульсных токов (ГИТ), способствует повышению качества изготовления свай и грунтовых анкеров ЭРТ, проявляющееся в соблюдении сплошности тела конструкции и свободному погружению в нее пространственных армокаркасов. Благодаря формированию высокоэнергетических импульсов и созданию условий, при которых образуется и развивается ударная волна в виде электрогидравлического эффекта в среде мелкозернистого бетона на грунт стенок буровой скважины качество изготовления конструкций ЭРТ возрастает. Использование технологии ЭРТ при новом строительстве в стесненных условиях даже в случаях максимального приближения к ранее построенным объектам позволяет заглублять новые фундаменты гораздо ниже их абсолютных отметок существующих.*

**Ключевые слова:** *буроинъекционная свая ЭРТ, грунтовый анкер ЭРТ, инженерно-геологические условия, алгоритм, генератор импульсных токов.*

## ADAPTATION OF OBJECTS TO THE CONDITIONS OF NEW CONSTRUCTION

**Annotation:** *discharge-pulse geotechnical technology (EDT technology) for installing drilled injection piles is a new direction in the development of underground space. Thanks to its specificity, it is original and universal. Unlike other technologies, it makes it possible to produce drilled injection piles and ERT anchors in cramped and most cramped conditions with increased load-bearing capacity. The technology, in which one of the cycles of constructing piles is the use of a pulse current generator (PCG), helps to improve the quality of manufacturing of piles and ERT ground anchors, which is manifested in maintaining the continuity of the structure body and the free immersion of spatial reinforcement frames into it. Thanks to the formation of high-energy pulses and the creation of conditions under which a shock wave is formed and develops in the form of an electro-hydraulic effect in the environment of fine-grained concrete on the soil of the walls of a borehole, the quality of manufacturing of EDT structures increases. The use of EDT technology for new construction in cramped conditions, even in cases of maximum proximity to previously built objects, allows new foundations to be buried much lower than their absolute elevations of existing ones.*

**Keywords:** *EDT drilled injection pile, EDT ground anchor, engineering-geological conditions, algorithm, pulse current generator.*

### Введение

Строительство объектов в стесненных условиях является весьма актуальной задачей современного геотехнического строительства [1–8, 9–17]. Разрядно-импульсная геотехническая технология (технология ЭРТ) устройства буроинъекционных свай является новым направлением в освоении подземного пространства. Использование технологии ЭРТ при новом строительстве в стесненных условиях даже в случаях максимального приближения к ранее построенным объектам позволяет заглублять новые фундаменты гораздо ниже их абсолютных отметок существующих. В статье рассмотрен пример проектируемого здания имеющее сложную многоугольную форму в плане, работы по данному объекту проведены с использованием технологии ЭРТ.

Согласно нормативам п.п. 9.33, 9.34, 9.35 и п.12.4, 12.8 СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» обязательным требованием при строительстве объектов в районах существующей городской и промышленной застройки является выполнение геотехнического прогноза и ведение геотехнического мониторинга. Согласно позиции 9.33 СП 22.13330.2011 «При проектировании оснований, фундаментов и подземных частей вновь возводимых или реконструируемых сооружений, располагаемых на застроенной территории, необходимо выполнять геотехнический прогноз (оценку) влияния строительства на изменение напряженно-деформированного состояния



окружающего грунтового массива, в том числе оснований сооружений окружающей застройки. П.12.1 СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» утверждает, что геотехнический мониторинг представляет собой комплекс работ, основанный на натурных наблюдениях за поведением конструкций вновь возводимого или реконструируемого сооружения, его основания, в том числе грунтового массива, окружающего (вмещающего) сооружение, и конструкций сооружений окружающей застройки.

Здание имеет сложную многоугольную форму в плане, габаритные размеры здания составляют  $19,48 \times 22,44$  м (см. рис. 1).

Для устройства подземной части строительства и снижения влияния на существующие объекты предусмотрена разработка строительного котлована глубиной от 2,77 м до 4,0 м. Абсолютная отметка дна котлована 149,60 м.

В качестве ограждения строительного котлована предусмотрено устройство шпунтового ограждения из буроинъекционных свай ЭРТ диаметром 300 мм. Для закрепления подпорной стены от горизонтальных деформаций предусмотрены буроинъекционные грунтовые анкера ЭРТ.

В соответствии с п. 9.36 СП 22.13330.2016 радиус зоны влияния нового строительства равен  $r_{зв} = 5 \cdot H_k$  для котлована, разрабатываемого с устройством заанкеренного ограждения из свай ЭРТ,  $r_{зв} = 3 \cdot H_k$  для котлована, разрабатываемого с устройством консольного ограждения из свай ЭРТ. Таким образом, зона влияния составила 12,0–15,5 м.

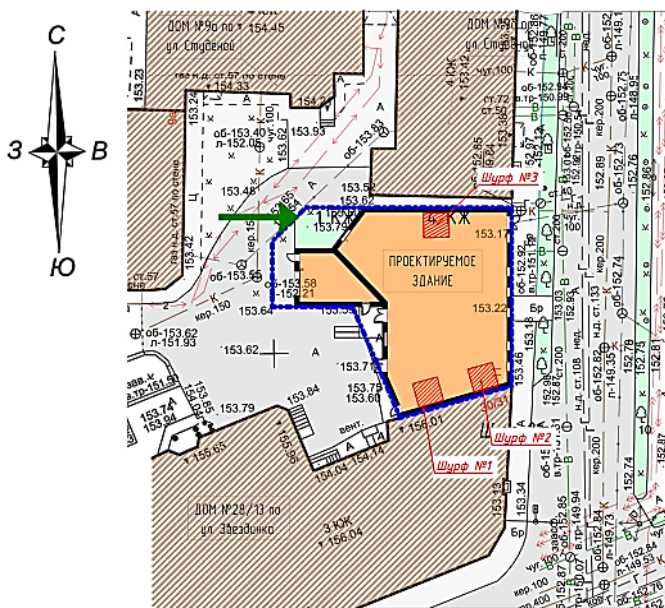


Рис. 1. Схема расположения шурфов

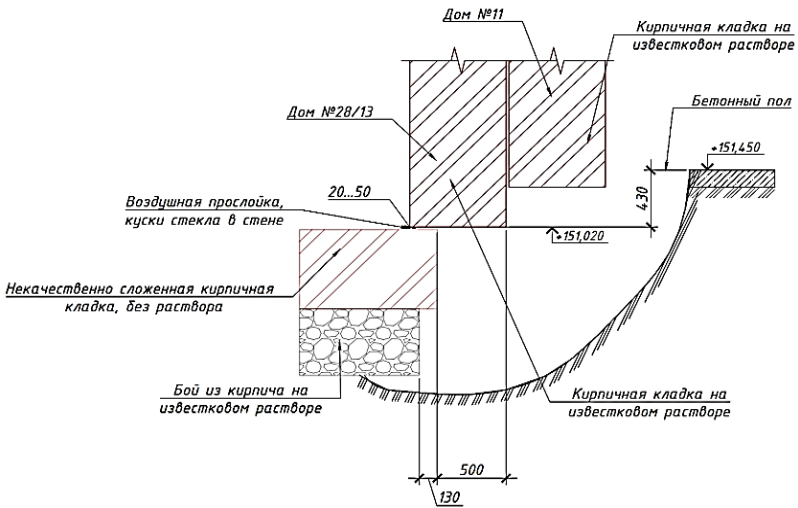


Рис. 2. Шурф №1

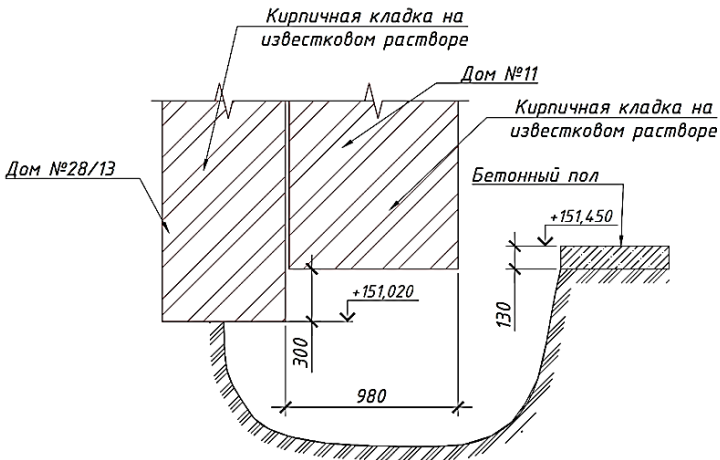


Рис. 3. Шурф №2

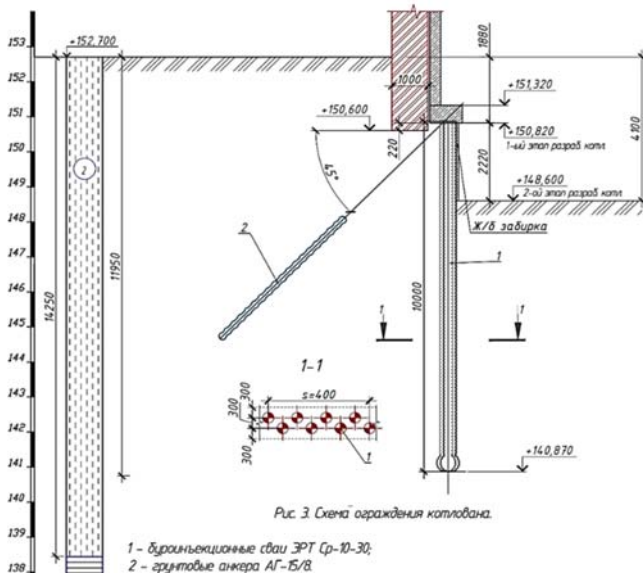


Рис. 4. Схема ограждения по ул. Студеная, 9

### Материал и методы исследований

1. Применяемые методики и средства расчетов.

1.1. Расчет несущей способности свай выполнялся согласно п. 7.2.6 СП 24.13330.2016. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты».

1.2. Расчет устойчивости подпорной стены рассчитывался в программном комплексе GeoWall 6.

1.3. Геотехнический прогноз влияния проектируемого здания на существующие в программном комплексе Wall-3.

2. Конструктивные решения заглубленных конструкций и сооружений.

2.1. Специальное вспомогательное сооружение представляет собой подпорную стенку, состоящую из конструкций ограждения и анкерных конструкций.

2.2. Конструкции ограждения из буронабивных свай ЭРТ по электро-разрядной свайной технологии. По верху сваи объединяются между собой с помощью шапочного бруса (обвязочной балки).

2.3. Грунтовые анкера устраиваются после первого этапа разработки котлована. Представляет собой преднапряженные элементы с железобетонным корнем, получаемым путем электрогидравлической обработки грунта стенок по длине скважины.

3. Допуски по перемещениям и деформациям.

3.1. Прогнозируемая дополнительная осадка фундаментов существующего здания по ул. Звездинка, 28/13, находящегося в зоне влияния нового строительства, соответствует требованиям таблицы К.1 СП 22.13330.2016. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* «Основания зданий и сооружений» и составляет не более 10,0 мм.

3.2. Прогнозируемая дополнительная осадка фундаментов существующего здания по ул. Студеная, 9, находящегося в зоне влияния нового строительства, соответствует требованиям таблицы К.1 СП 22.13330.2016. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* «Основания зданий и сооружений» и составляет не более 10,0 мм.

3.3. Абсолютные горизонтальные перемещения верха ограждающей конструкции приведены в геотехническом прогнозе.

4. Условия возведения и эксплуатации конструкций.

4.1. В ходе устройства шпунтового ограждения в непосредственной близости со зданиями №28/13 и №9 соблюдать этапность разработки грунта.

4.2. Первый этап разработки грунта осуществляется до уровня подошвы существующего дома №11.

4.3. 2-й этап разработки грунта выполнять после устройства свай, шапочно бруса (обвязочной балки), натяжения грунтовых анкеров ЭРТ.

4.4. Приступать к разработке грунта следует только при соответствии прочности возведенных конструкций требованиям настоящего проекта.

4.5. До начала устройства подпорной стенки и до засыпки пазух фундаментов реконструируемого здания производить геотехнический мониторинг за окружающей застройкой, попадающих в зону влияния.

5. Мероприятия по мониторингу за окружающей застройкой, существующих заглубленных сооружений и коммуникаций.

5.1. Обязательным условием ведения работ на данной площадке является проведение геотехнического мониторинга для объектов нового строительства и реконструкции.

5.2. Мониторинг выполняется специализированными организациями по специальному проекту.

5.3. Методы геотехнического мониторинга.

6. Конструирование буроинъекционных свай ЭРТ.

6.1. Сваи вертикальные сплошного сечения диаметром бурения 300,0 мм, армированы на всю длину арматурными каркасами.

6.2. Принятая маркировка свай: Ср-7-30 (длина 7,0 м, буровой диаметр 300,0 мм), Ср-9-30 (длина 9,0 м, буровой диаметр 300,0 мм), С-10-30 (длина 10,0 м, буровой диаметр 300,0 мм).

6.3. Заглубление пяты свай в ИГЭ №2 (Суглинок тугопластичный), ИГЭ №3 (Глина твердая).

6.4. Анкеровка (арматурный выпуск из головы свай) в железобетонный ростверк 300,0, 400,0 мм.

6.5. Заделка головы (железобетонный оголовок) свай в железобетонный ростверк 50,0 мм.

6.6. Для устройства буроинъекционных свай ЭРТ предусмотрена бетонная подготовка из тяжелого бетона марки М100 толщиной не менее 100,0 мм.

7. Материалы буроинъекционных свай ЭРТ.

7.1. Для свай использовать самоуплотняющиеся мелкозернистые бетонные смеси класса по прочности В25, марка по водонепроницаемости не ниже W6 в соответствии с ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые», приготовленным на строительной площадке или на специализированных бетонных заводах.

7.2. Бетонная смесь должна соответствовать требованиям ГОСТ 7473-2020 «Смеси бетонные».

7.3. Удобоукладываемость бетонной смеси П4.П5, проверяется по конусу АЗНИИ.

7.4. Водоотделение бетонной смеси не более 2,0 %.

7.5. Бетонная смесь не должна иметь включений щебня и гравия размером более 10,0 мм.

7.6. Для бетонных смесей использовать портландцемент без минеральных добавок марки по прочности не ниже М500.

7.7. Заполнителем для бетона служит кварцевый песок. Допускается применение чистых мелких песков с модулем крупности не менее 1.7.

7.8. При изготовлении свай допускается использовать следующие добавки: суперпластификаторы, ускорители твердения, замедлители схватывания, ингибиторы коррозии и противоморозные добавки.

7.9. Вода для бетонной смеси водопроводная и техническая, не содержащая сахаров и фенолов более 10,0 мг/л, нефтепродуктов и жиров. Водородный показатель (рН) от 4,0 до 12,5.

7.10. Запрещается добавлять в бетонную смесь воду для увеличения ее подвижности.

7.11. Подбор состава бетонной смеси с определением состава и количества добавок выполняется строительной лабораторией.

7.12. Армирование свай предусмотрено на всю длину и выполняется отдельными секциями из пространственных сварных каркасов. Соединение этих каркасов между собой выполнять внахлестку с применением вязальной проволоки диаметром 1,5-2.0 мм.

7.13. В качестве продольных стержней пространственного каркаса принята арматура диаметром 18,0 мм класса А500С. Поперечное армирование из арматуры диаметром 10,0 мм класса А240. Защитный слой бетона не менее 30,0 мм.

7.14. Жесткость пространственного каркаса обеспечивается стальными кольцами из труб диаметрами по 159,0 мм с толщиной стенки не менее 4,0 мм.

7.15. Для обеспечения защитного слоя бетона предусмотрены центраторы из стальных полос шириной по 20,0 мм толщиной 4,0 мм в количестве не менее 3-х в одном поперечном сечении арматурного каркаса с шагом по длине каркаса не более 2,0 м.

7.16. Ручная дуговая сварка элементов пространственного каркаса между собой осуществляется электродами типа Э42А, Э46А, Э50А.

7.17. Для изготовления сварных каркасов применять арматуру из стали марки 35ГС запрещается.

8. Изготовление буринъекционных свай ЭРТ.

8.1. Технологическая последовательность изготовления свай эрт включает следующие операции: 8.1.1. Формирование скважины требуемой глубины и диаметра шнековым бурением. 8.1.2. Нагнетание (инъекция) в скважину мелкозернистой бетонной смеси. 8.1.3. Электроразрядная обработка скважины, заполненной бетонной смесью. 8.1.4. Установка пространственных каркасов с одновременной их стыковкой между собой. 8.1.5. Уход за бетоном оголовка.

8.2. Допускается выполнять электро-разрядную обработку скважины после установки арматурных каркасов.

8.3. При устройстве свай последующая скважина должна устраиваться не менее чем за 2,5 м от предыдущей. Бурение скважин рядом с ранее изготовленными сваями допускается лишь по прошествии не менее 48 часов после окончания бетонирования последних.

8.4. До начала работ должны быть обозначены охранные зоны существующих подземных и воздушных коммуникаций, а также подземных сооружений с указанием охранный зоны, устанавливаемой в соответствии с п. 3.22 СНиП 3.02.01-87 «Земляные сооружения, основания и фундаменты».

8.5. В случае обнаружения не указанных в проекте подземных сооружений, коммуникаций или обозначающих их знаков работы должны быть приостановлены, на место работы вызваны представители заказчика и организаций, эксплуатирующих обнаруженные коммуникации, и приняты меры по предохранению обнаруженных подземных устройств от повреждения. Допускается вынос заказчиком существующих коммуникаций из зоны производства работ при наличии письменного разрешения эксплуатирующих организаций.

8.6. Формирование скважины бурением 8.6.1. Бурение шнековое следует выполнять в соответствии с проектом производства работ. 8.6.2. Установка для бурения УБГ-СГ «Беркут». 8.6.3. В процессе бурения следует контролировать параметры грунта на глубине: установить характеристики грунта основания по остаткам грунта на элементах бурового инструмента, зафиксировать этот факт соответствующей записью в журнале свайных работ. Установить соответствие грунта, обнаруженного в забое скважины и учтенного проектом в основании сваи. При несоответствии глубины заделки бурового инструмента в этот грунт, а также при наличии по длине скважины неустойчивых грунтов, приостановить работы и пригласить представителей проектной организации для принятия решения (корректировка длины, изменение количества свай и т. д.). Работы можно продолжить только после получения разрешения представителя авторского надзора, которое должно быть оформлено в журнале авторского надзора. 8.6.4. Подъем бурового инструмента следует проводить медленно после того, как будет установлено, что в забое скважины не создается пониженное давление относительно бытового давления грунта. 8.6.5. Бетонирование скважин должно производиться не позднее 8 часов после окончания бурения. При невозможности бетонирования в указанный срок бурение скважин начинать не следует, а уже начатых прекратить.

8.7. Нагнетание (инъекция) скважины мелкозернистой бетонной смесью. 8.7.1. Нагнетание мелкозернистой бетонной смеси осуществляется до устья скважины через инъекционную трубу – иньектор диаметром не менее 40,0 мм, опускаемую до забоя скважины. После достижения забоя, скважина должна быть промыта бетонной смесью. Промывка бетонной смесью продолжается до прекращения всплывания частиц грунта. 8.7.2. Приготовление мелкозернистого бетона производить на строительной площадке непосредственно перед его нагнетанием в скважину. Для приготовления и подачи бетона применяется пневморастворонагнетатель ПРН-500 (ПРН-300). Давление нагнетается 0,5–5,0 МПа. 8.7.3. Следует контролировать объем закачиваемой в скважину бетонной смеси, сопоставляя его с проектным, и объемом выбуренного грунта, причем объем закачанной в скважину бетонной смеси должен превышать 2,5 объема выбуренного грунта. 8.7.4. Перерывы в подаче отдельных порций бетонной смеси не должны превышать срока схватывания, установленного лабораторией. 8.7.5. Не допускается понижение уровня бетонной смеси в устье скважины ниже нижней кромки трубы кондуктора.

8.8. Электроразрядная обработка скважины, заполненной бетонной смесью.

8.8.1. Мощность накапливаемой энергии не менее 40,0 кдж. 8.8.2. Обработка забоя. 8.8.3. Формирование тела сваи по длине ствола выполнять ярусами с шагом ярусов электроразрядной обработки 1.0 м и количестве электровзрывов на каждом горизонте не менее 5. 8.8.4. Верхняя часть ствола сваи на глубину 2,0 м электрогидравлической обработке не подвергается. 8.8.5. В процессе формирования тела сваи необходимо периодически доливать бетонную смесь до устья. Долив смеси производить после перемещения излучателя вверх на новый горизонт и снижения уровня бетонной смеси. 8.8.6. По результатам контроля падения уровня бетонной смеси в опытной скважине или объема добавляемой бетонной смеси и сейсмических возмущений в зоне формирования геотехнического элемента, при необходимости, откорректировать программу обработки свай электрическими разрядами.

8.9. Монтаж пространственных каркасов.

8.9.1. Нижнюю секцию арматурного каркаса погружают в скважину и вывешивают для соединения со второй секцией. Верхнюю секцию устанавливают соосно нижней, и секции стыкуют между собой. 8.9.2. Необходимо контролировать положение арматурного каркаса после установки его в проектное положение. Каркас закрепить от погружения и смещения в плане. 8.9.3. При погружении арматурного каркаса в скважину допускается. 8.9.4. Если при погружении арматурного каркаса в скважину, встретится препятствие, то каркас не будет погружаться. 8.9.5. Секции каркасов перед установкой следует очистить от случайно налипшего на него грунта.

### 8.10. Уход за бетоном.

8.10.1. В течение первых двух суток после изготовления сваи следует контролировать уровень бетонной смеси в скважине и периодически через трубу-инъектор доливать бетонную смесь до устья скважины. 8.10.2. При формировании оголовков свай каждый слой бетонной смеси следует укладывать до начала схватывания бетона предыдущего слоя. 8.10.3. Сразу после окончания бетонирования, выступающие над поверхностью земли оголовки свай, включая выпуски арматуры, следует укрывать паро-теплоизоляционными материалами. 8.10.4. В процессе работ выпуски арматурного каркаса необходимо защищать от загрязнения. 8.10.5. В начальный период ухода свежесложенная бетонная смесь в оголовках свай должна быть защищена от обезвоживания укрытием влагонепроницаемым материалом.

### 9. Обеспечение качества изготовления свай ЭРТ.

9.1. Изготовление свай ЭРТ должны проводить организации, имеющие опыт геотехнических работ не менее 10 лет. 9.2. Для электроразрядной обработки скважины, заполненной бетонной смесью, использовать генератор импульсных токов ГИТ, подтвержденный сертификатом соответствия. 9.3. При изготовлении свай ЭРТ следует освидетельствовать. 9.4. Контроль прочности бетона осуществлять по ГОСТ 18105-2010 «Бетоны, правила контроля прочности» и ГОСТ 10180-2012 «бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» путем отбора проб бетонной смеси на месте ее изготовления и последующего твердения в нормальных условиях, отвечающих требованиям п.4.3.2 ГОСТ 10180-2012. 9.5. Акты освидетельствования скрытых работ оформляются по форме, оговоренной в актуализированном СНИП 12-01-2011 «Организация строительства», должны составляться на завершённый процесс (сваю), выполненный самостоятельным подразделением исполнителей (комплексной бригадой) в течение смены. 9.6. Не допускается выполнение последующих работ при отсутствии оформленных актов на скрытые работы на завершённые технологические процессы по изготовлению свай ЭРТ, не освидетельствованные техническим надзором заказчика.

### Конструирование анкерного крепления.

Конструктивные решения заглубленных конструкций (см. рис. 3) представляют собой.

1. Специальное вспомогательное удерживающее сооружение представляет собой подпорную стенку, состоящую из конструкций ограждения и анкерных конструкций.

2. Конструкции ограждения котлована на рассматриваемом участке представляют буринъекционные сваи  $\varnothing$  350 изготавливаемых по электроразрядной технологии (сваи-ЭРТ [14÷21]) закрепленные от горизонтального смещения грунтовыми анкерами длиной 18 м и 17 м по ЭРТ-технологии, выполненных под углом 30°. Шаг грунтовых анкеров, а также расстояние от дна котлована до соответствующего яруса анкеров приняты согласно указанным в проекте планам.

3. Грунтовые анкера (анкера ЭРТ) устраиваются после первого этапа разработки котлована, согласно указанным в проекте инженерно-геологическим разрезам и представляют собой преднапряженные элементы с



железобетонным корнем, получаемым путем электроразрядной обработки грунта его стенок (рис. 3,4).

Расчеты по прочности элементов подпорных стен выполнены в программном комплексе geowall, основанного на методе Блюма-Ламейера (способ «упругой линии»).

Возведения и эксплуатация конструкций грунтовых анкеров произведены по следующему алгоритму (рис. 3): в ходе устройства подпорной стенки разработана этапность разработки грунта. 1. 1-й этап разработки грунта предусматривает разработку грунта до отметок, указанных на соответствующих разрезах; после установки шпунтового ограждения в проектное положение. 2. Грунтовые анкеры 1-го яруса выполняются после 1 этапа разработки грунта на отметке +132.350 м. 3. Второй этап разработки предусматривает выемку грунта до абсолютной отметки (+130.850 м); 4. Третий этап разработки предусматривает выемку грунта до проектной отметки дна котлована +129.150 м. 5. К разработке грунта следует приступить только при соответствии прочности возведенной конструкции требованиям проекта. 6. Во время устройства шпунтового ограждения до засыпки пазух фундаментов производится геотехнический мониторинг деформаций окружающей застройки. 7. В процессе эксплуатации грунтовых анкеров не допускаются динамические, вибрационные воздействия на них до засыпки пазух котлована. 8. Не допускаются превышения равномерно распределенных нагрузок на бровке более указанного в проекте.

Устройство буроинъекционных анкеров ЭРТ представляет следующую последовательность.

### 1. Формирование скважины бурением.

1.1. Бурение шнековое, выполняется в соответствии с проектом производства работ. Установкой для бурения УБГ-СГ «БЕРКУТ» или аналога.

1.2. Бурение скважин выполняется с рабочих отметок, указанных в проекте.

1.3. Для разворота буровых машин и возможности установки анкерных каркасов ширина грунтовой бермы должна составлять не менее 18 м.

1.4. В процессе бурения контролируются параметры грунта по глубине: установить характеристики грунта основания по остаткам грунта на элементах бурового инструмента, зафиксировать этот факт соответствующей записью в журнале свайных работ. Устанавливаются соответствие грунта, обнаруженного в забое скважины проектным значениям на уровне корня анкера.

1.5. Подъем бурового инструмента проводится только после установления того, что в забое скважины не создается пониженное давление относительно природного давления грунта.

### 2. Цементация скважины грунтового анкера.

2.1. Заполнение скважины производится до устья через бетонолитную колонну диаметром не менее 40мм, опускаемую до забоя методом ВПГ (верх

поднимающиеся трубы). После достижения забоя, скважина должна быть промыта цементным раствором. Промывка цементным раствором продолжается до прекращения всплывания частиц грунта.

2.2. Приготовление цементного раствора производится на строительной площадке непосредственно перед его нагнетанием в скважину. Для приготовления и подачи раствора применяется пневморастворонагнетатель ПРН-500 (ПРН-300). 2.3. Контролируется объем закачиваемого в скважину цементного раствора, сопоставляя его с проектным значением, и объемом выбуренного грунта, причем объем закачанного в скважину раствора должен превышать объем выбуренного грунта.

3. Программа электроразрядной обработки скважины, заполненной цементным раствором.

3.1. Необходимая мощность накапливаемой энергии не менее 50 кДж.

3.2. Длина коаксиального кабеля от ГИТ до электродной системы составляет не более 80 м, включая длину анкера (высоковольтный кабель ТИП-2 – 50 м, кабель высоковольтный импульсивный малоиндуктивный (КВИМ) – 30,0 м).

3.3. Обработка высоковольтными электрическими разрядами производится по длине корня грунтового анкера сериями не менее 15 разрядов на каждом уровне. Шаг уровней составляет от 1.0 м.

3.4. Расчетное увеличение бурового диаметра (150 мм) корня анкера необходимо довести до 200 мм, для этого контролируется уровень цементного раствора в скважине до начала обработки одного уровня и после завершения обработки. За «отказ» принимается понижение уровня раствора в скважине за последние 5 разрядов не более 10 мм. Для установления факта «отказа» осуществляется контроль изменения уровня раствора в скважине после каждого разряда или серии из 5-ти разрядов.

3.5. Осуществляется контроль за достижением общего объема поданного в скважину раствора, включая доливку уровня, превышающего объем пройденной скважины (объем грунта, извлеченного из данной скважины).

3.6. По результатам контроля падения уровня цементного раствора в опытной скважине или объема добавляемого раствора и сейсмических возмущений в зоне формирования геотехнического элемента корректируется программа обработки корня анкеров электрическими разрядами.

4. Монтаж анкерного каркаса.

4.1. Анкерный каркас опускается плавно, без рывков.

4.2. Контролируется положение арматурного каркаса после установки его в проектное положение. Каркас закрепляется от случайного погружения и смещения в плане.

4.3. Каркас перед установкой очищается от случайно налипшего на него грунта.

5. Порядок натяжения грунтовых анкеров включает следующую последовательность:

5.1. До начала работ устанавливаются все элементы анкерного крепления на планируемой для натяжения захватке.

5.2. Косые шайбы привариваются электродуговой сваркой непосредственно на строительной площадке к опорным пластинам (плитам) стального распределительного пояса.

5.3. Кубиковая прочность цементного камня корня анкера должна быть не менее 20 МПа. Для контроля набора прочности в процессе изготовления анкеров отбираются 9 кубиков  $10 \times 10 \times 10$  см, которые испытываются в возрасте 3, 7 (для внутреннего пользования) и 10 суток (для отчета).

5.4. Испытательная нагрузка назначается согласно равной  $P_u = 1,2 \cdot P_w$ . Контрольные испытания проводятся на каждом десятом анкере, начиная с нагрузки  $P_0 = 0,2 \cdot P_u$ . Анкер нагружается ступенями. Порядок нагружения: Первая ступень – P1; Вторая ступень – P2; Третья ступень – P3; Четвертая ступень – P4; Пятая ступень – P5; Шестая ступень – P6; Седьмая ступень – испытательная нагрузка  $P_u$ . Каждую ступень выдерживают не менее 15 мин до наступления стабилизации деформаций анкеров ЭРТ. Затем производят разгрузку до величины  $P_0$ , при которой измеряют упругие и остаточные перемещения. Фиксацию величин перемещений производят на каждой ступени через каждые 3 мин. Последнюю ступень нагрузки выдерживают до наступления стабилизации анкеров в течение 30 мин, затем снижают до величины  $P_0$ , замеряют упругие и остаточные перемещения анкеров и доводят нагрузку до значения  $P_6$  (блокировочная нагрузка), потом закрепляют анкер на опорной конструкции.

5.5. В случае не достижения испытательной нагрузки в процессе проведения контрольных испытаний, за испытательную нагрузку принимается нагрузка последней стабилизировавшейся ступени (несущая способность грунтового анкера), с последующим вычислением расчетной нагрузки на анкера с учетом коэффициента надежности, равным 1,2. С учетом этого автором проекта корректируется блокировочная нагрузка и корректируется проектное решение.

5.6. При малых значениях абсолютных перемещений грунтового анкера (менее 20 мм) после достижения стабилизации деформаций при контрольных испытаниях производится догружение анкера ступенями равными  $P_0 = 0,2 \cdot P_u$  с выдерживанием на каждой новой ступени условной стабилизации деформаций. При этом должна обеспечиваться прочность материала и узлов анкерного крепления на сверхпроектные нагрузки.

5.7. Приемочным испытаниям подвергается каждый рабочий анкер, за исключением анкеров, повергнутых контрольным испытаниям. Приемочные испытания начинаются с нагрузки  $P_0$ , при которой фиксируются начальные отчеты перемещения анкера и доводятся до величины  $P_u$ , выдерживая её в течение 15 мин, и замеряя перемещение анкера через 1, 3, 5, 7, 10 и 15 мин, далее уменьшают нагрузку до величины  $P_0$ , замеряя

упругое перемещение анкеров, увеличивают нагрузку до блокировочной  $R_6$  и закрепляют анкер до конструкции.

5.8. Несущая способность и испытательные нагрузки приемочных анкеров определяются как минимальное значение результатов испытаний из не менее чем двух ближайших контрольных анкеров.

6. Обеспечение качества изготовления грунтовых анкеров включает.

6.1. Изготовление грунтовых анкеров должны проводить организации, имеющие опыт геотехнических работ не менее 5 лет, в которых организована система обеспечения качества [2], что должно быть подтверждено сертификатом соответствия.

6.2. При этом, изготовлении следует освидетельствовать: а) планово-высотную привязку буроинъекционных свай ЭРТ; б) диаметр и глубину скважин на соответствие проекту; в) вид грунта в основании анкера и его соответствие учтенному проекту (по остаткам на элементах бурового инструмента в основании); г) уплотнение грунта в основании свои, разрушенного буровым инструментом; д) соответствие анкерного каркаса проекту (длина, диаметр и класс арматуры рабочих стержней, узлы соединения стержней) и глубину погружения каркаса в скважину; е) качество приготавливаемого цементного раствора (расход материалов); ж) затруднения при погружении анкерного каркаса под собственным весом в скважину (свободное погружение арматурного каркаса до проектной отметки свидетельствует об отсутствии в скважине пережимов грунта и гарантирует сплошность ствола корня); з) погружение электродной системы; расход цементного раствора, используемого при производстве анкеров ЭРТ: 1) при заполнении скважины; 2) при обработке корня на каждом горизонте; 3) суммарный расход цементного раствора на каждую скважину.

6.3. Контроль прочности цементного раствора осуществляется по [3] и [4] путем отбора проб цементного раствора на месте ее изготовления и последующего твердения в нормальных условиях, отвечающих требованиям п. 2.3.2 [4].

6.4. Акты освидетельствования скрытых работ оформляются по форме, оговоренной в актуализированном СНиП 12-01-2004 «Организация строительства» [5], должны составляться на заверченный процесс (анкер), выполненный самостоятельным подразделением исполнителей (комплексной бригадой) в течение смены.

6.5. Не допускается выполнение последующих работ при отсутствии оформленных актов на скрытые работы на заверченные технологические процессы по изготовлению анкеров ЭРТ, не освидетельствованные техническим надзором заказчика.

6.6. Работы производятся в соответствии со [6 ÷ 12], и проекта производства работ (ППР). 6.7. Качество основных материалов определяется требованиями градостроительного кодекса и Закона о техническом регулировании, что должно быть подтверждено сертификатами соответствия, государственным стандартом РФ.

### Заключение

В статье произведен детальный разбор технологии ЭРТ. Использование технологии ЭРТ при новом строительстве в стесненных условиях даже в случаях максимального приближения к ранее построенным объектам позволяет заглублять новые фундаменты гораздо ниже их абсолютных отметок существующих. Благодаря формированию высокоэнергетических импульсов и созданию условий, при которых образуется и развивается ударная волна, в виде электрогидравлического эффекта в среде мелкозернистого бетона на грунт стенок буровой скважины качество изготовления конструкций ЭРТ возрастает.

### Список литературы

1. Ильичев В.А. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов / В.А. Ильичев, Р.А. Мангушев, Н.С. Никифорова // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2012. – №2. – С. 17–20.
2. Улицкий В.М. Геотехническое сопровождение развития городов / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин. – СПб: Георекострукция, 2010. – 551 с.
3. Ilichev V.A. Deformations of the Retaining Structures Upon Deep Excavations in Moscow / V.A. Ilyichev, P.A. Konovalov, N.S. Nikiforova, L.A. Bulgakov // Proc. Of Fifth Int. Conf on Case Histories in Geotechnical Engineering, April 3–17. – New York, 2004. – P. 5–24.
4. Ilyichev V.A. Computing the evaluation of deformations of the buildings located near deep foundation trenches / V.A. Ilyichev, N.S. Nikiforova, E.B. Koreneva // Proc. of the XVIth European conf. on soil mechanics and geotechnical engineering. Madrid, Spain, 24–27th September 2007 «Geo-technical Engineering in urban Environments»... Volume 2. – P. 581–585.
5. Nikiforova N.S. Geotechnical cut-off diaphragms for built-up area protection in urban underground development / N.S. Nikiforova, D.A. Vnukov // The pros, of the 7th Int. Symp. "Geotechnical aspects of underground construction in soft ground", 16–18 May, 2011, 1c28 IS Roma, AGI, 2011, №157NIK.
6. Nikiforova N.S. The use of cut off of different types as a protection measure for existing buildings at the nearby underground pipelines installation / N.S. Nikiforova, D.A. Vnukov // Proc. of Int. Geotech. Conf. dedicated to the Year of Russia in Kazakhstan. Almaty, Kazakhstan, 23–25 September 2004. – P. 338–342.
7. Petrukhin V.P. Effect of geotechnical work on settlement of surrounding buildings at underground construction / V.P. Petrukhin, O.A. Shuljatjev, O.A. Mozgacheva // Proceedings of the 13th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Prague, 2003.
8. Triantafyllidis Th. Impact of diaphragm wall construction on the stress state in soft ground and serviceability of adjacent foundations. / Th. Triantafyllidis, R. Schafer // Proceedings of the 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Madrid, Spain, 22–27 September. 2007. Vol. 2. – P. 683–688.
9. Соколов Н.С. Расчет буроинъекционных свай повышенной несущей способности / Н.С. Соколов, А.Н. Соколов, С.Н. Соколов [и др.] // Жилищное строительство. – 2017. – №11. – С. 20–26.
10. Соколов Н.С. Фундамент повышенной несущей способности с использованием буроинъекционных свай ЭРТ с многоместными уширениями / Н.С. Соколов // Жилищное строительство. – 2017. – №9. – С. 25–29.

11. Соколов Н.С. Исследование и раз работка разрядного устройства для изготовления бу ровой набивной сваи / Н.С. Соколов, С.С. Викторова // Строительство: Новые технологии – Новое оборудование. – 2017. – №12. – С. 38–43.
12. Nikolay Sokolov, Sergey Ezhov, Svetlana Ezhova. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem // Journal of applied engineering science. 15 .2017. 4, 482. – P. 518–523.
13. Соколов Н.С. Электроимпульсная установка для изготовления буроинъекционных свай / Н.С. Соколов // Жилищное строительство. – 2018. – №1–2. – С. 62–66.
14. Соколов Н.С. Один из подходов решения проблемы по увеличению несущей способности буровых свай / Н.С. Соколов // Строительные материалы. – 2018. – №5. – С. 44–47.
15. Соколов Н.С. Критерии экономической эффективности использования буровых свай / Н.С. Соколов // Жилищное строительство. – 2017. – №5. – С. 34–38.
16. Соколов Н.С. Технология увеличения несущей способности основания / Н.С. Соколов // Строительные материалы. – 2019. – №6. – С. 67–72.
17. Sokolov, N. Foundation with increased load bearing base capacity / N. Sokolov, B. Mikhailov, S. Viktorova // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021) : 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, 21–28 апреля 2021 года. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 3015.

Соколов Николай Сергеевич – зав. кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства» ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», директор ООО НПФ «ФОРСТ», канд. техн. наук, доцент, член РОМГГиФ и ISSMGE, г.Чебоксары, e-mail: ns\_sokolov@mail.ru

Sokolov N.S., Head of the Department of "Construction technologies, geotechnics and construction economics" in Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "I.N. Ulianov Chuvash State University", Director of ООО NPF "FORST", Candidate of Sciences (Engineering), Docent, member of RSSMGE, Cheboksary, e-mail: ns\_sokolov@mail.ru

УДК 624.1

## СЛУЧАЙ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЯ ЗАГЛУБЛЕННОГО СООРУЖЕНИЯ

**Н.С. Соколов**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Россия

ООО «Научно-производственная фирма «ФОРСТ»

г. Чебоксары, Россия

**П.Ю. Федоров**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Россия

**С.С. Теславский**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** проблема повышения несущей способности оснований всегда является актуальной проблемой в современном геотехническом строительстве. При дополнительных увеличенных внешних нагрузках на существующие удерживающие конструкции использование традиционных технологий обеспечения их устойчивости не всегда оправдано. Часто возникает настоятельная необходимость применения нестандартных способов усиления оснований. Часты случаи использования существующих удерживающих железобетонных конструкций под новые дополнительные нагрузки от вновь возводимых объектов. В таких случаях использование буроналивных свай ЭРТ и грунтовых анкеров ЭРТ в большинстве случаев успешно решает многие сложные геотехнические проблемы усиления перегруженных оснований.

**Ключевые слова:** геотехническое строительство, электроразрядная технология ЭРТ, буроналивная свая ЭРТ, грунтовые анкера ЭРТ

## CASE OF STRENGTHENING THE BASE OF A BURNED STRUCTURE

**Annotation:** the problem of increasing the bearing capacity of foundations is always an urgent problem in modern geotechnical construction. With additional increased external loads on existing retaining structures, the use of traditional technologies to ensure their stability is not always justified. There is often an urgent need to use non-standard methods of strengthening foundations. There are frequent cases of using existing retaining reinforced concrete structures for new additional loads from newly constructed objects. In such cases, the use of ERT drilled injection piles and ERT soil anchors in most cases successfully solves many complex geotechnical problems of strengthening overloaded foundations.

**Keywords:** *geotechnical construction, electric discharge technology EDT, drilled injection pile EDT, EDT ground anchors.*

### Введение

Обеспечение безопасной эксплуатации вновь возводимых объектов на площадках со сложным рельефом и слабыми физико-механическими характеристиками требует особого подхода [1–13]. Часто при новом строительстве приходится сталкиваться с усиленными ранее склонами. Чаще всего они укреплялись с помощью заглубленных железобетонных конструкций используемых как удерживающие конструкции. В большинстве случаев они по расчетной схеме относятся к строительным конструкциям консольного типа. В таких случаях необходим нестандартный подход в вопросах обеспечения устойчивости склона.

При новом строительстве чаще всего склоны укрепляются с помощью заглубленных железобетонных конструкций используемых как удерживающие конструкции, а именно конструкций стен консольного типа. Отличительной особенностью таких стен от раскрепленных является то, что при даже небольших дополнительных внешних нагрузках они могут деформироваться. Говорить о том, что они могут воспринять существенные возросшие нагрузки от вновь возводимого объекта, не приходится. В таких случаях необходим нестандартный подход в вопросах их использования для целей обеспечения устойчивости как склона, так и самой удерживающей подпорной стены. Далее рассматривается случай приспособления существующей консольной уголкового железобетонной подпорной стены в качестве удерживающей железобетонной конструкции при существенных возросших внешних нагрузках строящегося полотна автомобильной дороги.

### Материал и методы исследований

Следует отметить, что существующая уголкового стены автомобильной дороги уже была деформирована. Отклонение от вертикали доходило до 950,0 мм при ее высоте 5,0 метров. Эту стену было решено усилить с помощью дополнительных буринъекционных свай ЭРТ и превратить из консольной в раскрепленную с помощью грунтовых анкеров ЭРТ. Ниже в таблице 1 приведен один из подходов в использовании деформированной железобетонной подпорной стены на свайном основании из призматических забивных свай.

Таблица 1

| №№ п/п | Заглубленные железобетонные конструкции, используемые в проекте приспособления  |
|--------|---|
| 1      | 2   |
| 1      | Удерживающие железобетонные конструкции представляют комплекс, состоящий из анкерных конструкций из анкеров ЭРТ, подпорной стенки из призматических забивных свай и железобетонных контрфорсов на свайном основании из буринъекционных свай ЭРТ |



Окончание таблицы 1

| 1 | 2   |
|---|---|
| 2 | Подпорная стенка из свай – буроинъекционные сваи по электроразрядной свайной технологии (сваи ЭРТ), объединенные по верху монолитными железобетонными ростверками. Железобетонные контрфорсы подпирают и связывают существующие с возводимыми конструкциями   |
| 3 | Грунтовые анкера, изготавливаемые по электроразрядной технологии (анкера ЭРТ), изготавливаемые по электроразрядной технологии (анкера ЭРТ) устраиваются на начальном этапе производства работ и обеспечивают устойчивость уголкового железобетонной подпорной стены ПС1 на время производства работ и на период эксплуатации. Они представляют собой преднапряженные элементы с железобетонным корнем, получаемым путем электроразрядной обработки грунта по длине скважины |

На рис. 1 приведен план заглубленных железобетонных конструкций усиленной буроинъекционными сваями ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ), грунтовыми анкерами ЭРТ и монолитными железобетонными контрфорсами.

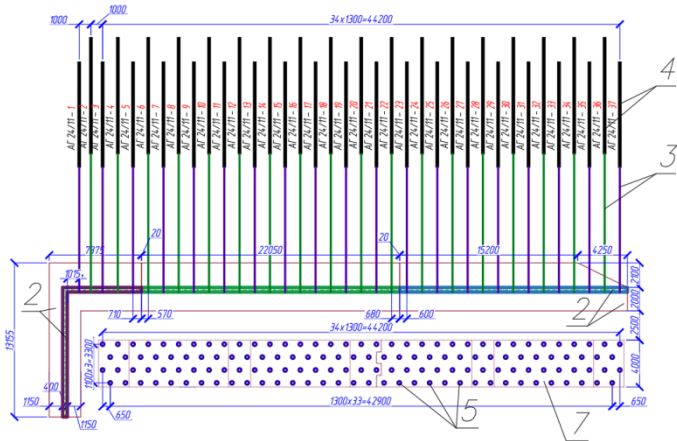


Рис. 1. Схема устройства монолитных железобетонных ростверков и диафрагм на завершающем этапе: 1 – призматические железобетонные сваи; 2 – существующий монолитный уголкового железобетонный ростверк; 3, 4 – грунтовые анкера ЭРТ; 5 – буроинъекционные сваи ЭРТ усиления основания; 6 – монолитные железобетонные контрфорсы; 7 – монолитный железобетонный ростверк

Результаты и проблематика

Согласно результатам инженерно-геологических изысканий площадка площадка строительства расположена в юго-восточной части жилого микрорайона «Радужный» Московского района г.Чебоксары.

В геоморфологическом отношении район изысканий занимает левый склон долины р. Чебоксарка, в подошве и средней части склона расчлененной густой сетью засыпаемых и засыпанных оврагов, с абсолютными отметками от 71.2 в пойме р. Чебоксарка до 112–116.0 м в северо-западной части площадки изысканий (юго-восточной части спланированной территории мкр. «Радужный»). Перепад высот составляет около 45,0 м. Общий уклон территории наблюдается в южном направлении – в сторону долины р. Чебоксарка. Инженерно-геологическое строение площадки до исследованной глубины (40,0 м) представлено толщей коренных пород северодвинского и вятского ярусов верхнепермского отдела ( $P3s+v$ ), перекрытых с поверхности четвертичными отложениями различного возраста и генезиса. Вся толща сверху перекрыта насыпными грунтами большой мощности ( $tQ_{IV}$ ).

Гидрогеологические условия площадки строительства до исследованной глубины (40,0 м) на период изысканий в августе 2018г. характеризуются наличием одного безнапорного горизонта подземных вод. Подземные воды вскрыты во всех скважинах на глубинах 0.2–23.8 м (абс. отметки 71.1–100.6 м) и приурочены к насыщенным грунтам  $tQ_{IV}$ , оползневым отложениям  $dpQ(P3s+v)$ , аллювиальным отложениям ( $aQ_{III}$ ), верхнепермским пескам мелким, пылеватым, средней крупности, водонасыщенным, песчаным прослоям в верхнепермских глинах и суглинках (алевритах) песчанистых и мергелях известковистых ( $P3s+v$ ). Водупором служат более плотные нижележащие верхнепермские глины ( $P3s+v$ ). Инженерно-геологический разрез с указанием вертикальной привязки существующей и вновь возводимой стенок приведен на рис. 2.

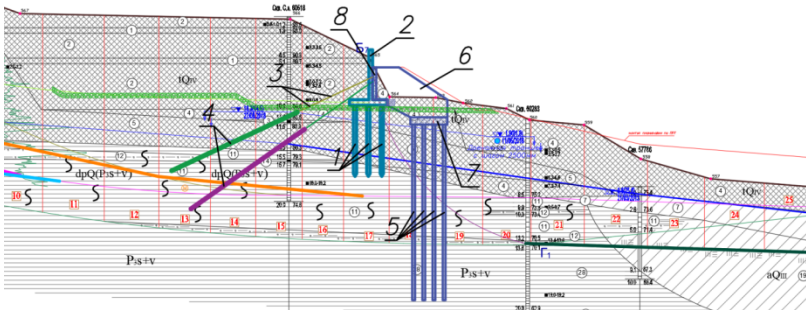
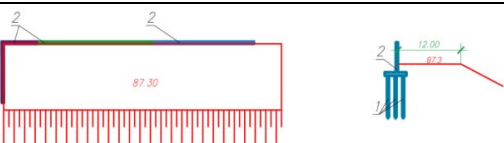
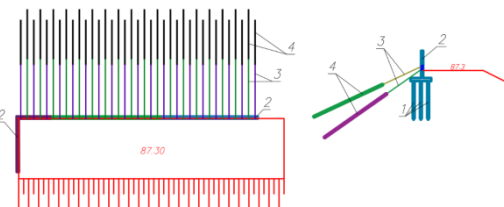


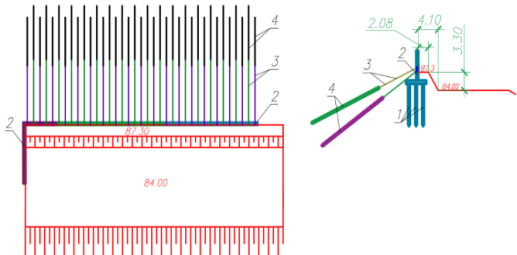
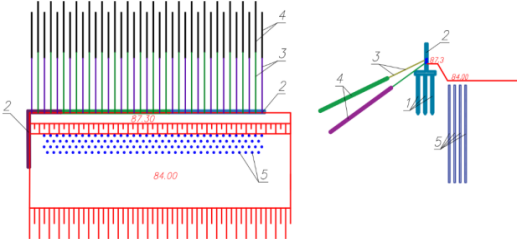
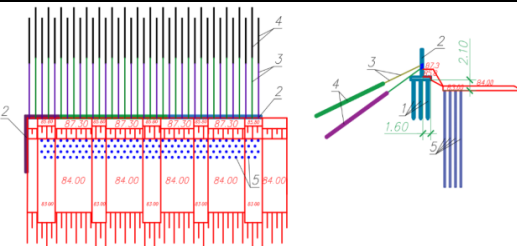
Рис. 2. Вертикальная привязка свайных фундаментов в инженерно-геологический разрез: 1 – свайное основание из призматических железобетонных свай под существующий 2 монолитный железобетонный уголкового ростверк; 3, 4 – грунтовые анкера ЭРТ (3 – анкерная тяга; 4 – корень анкера); 5 – буройнъекционные сваи ЭРТ усиления основания; 6 – монолитные железобетонные контрфорсы; 7 – монолитный железобетонный ростверк; 8 – пристенный линейный дренаж

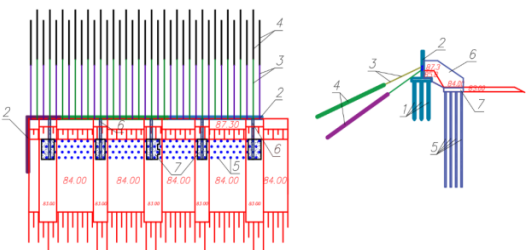
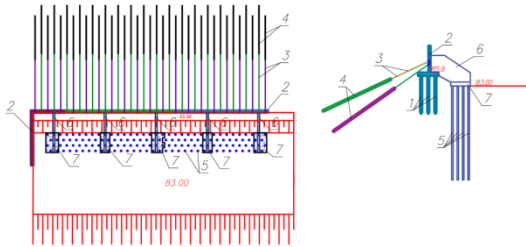
Для использования существующей подпорной стены с целью восприятия ею дополнительных возросших внешних нагрузок был разработан проект приспособления с устройством дополнительных заглубленных железо-бетонных конструкций с использованием буроинъекционных свай ЭРТ, грунтовых анкеров ЭРТ, монолитных железобетонных контрфорсов и превращения ее расчетной схемы из консольной в раскрепленную. Ниже в таблице 2 приводится алгоритм производства геотехнических работ, разделенный на этапы. Следует отметить, что их разделение на этапы связано с необходимостью обеспечения устойчивости склона при строительстве и создания безопасных условий производства работ.

Таблица 2  
Алгоритм производства геотехнических работ

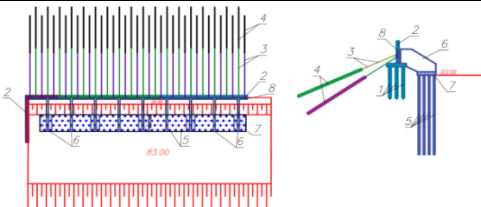

| №<br>№<br>п/п | Наименование<br>геотехнического<br>этапа                                   | Схема геотехнического этапа   |
|---------------|--|---|
| 1             | 2  | 3   |
| 1             | Устройство<br>бермы до отм.<br>87,3  |  <p>Схема устройства грунтовой бермы до отм. 87,3:<br/>1 – призматические железобетонные сваи; 2 – существующий монолитный уголкового железобетонный ростверк</p>  |
| 2             | Алмазное сверление отверстий, устройство и натяжение грунтовых анкеров ЭРТ |  <p>Схема сверления отверстий в ростверке для устройства и натяжения грунтовых анкеров ЭРТ:<br/>1 – призматические железобетонные сваи;<br/>2 – существующий монолитный уголкового железобетонный ростверк;<br/>3, 4 – грунтовые анкера ЭРТ</p> |

Продолжение таблицы 2

| 1 | 2   | 3  |
|---|---|--|
| 3 | Разработка грунта до отм. 84.0                                      |  <p>Схема разработки грунта до отм. 84.0:<br/>1 – призматические железобетонные сваи;<br/>2 – существующий монолитный угловой железобетонный ростверк;<br/>3, 4 – грунтовые анкера ЭРТ</p>  |
| 4 | Устройство буроинъекционных свай ЭРТ                                |  <p>Схема устройства грунтовых анкеров ЭРТ усиления существующих ростверков (3, 4) и буроинъекционных свай ЭРТ (5) усиления основания: 1 – призматические железобетонные сваи; 2 – существующий монолитный угловой железобетонный ростверк;<br/>3, 4 – грунтовые анкера ЭРТ</p> |
| 5 | Локальная разработка грунта в траншеях под ростверки до отм. 83.0 м |  <p>Схема к локальной разработке грунта в траншеях под ростверки до отм. 83.0 м: 1 – призматические железобетонные сваи; 2 – существующий монолитный угловой железобетонный ростверк;<br/>3, 4 – грунтовые анкера ЭРТ; 5 – буроинъекционные сваи ЭРТ усиления основания</p>   |

| 1 | 2  | 3   |
|---|--|---|
| 6 | Первый этап устройства монолитных железобетонных ростверков и диафрагм |  <p>Схема первого этапа устройства монолитных железобетонных ростверков и диафрагм:<br/> 1 – призматические железобетонные сваи;<br/> 2 – существующий монолитный уголкового железобетонный ростверк; 3, 4 – грунтовые анкера ЭРТ; 5 – буро-инъекционные сваи ЭРТ усиления основания; 6 – монолитные железобетонные контрфорсы; 7 – монолитный железобетонный ростверк</p> |
| 7 | Разработка грунта до отм. 83.0 м                                       |  <p>Схема разработки грунта до отметки 83.0:<br/> 1 – призматические железобетонные сваи;<br/> 2 – существующий монолитный уголкового железобетонный ростверк; 3, 4 – грунтовые анкера ЭРТ; 5 – буроинъекционные сваи ЭРТ усиления основания; 6 – монолитные железобетонные контрфорсы; 7 – монолитный железобетонный ростверк</p>   |

Окончание таблицы 2

| 1 | 2  | 3   |
|---|--|---|
| 8 | Завершение устройства монолитных железобетонных ростверков и диафрагм                                    |  <p>Схема устройства монолитных железобетонных ростверков и диафрагм на завершающем этапе: 1 – призматические железобетонные сваи; 2 – существующий монолитный угловой железобетонный ростверк; 3, 4 – грунтовые анкера ЭРТ; 5 – буроинъекционные сваи ЭРТ усиления основания; 6 – монолитные железобетонные контрфорсы; 7 – монолитный железобетонный ростверк</p>  |
| 9 | Устройство дренажа, засыпка пазух монолитной железобетонной угловой подпорной стенки, планировка участка |  <p>Схема устройства пристенного линейного дренажа, засыпки пазух подпорной стены и планировки участка: 1 – призматические железобетонные сваи; 2 – существующий монолитный угловой железобетонный ростверк; 3, 4 – грунтовые анкера ЭРТ; 5 – буроинъекционные сваи ЭРТ усиления основания; 6 – монолитные железобетонные контрфорсы; 7 – монолитный железобетонный ростверк; 8 – пристенный линейный дренаж</p> |

### Заключение

1. Рассмотренный в статье подход приспособления существующей удерживающей конструкции с использованием буроинъекционных свай ЭРТ, грунтовых анкеров ЭРТ и монолитных железобетонных контрфорсов создать совершенно новую удерживающую раскрепленную подпорную стену.

2. Вновь запроектированная и возведенная подпорная стена позволила обеспечить устойчивость перегруженного основания и создала условия безопасного производства работ.

### Список литературы

1. Cai, F., Ugal, K. 2000. Numerical analysis of the stability of a slope reinforced with piles. Soils and Foundations 40 (1). P. 73–84.
2. Ilichev V.A., Mangushev R.A., Nikiforova N.S. Opyt osvoeniya podzemnogo prostranstva rossijskikh megapolisov [Experience Of Development Of Russian Megacities Underground Space]. Osnovaniya, fundamente i mekhanika gruntov [Soil Mechanics and Foundation Engineering], 2012, no. 2, pp. 17–20.

3. Ulickij V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Geotekhnicheskoe soprovozhdenie razvitiya gorodov [Geotechnical Support of Urban Development]. St. Petersburg, Georeconstruction Publ., 2010. 551 p.

4. Ilichev V.A. Deformations of the Retaining Structures Upon Deep Excavations in Moscow / V.A. Ilyichev, P.A. Kononov, N.S. Nikiforova, L.A. Bulgakov // Proc. Of Fifth Int. Conf on Case Histories in Geotechnical Engineering, April 3–17. – New York, 2004. – P. 5–24.

5. Ilyichev V.A. Computing the evaluation of deformations of the buildings located near deep foundation trenches / V.A. Ilyichev, N.S. Nikiforova, E.B. Koreneva // Proc. of the XVIth European conf. on soil mechanics and geotechnical engineering. Madrid, Spain, 24–27th September 2007 «Geo-technical Engineering in urban Environments»... Volume 2. – P. 581–585.

6. Nikiforova N.S. Geotechnical cut-off diaphragms for built-up area protection in urban underground development / N.S. Nikiforova, D.A. Vnukov // The pros. of the 7th Int. Symp. "Geotechnical aspects of underground construction in soft ground", 16–18 May, 2011, 1c28 IS Roma, AGI, 2011, № 157NIK.

7. Petrukhin V.P. Effect of geotechnical work on settlement of surrounding buildings at underground construction / V.P. Petrukhin, O.A. Shuljatjev, O.A. Mozgacheva // Proceedings of the 13th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Prague, 2003.

8. Sokolov N.S. Ground Anchor Produced by Elektric Discharge Technology, as Reinforced Concrete Structure // Журнал в базе данных Scopus-"Key Engineering Materials". 2018. P. 76–81.

9. Sokolov N.S. Use of the Piles of Effective Type in Geotechnical Construction // Журнал в базе данных Scopus-"Key Engineering Materials". 2018. P. 70–74.

10. 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. C.1–11.

11. Соколов Н.С. Критерии экономической эффективности использования буровых свай / Н.С. Соколов // Жилищное строительство. – 2017. – №5. – С. 34–37.

12. Sokolov N.S. Pushkarev A.E., Evtukov S.A. Methods and technology of ensuring stability of landslide slope using soil anchors. В сборнике: Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations. Proceedings of the International Conference on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures. Technologies and Calculations, GFAC 2019. 2019. C. 347–350.

13. Sokolov, N. Foundation with increased load bearing base capacity / N. Sokolov, B. Mikhailov, S. Viktorova // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021) : 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, 21–28 апреля 2021 года. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 3015.

Соколов Николай Сергеевич – зав. кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства» ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», директор ООО НПФ «ФОРСТ», канд. техн. наук, доцент, член РОМГТИФ и ISSMGE, г.Чебоксары, e-mail: ns\_sokolov@mail.ru

Теславский Сергей Сергеевич – аспирант ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», ассистент кафедры «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства» ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова».

Федоров Павел Юрьевич – ассистент кафедры «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства» ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова».

Sokolov N.S., Head of the Department of "Construction technologies, geotechnics and construction economics" in Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "I.N. Ulianov Chuvash State University", Director of OOO NPF "FORST", Candidate of Sciences (Engineering), Docent, member of RSMGE, Cheboksary, e-mail: ns\_sokolov@mail.ru

Teslavsky Sergey Sergeevich, graduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "CSU named after I.N. Ulyanova", assistant of the department of "Construction technologies, geotechnics and construction economics" of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "CSU named after I.N. Ulyanov".

Fedorov Pavel Yuryevich, assistant at the Department of Construction Technologies, Geotechnics and Construction Economics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "CSU named after I.N. Ulyanov".

УДК 624.012.2

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*С.А. Чечнёв  
Е.М. Чечнёва  
В.А. Иванов*

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»  
г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** статья посвящена аспектам моделирования каменной кладки в современных расчетных комплексах методом конечных элементов.

**Ключевые слова:** каменная кладка, КЭ модель, модуль упругости, критерий прочности, анизотропия, разрушение кладки, усиление.

## CURRENT ISSUES OF MODELING STONE STRUCTURES

**Abstract:** the article is devoted to the aspects of modeling stone clay in modern computational complexes by the finite element method.

**Keywords:** masonry, CE model, modulus of elasticity, strength criterion, anisotropy, masonry destruction, reinforcement.

### Введение

Современные запросы архитектуры на повышение комфортабельности и многофункциональности проектируемых жилых комплексов неизбежно приводят инженеров к применению нестандартных решений и комбинированных (смешанных, н-р, монолитный «низ» и кирпичный «верх») конструктивных схем зданий. Монолитный железобетон и кирпичная кладка, имеющие различные физико-механические характеристики по прочности и деформациям, не всегда корректно увязываются в



единой расчетной конечно-элементной (КЭ) модели. Остается актуальным вопрос оптимальной оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) кирпичной кладки в «зоне контакта» двух материалов [8–9].

### Материал и методы исследований

В рамках исследования рассмотрены и проанализированы современные методики и подходы к моделированию каменных конструкций и кирпичной кладки. Следует обозначить три основных направления исследования обозначенного вопроса.

В первую очередь внимание необходимо уделить основным положениям (допущениям), принимаемым при составлении КЭ моделей кирпичных зданий.

Во-вторых, предполагается обратиться к вопросам учёта в расчетах КЭ моделей кирпичных зданий анизотропии кладки и критерия прочности, а также ознакомиться с существующими методиками моделирования разрушения кладки в расчетных комплексах.

В-третьих, имеет смысл осветить состояние вопроса КЭ моделирования усиления каменных конструкций.

### Результаты и проблематика

Каменная кладка – упруго-пластичный материал. Различают следующие виды деформаций, возникающих в кладке: упругие, кратковременные и деформации при длительном нагружении. Зависимость между напряжениями и деформациями криволинейна, т. е. фактический модуль деформации является переменной величиной и абсолютно зависит от материалов кладки. Согласно [1], [3], диаграмма деформирования каменной кладки представлена на рис. 1. На второй диаграмме касательная «1» – начальный модуль деформации, «2» – фактический модуль, «3» – средний модуль.

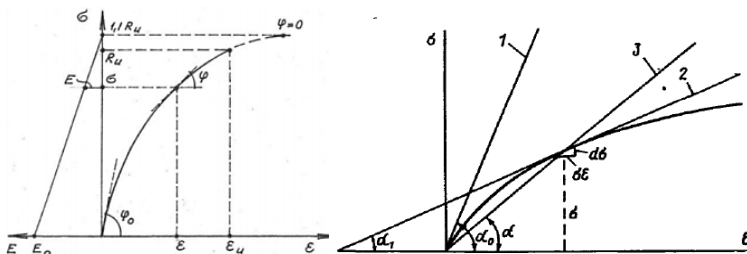


Рис. 1. Диаграмма деформирования каменной кладки

При составлении корректных расчетных КЭ моделей кирпичных зданий необходимо придерживаться основных положений [2]: моделирование шарнирного опирания перекрытий на кладку; допущение упругого сопряжения смежных стен; учёт моментов от эксцентриситетов опирания перекрытий и изменения толщины стены по высоте; исключение из силовой работы участков между проемами (над и под проемами) из-за возможного образования не учитываемых трещин.

В качестве результатов расчета КЭ моделей для дальнейшего анализа НДС кладки имеет смысл использовать только мембранные составляющие напряжений  $N_x$  или  $N_y$ , а моменты от эксцентриситетов нагрузок добавлять к ним отдельно.

Следует отметить, что в современных расчетных комплексах не производится проверка прочности каменных элементов в условиях плоского напряженного состояния (по критерию прочности Г.А. Гениева, [7]). Наличие данной возможности значительно ускорило бы процесс анализа НДС кладки. Определение положения полученного по результатам расчета НДС на диаграмме критерия прочности кладки (расположено в закрашенном контуре или нет) однозначно определяет достаточную несущую способность каменного элемента (рис.2). Прямая «1» выражает критерий  $-R \leq \sigma_1$ , прямая «2» критерий  $-R \leq \sigma_3$ , прямая «3» критерий  $\tau_{1-3} \leq R_{sq}(\alpha) - \mu(\alpha)\sigma_{1-3}$ , прямая «4» критерий  $|\tau_{xz}| \leq R_{sq}(\alpha) - \mu\sigma_z$ .

Обращаясь к вопросу анизотропии каменной кладки, можно привести данные [4]. Испытание образцов из полнотелого кирпича показало проявление ярких анизотропных свойств, результаты испытания приведены в табл. 1. Учет данного параметра деформационных свойств кладки также не реализован в расчетных комплексах при анализе сжатых элементов.

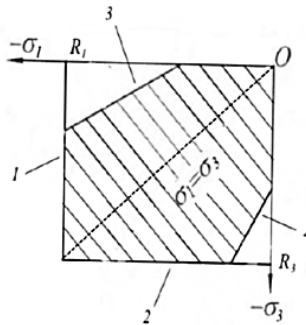


Рис. 2. Критерий прочности каменной кладки по Г.А. Гениеву

Таблица 1

Отношение прочностей и модулей упругости каменной кладки при сжатии поперек и вдоль растворных швов

| Номер образца | Прочность кладки при сжатии |                 | Rп/Rв | Модуль упругости кладки при сжатии |                 | Еп/Ев |
|---------------|-----------------------------|-----------------|-------|------------------------------------|-----------------|-------|
|               | Поперек швов, МПа           | Вдоль швов, МПа |       | Поперек швов, МПа                  | Вдоль швов, МПа |       |
| 1             | 15,5                        | 8,58            | 1,81  | 11146                              | 9830            | 1,13  |
| 2             | 13,13                       | 7,16            | 1,83  | 10677                              | 8450            | 1,26  |
| 3             | 9,54                        | 5,09            | 1,87  | 6454                               | 5150            | 1,25  |

Корректное КЭ моделирование процесса разрушения каменной кладки в одном из исследований [5] основано, как раз, на использовании анизотропной среды, наделенной эффективными свойствами, которые зависят от соотношения жесткостных характеристик компонентов кирпича и раствора. Полученные диаграммы деформирования (рис. 3) хорошо увязываются с данными натурного испытания.

Стоит обратить внимание на опыт КЭ моделирования усиления каменных элементов объемными КЭ [6], в котором обеспечивается совместность работы усиливаемого образца и элементов усиления. Наиболее близкий к экспериментальному график деформирования получен для модели с усилением, заданным через процент армирования объемного КЭ (рис. 4). График «2» – деформирование экспериментального образца без усиления, график «1» – деформирование смоделированного образца без усиления, график «8» – деформирование смоделированного образца с усилением, заданным через процент армирования объемного КЭ.

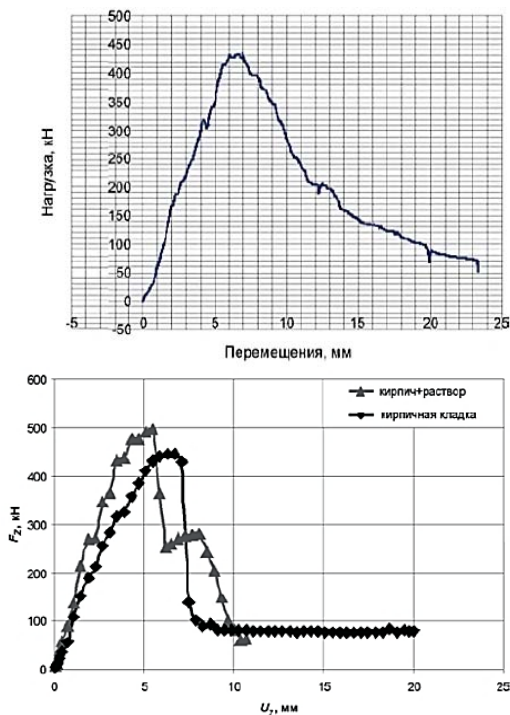


Рис. 3. Экспериментальная диаграмма деформирования (слева) каменной кладки и расчетная (справа)

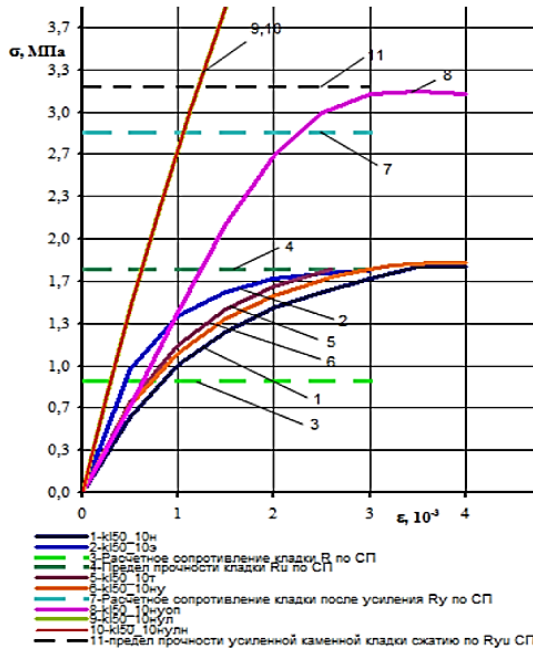


Рис. 4. Графики деформирования образцов

### Заключение

Подводя итог, можно выделить следующие моменты.

1. Расчет КЭ моделей каменных зданий в основной массе производится только для упругой стадии работы каменной кладки.
2. При формировании расчетной КЭ модели для получения наиболее корректных результатов НДС кладки требуется знание фактических деформативных характеристик кладки и их изменения по мере увеличения нагрузки.
3. Построение КЭ моделей необходимо вести в соответствии с основными положениями [2] в части моделирования шарнирного опирания плит, учета эксцентриситета нагрузок, назначения упругого сопряжения смежных стен и т. д.
4. Для анализа НДС кладки из результатов расчет КЭ модели имеет смысл использовать только мембранные составляющие напряжений пластин  $N_x$  или  $N_y$ .
5. В расчетных комплексах отсутствует проверка прочности каменных элементов в условиях плоского напряженного состояния (не применяются критерии прочности).
6. При статическом расчете каменных конструкций по прочности на сжатие, рекомендуется учитывать анизотропию деформационных свойств

кладки (разница в прочности при сжатии параллельно и перпендикулярно горизонтальным швам до 81–87%). Корректное моделирование процесса разрушения кладки также рекомендуется выполнять в анизотропной среде.

7. Моделирование каменной кладки объемными КЭ достоверно описывает НДС при центральном сжатии. Моделирование усиления каменной кладки при центральном сжатии стальной облойкой из уголков рекомендуется выполнять методом корректировки процента армирования объемных КЭ.

#### *Список литературы*

1. СП15.13330.2020 Каменные и армокаменные конструкции. – М.: Минстрой РФ, 2020. – 124 с.
2. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций к СНиП II-22-81\* (СП 15.13330). – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 150 с.
3. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Часть 1-1: Общие правила для армированных и неармированных конструкций. СТБ EN 1996-1-1-2008. – Минск: Госстандарт, 2009. – 127с.
4. Деркач В.Н. Анизотропия деформационных свойств кладки / В.Н. Деркач // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2011. – №1 (117). – С. 201–206.
5. Кашеварова Г.Г. Моделирование процесса разрушения каменной кладки / Г.Г. Кашеварова, А.Ю. Зобачева // Construction and Geotechnics. – 2010. – №1. – С. 106–113.
6. Богуцкий Ю.Г. Моделирование усиления каменной кладки на ПК «ЛИРА-САПР» / Ю.Г. Богуцкий // Строительство и техногенная безопасность. – 2018. – №10 (62). – С. 49–53.
7. Гениев Г.А. Вопросы прочности и пластичности анизотропных материалов / Г.А. Гениев. – М.: Интербук, 1993. – 187 с.
8. Плотников А.Н. Несущая способность армированной каменной кладки при центральном сжатии на основе деформационных параметров ее компонент / А.Н. Плотников, Т.В. Романова, Б.В. Михайлов [и др.] // Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020 : Материалы V Международной (XI Всероссийской) конференции (Чебоксары, 25–26 ноября 2020 г.). – Чебоксары: Среда, 2020. – С. 183–197.
9. Rearing Capacity of Reinforced Masonry Under Central Compression Based on the Deformation Parameters of Its Components / A.N. Plotnikov, T.V. Romanova, B.V. Mikhailov [et al.] // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 197. – P. 121–134. – DOI 10.1007/978-981-16-6593-6\_14.

Чечнёв Сергей Алексеевич – магистрант кафедры строительных конструкций, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, 428015, г. Чебоксары, Московский пр., 15; e-mail: sergo\_16\_1987@mail.ru

Чечнёва Елена Михайловна – старший преподаватель кафедры архитектуры и дизайна среды, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, 428015, г. Чебоксары, Московский пр., 15.

Иванов Виктор Анатольевич – старший преподаватель кафедры строительных конструкций, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия, e-mail: 2605viktor@mail.ru

Chechnev Sergey Alekseevich, Undergraduate student of the Department of Building Structures, I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, 428015, Cheboksary, Moskovsky Ave., 15; e-mail: sergo\_16\_1987@mail.ru

Chechneva Elena Mikhailovna, Senior Lecturer at the Department of Architecture and Environmental Design, I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, 428015, Cheboksary, Moskovsky Ave., 15.

Ivanov Viktor Anatolyevich, Senior Lecturer, Department of Building Structures, Chuvash State University named after I.N. Ulyanova, Cheboksary, Russia, e-mail: 2605viktor@mail.ru

УДК 622.2

## **МЕТОД И УСТРОЙСТВО КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК АНКЕРНЫМ ФРИКЦИОННЫМ КРЕПЛЕНИЕМ ТИПА «SPLIT SET»**

**А.П. Яковлев**

**С.В. Францев**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** в данной работе уделено внимание комплексной механизации возведения анкерной крепи. В отечественной практике горных работ имеется ограниченный опыт применения анкеров этого типа, но мировой опыт позволяет считать анкера Split Set перспективным типом крепи.

**Ключевые слова:** анкерная крепь, крепление типа Split Set, опорная плита.

## **METHOD AND DEVICE FOR ANCHORING MINING WORKS WITH ANCHOR FRICTIONAL FASTENING OF THE “SPLIT SET” TYPE**

**Annotation:** in this work, attention is paid to the complex mechanization of the construction of roof bolts. In domestic mining practice there is limited experience in using anchors of this type, but world experience allows us to consider Split Set anchors as a promising type of support.

**Key words:** anchorage, Split Set fastening, base plate.

### **Введение**

Актуальность данной работы заключается в экономической целесообразности, а также безопасности выполнения работ по креплению выработки при использовании именно этого типа анкерной крепи.

В отличие от других видов крепи анкерная крепь (система анкеров) армирует породный массив в зоне, непосредственно примыкающей к выработке, и, используя несущую способность приконтурных пород, создает систему «крепь-порода» [1].

С помощью анкеров скрепляют отдельные слои и толщи пород и обеспечивают их совместную работу без опасных деформаций и обрушений [2–11]. Когда непосредственная кровля выработки представляет собой слоистые породы небольшой мощности, а основная кровля – породы средней и значительной прочности, непосредственную кровлю «подшивают» анкерами к основной кровле. Непосредственную кровлю в виде отдельных слоев породы также «сшивают» анкерами в одну плиту, которая способна воспринимать нагрузки вышележащих пород. Таким образом, анкерная крепь обеспечивает возможность максимально использовать несущую способность пород вокруг горных выработок. В отечественной и зарубежной горной практике известно более 600 различных конструкций металлических, деревянных, железобетонных, полимерных, бамбуковых, канатных и других анкеров.

Анкерная фрикционная крепь типа «Split Set» представляет собой стальную трубку различного диаметра и длины с прорезью, один конец которой заужен. К другому концу приварен кольцевой фланец для поддержания несущей пластины анкера.

#### Материал и методы исследований

Необходимая длина анкера определяется высотой свода обрушения  $h_{св}$ , высотой свода выработки  $h_{св}$  и длиной замковой  $l_3$  и выступающей в выработку  $l_в$  частей:

$$l_a = l_p + l_3 + l_в, \quad (1)$$

где  $l_p$  – длина рабочей части анкера, определяемая мощностью обрушаемой толщи  $h_0$ , м:

$$l_p = h_0 = h_{св} - h_{св.в} = h_{св} - h_в + h_{ст}, \quad (2)$$

$h_{св.в}$  – высота свода выработки, м;

$h_в$  – высота выработки, м;

$h_{ст}$  – высота стенок выработки, м;

$h_{св}$  – высота свода естественного равновесия, м;

$l_3$  – длина закрепления анкера выше контура свода естественного равновесия, м;

$l_в$  – выступающая внутрь горной выработки часть анкера, принимаемая равной 0,05–0,10 м.

Несущая способность анкера определяется как минимум прочности закрепления анкера в бетоне или смоле Рб (если требуется), закрепления бетонной (полимерной) штанги в шпуре Ршп (если требуется) и прочности анкера на растяжение Рр:

$$P_{ш} = \min[P_б, P_{шп}, P_p]. \quad (3)$$

Уточняющий расчет параметров анкерной крепи одинаков для всех способов закрепления и производится следующим образом:

На практике обычно применяется квадратная сетка, и расстояние  $l_k$  между анкерами рассчитывается по формуле:

$$l_k = \sqrt{\frac{P_{ш}}{P_{св} \cdot K_3}}, \quad (4)$$

где:  $P_{ш}$  – несущая способность анкера;  $K_3$  – коэффициент запаса, равный 1,2–1,5 (1,2 – для нарезных, 1,5 – для горнокапитальных выработок и сопряжений);

$P_{св}$  – вес пород в своде обрушения на 1 пог. м.

При этом должно выполняться требование  $l_k \leq l_p$  (трещиноватых породах требование ужесточается: для пород средней устойчивости  $l_k \leq 0,7l_p$ , для неустойчивых  $l_k \leq 0,5l_p$ ), где  $l_p$  – длина рабочей части анкера.

Расчетное удельное давление пород свода естественного равновесия на анкры рассчитывается следующим образом:

$$P_{св} = \frac{2}{3} h_{св} \gamma, \quad (5)$$

где  $\gamma$  – объемный вес пород,  $\gamma=2,8 - 3,8$  т/м<sup>3</sup>;

$h_{св}$  – высота свода обрушения, зависящая от расчетной ширины выработки и прочности пород в массиве:

$$h_{св} = k_{св} B, \quad (6)$$

где  $B$  – расчетная ширина выработки, м;

$k_{св}$  – коэффициент свода (табл. 2.7).

При расчете крепления выработок расчетной шириной является пролет выработки, при расчете крепи сопряжений расчетная ширина сопряжений принимается следующим образом:

– для двух пересекающихся выработок;

$$B_c = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}, \quad (7)$$

где  $B_1$  и  $B_2$  – фактическая ширина пересекающихся выработок, м;

– для одностороннего примыкания;

$$B_c = \sqrt{B_1^2 + 0,5B_2^2} \quad (8)$$

где  $B_1$  – фактическая ширина основной выработки, м;

$B_2$  – фактическая ширина примыкающей выработки, м.

Весовые характеристики анкерной фрикционной крепи типа «Split Set» представлены в табл. 1.



Таблица 1

Весовые характеристики анкерной фрикционной  
крепё типа «Split Set»

| Длина, мм | Тип стержня        |              |
|-----------|--------------------|--------------|
|           | Стандартный черный | Оцинкованный |
|           | Вес, кг            |              |
| <i>l</i>  | 2                  | 3            |
| SS-33     |                    |              |
| 762       | 1,2                | 1,3          |
| 914       | 1,4                | 1,5          |
| 1067      | 1,7                | 1,8          |
| 1219      | 2,0                | 2,1          |
| 1524      | 2,4                | 2,6          |
| 1676      | 2,6                | 2,8          |
| 1753      | 2,8                | 3,0          |
| 1829      | 2,9                | 3,1          |
| 2134      | 3,4                | 3,6          |
| 2438      | 3,8                | 4,1          |
| SS-39     |                    |              |
| 762       | 1,4                | 1,5          |
| 914       | 1,7                | 1,8          |
| 1067      | 2,0                | 2,2          |
| 1219      | 2,2                | 2,4          |
| 1524      | 2,7                | 3,0          |
| 1676      | 3,0                | 3,3          |
| 1829      | 3,3                | 3,6          |
| 2134      | 3,9                | 4,1          |
| 2438      | 4,4                | 4,7          |
| 2743      | 5,0                | 5,3          |
| 3048      | 5,5                | 5,9          |
| SS-46     |                    |              |
| 914       | 2,6                | 2,7          |
| 1067      | 3,0                | 3,1          |
| 1219      | 3,5                | 3,6          |
| 1524      | 4,3                | 4,5          |

Окончание таблицы 1

| 1    | 2    | 3    |
|------|------|------|
| 1829 | 5,1  | 5,4  |
| 1981 | 5,5  | 5,8  |
| 2134 | 6,0  | 6,3  |
| 2286 | 6,4  | 6,7  |
| 2438 | 6,8  | 7,1  |
| 2591 | 7,2  | 7,6  |
| 2743 | 7,6  | 8,0  |
| 2896 | 8,1  | 8,5  |
| 3048 | 8,5  | 8,9  |
| 3200 | 8,9  | 9,4  |
| 3353 | 9,4  | 9,8  |
| 3505 | 9,8  | 10,3 |
| 3658 | 10,2 | 10,7 |

### Результаты и проблематика

Назначение и область применения самозакрепляющихся анкеров типа «Split Set»:

- анкерная фрикционная крепь предназначена для крепления подземных горных выработок за счет распора сжатого по продольной разрезной щели анкера в шпуре меньшего диаметра;

- предотвращение обрушения кровли при закреплении разрезными трубчатыми анкерами достигается тем, что скрепленные слои работают совместно, как монолитная плита;

- анкерная фрикционная крепь применяется в качестве временной крепи в капитальных горных выработках и постоянной крепи для подготовительных и очистных, проводимых в неустойчивых и средней устойчивости породах;

- неустойчивые, подверженные расслоению и вывалам породы необходимо крепить комбинированной крепью – анкерной фрикционной крепью в сочетании с металлической сеткой, армокаркасом или набрызгбетоном.

Данный анкер устанавливается в отверстие немного меньше, чем диаметр трубки. При установке анкера, его диаметр уменьшается (рис. 1). Радиальные силы по длине анкера с массивом, обеспечивают плотный контакт.

В комплект анкеров входит опорная шайба, которая обеспечивает их несущую способность.

Опорная плита анкерной фрикционной крепи типа «Split Set» комбинированного типа Combi Plate представляет собой плиту, совмещенную с плитой Dom Plate (рис. 2).

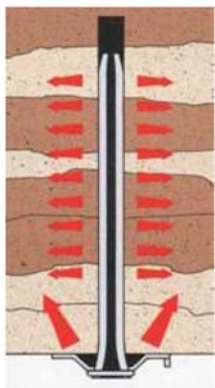


Рис. 1. Вид анкерной фрикционной крепи типа «Split Set»



Рис. 2. Опорные плиты для анкера типа «Split Set»:  
а) опорная плита типа Dom Plate; б) комбинированная опорная плита типа Combi Plate

Варианты опорных плит для анкерной фрикционной крепи типа «Split Set» представлены в табл. 2.

Опорная плита с загнутыми краями типа «Meshing Plate» специально разработана для крепления анкеров в комбинации с сеткой, чтобы края пластин не повреждали сетку (рис. 3). Размеры пластин для SS-46 200 мм × 200 мм × 4 мм, для SS-33 330 мм × 280 мм × 4 мм.

Таблица 2

Варианты опорных плит для анкерной фрикционной крепи типа «Split Set»

| Вариант плиты | Размеры опорной плиты типа Combi Plate, мм | Размеры опорной плиты типа Dom Plate, мм |
|---------------|--|--|
| 1             | 2  | 3  |
| SS-33         |  |  |
| 1             | 300 мм×280 мм×1.6 мм                       | 150 мм×150 мм×4 мм                       |
| 2             | 300 мм×280 мм×1,65 мм                      | 125 мм×125 мм×4 мм                       |

Окончание таблицы 1

| 1             | 2                    | 3                  |
|---------------|----------------------|--------------------|
| Вес плиты, кг | 1,6-1,65             | 0,4(0,5)-0,7(0,8)  |
| SS-39         |                      |                    |
| 1             | 300 мм×280 мм×1,5 мм | 150 мм×150 мм×4 мм |
| 2             | 300 мм×280 мм×1,6 мм | 125 мм×125 мм×4 мм |
| Вес плиты, кг | 1,5-1,6              | 0,4(0,5)-0,7(0,8)  |
| SS-46         |                      |                    |
| 1             | 300 мм×280 мм×1,9 мм | 150 мм×150 мм×4 мм |
| 2             | 300 мм×280 мм×1,6 мм | 125 мм×125 мм×4 мм |
| Вес плиты, кг | 2,0                  | 0,4(0,5)-0,8(0,9)  |

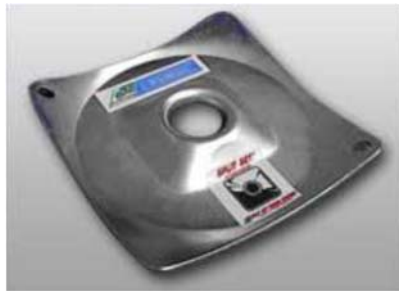


Рис. 3. Опорная плита для анкера типа «Split Set» при варианте крепления с сеткой

Для изготовления анкеров типа «Split Set» используют высокопластичную сталь с пределом текучести около 490 МПа, что отвечает свойствам легированных сталей марки 15Х или 15ХА, выпускаемых по ГОСТу 4543-71. Толщина стенки трубы анкера составляет 2–3 мм.

Трубы и опорные пластины производятся окрашенные в черный цвет или оцинкованные. Штамп на трубке показывает размер, дату, место изготовления и марку стали.

### Заключение

Анкерная фрикционная крепь обладает следующими преимуществами:

- простота исполнения, он состоит лишь из трубки с продольной щелью и анкерной шайбы;
- ошибки при установке, которые могли бы повлечь за собой выход анкера из строя – исключены;
- он менее металлоемок, по сравнению с клиновой штангой;
- в отличие от анкеров закрепленные химическим составом трубчатые анкера не требуют при установке наличия специальных средств защиты (очки, перчатки);

- при установке анкеров применяются обычные, распространенные на предприятии буровые машины и оборудование;
- фрикционный самозакрепляющийся анкер является анкером мгновенного действия.

**Список литературы**

1. Инструкция по применению анкерной крепи на рудниках ОАО «Уралкалий». – Пермь, 2008.
2. Нестерова С.Ю. Основы горного дела. (Общий курс. Строительная геотехнология): курс лекций / С.Ю. Нестерова. – Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. – 100 с.
3. Правила технической эксплуатации рудников, приисков и шахт, разрабатывающих месторождения цветных, редких и драгоценных металлов.
4. Федеральный закон РФ от 21.07.1997 года № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
5. Постановление Правительства РФ от 10 марта 1999 года №263 (с изменениями на 25 октября 2019 года) «Об организации и осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасном производственном объекте».
6. СП 69.13330.2016 «Подземные горные выработки. Актуализированная редакция» СНиП 3.02.03-84.
7. СП 91.13330.2012 «Подземные горные выработки». Актуализированная редакция СНиП II-94-80.
8. Правила технической эксплуатации рудников, приисков и шахт, разрабатывающих месторождения цветных редких и драгоценных металлов. – М.: Недра, 1981. – 109 с.
9. РД 06-627-03 «Методические рекомендации о порядке разработки, согласования и утверждения регламентов технологических производственных процессов при ведении горных работ подземным способом».
10. ГОСТ 31559-2012 «Крепи анкерные. Общие технические условия».
11. Сергеев С.В. Перспективные методы контроля деформирования закладочного массива при слоевой системе разработки богатых железных руд / С.В. Сергеев, Д.А. Зайцев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2011. – № 1. – С. 365–370.

Яковлев Алексей Петрович – канд. экон. наук, доцент кафедры строительных технологий, геотехники и экономики в строительстве Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия.

Францев Сергей Валерьевич – магистрант кафедры строительных технологий, геотехники и экономики в строительстве Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия.

Yakovlev Alexey Petrovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Technologies, Geotechnics and Economics in Construction I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia.

Frantsev Sergey Valeryevich, Master's student of the Department of Construction Technologies, Geotechnics and Economics in Construction I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia.

УДК 69.055

## МОДЕЛЬ МЕХАНИЗМА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СТРОИТЕЛЬСТВА В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

**А.П. Яковлев,  
Е.Ю. Шерняев**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»  
г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** в настоящее время процесс возведения зданий и сооружений в стесненных условиях городской застройки тесно связан с предварительной подготовкой территории строительной площадки, инженерной подготовкой территории, что явилось толчком к оценке стесненности строительной инфраструктуры. В рамках настоящего исследования автору предстоит разработать модель механизма организационно-технологического процесса строительства в стесненных условиях. Отличительной чертой предлагаемого механизма являются его гибкая стратегия и высокий потенциал для конкретных организационно-технологических решений. Представим модель механизма и опишем шаги по ее применению. Методология предлагаемого механизма основана на принципах оценки последовательного этапа такого строительства.

**Ключевые слова:** стесненные условия, городская застройка, модель механизма, организационно-технологический процесс, управление, контроль, мониторинг.

## A MODEL OF THE MECHANISM OF THE ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL PROCESS OF CONSTRUCTION IN CRAMPED CONDITIONS

**Abstract:** currently, the process of erecting buildings and structures in cramped urban conditions is closely related to the preliminary preparation of the construction site, engineering preparation of the territory, which was the impetus for the assessment of the tightness of the construction infrastructure. Within the framework of this study, the author will have to develop a model of the mechanism of the organizational and technological process of construction in cramped conditions. A distinctive feature of the proposed mechanism is its flexible strategy and high potential for specific organizational and technological solutions. Let's present a model of the mechanism and describe the steps for its application. The methodology of the proposed mechanism is based on the principles of evaluating the sequential stage of such construction.

**Keywords:** cramped conditions, urban development, mechanism model, organizational and technological process, management, control, monitoring.

### **Введение**

Для создания модели механизма организационно-технологического процесса строительства в стесненных условиях необходимо выполнить следующие действия.

1. Определить цели использования механизма. На первом этапе предварительной подготовки территории строительной площадки определяет цели использования механизма обеспечения инженерной подготовки территории строительной площадки, формирование бытовых городков, согласование, экспертиза и утверждение проектной документации. Цели подразделяются в соответствии с направленностью на аналитические, управленческие и общественные. Примеры определения потенциальных целей по строительству сооружений в стесненных условиях представлены далее в разделе.

2. Определить масштаб проводимого исследования. Масштаб может быть различным и зависит от целей и задач исследования, которые включают: анализ организационно-технологической основы и методы подготовки к строительству: оценка потенциала строительства, анализ рисков строительства; организационно-технологические решения подготовки к строительству, Технологическая последовательность производства работ. Перечень мероприятий, обеспечивающих выполнение нормативных требований охраны труда, обмен передовыми технологиями и методами, обучение специалистов.

3. Определить сроки проводимого исследования. При определении сроков предварительного анализа объект строительства может принимать во внимание факторы, в виде изменения технологической последовательности производства работ, перечня мероприятий, обеспечивающих выполнение нормативных требований охраны труда.

4. Сформировать портфолио исследования. Комплексная оценка деятельности работников, на предмет соответствия принципам устойчивого строительства предполагает анализ нескольких направлений, включая финансовую сторону, развитие стратегии, управление рисками и т. д.

### **Материал и методы исследований**

Портфолио исследования организационно-технологического процесса строительства в стесненных условиях представлено в таблице 1.

Таблица 1

Портфолио для исследования механизма  
организационно-технологического процесса строительства  
в стесненных условиях

| Наименование            | Характеристика  |
|-------------------------|---|
| <i>1</i>                | <i>2</i>  |
| Название исследования   | анализ и оценка механизма организационно-технологического процесса строительства в стесненных условиях  |
| Цель исследования       | изучить текущее состояние территории под застройку с учётом модернизации инженерного обеспечения; определить перспективы и потенциал строительства в стесненных условиях; выявить проблемы и препятствия по строительству сооружений в стесненных условиях; предложить рекомендации для улучшения принятия организационно-технологических решений подготовки к строительству  |
| Методы исследования     | анализ статистических данных и отчетов о деятельности строительной организации; опыт экспертов и специалистов в области застройки в стесненных условиях; сравнительный анализ сопоставимых работ по строительству в стесненных условиях; согласование, экспертиза и утверждение проектной документации; описание выбранных методов исследования (например, анализ лифтовых схем, моделирование строительных процессов, экспертные оценки и т. д.) |
| Результаты исследования | определение текущего состояния территории строительной площадки, основные этапы объекта строительства; проведение анализа существующих строительных проектов, выполненных в стесненных условиях; выявление ключевых факторов, влияющих на эффективность организационно-технологического процесса строительства в таких условиях; формулирование ключевых выводов и рекомендаций по улучшению процесса   |



*Окончание таблицы 1*

| 1                       | 2  |
|-------------------------|--|
| Заключение исследования | <p>подведение итогов исследования, подтверждение или опровержение поставленных целей;</p> <p>оценка значимости исследования по строительству сооружений в стесненных условиях;</p> <p>на основе проведенного исследования сделать обобщенные выводы о механизме организационно-технологического процесса строительства в стесненных условиях;</p> <p>оценить важность данного исследования для развития строительной отрасли в целом</p> |

Модель механизма организационно-технологического процесса строительства в стесненных условиях включает следующие элементы, каждый показатель которого будет оценен по балльной системе от 0 до 1 [2]:

Цель и задачи: определение основной цели строительства в стесненных условиях и разработка задач, необходимых для ее достижения.

Ресурсы: определение необходимых ресурсов для выполнения строительных работ, таких как материалы, оборудование и персонал.

Планирование: разработка плана и графика работ, учитывающих особенности стесненных условий, такие как ограничение пространства и доступа к строительной площадке.

Организация работы: создание организационных структур, назначение ответственных лиц и распределение ролей и обязанностей для эффективного выполнения строительных работ.

Технологии: выбор оптимальных технологий и методов строительства, учитывающих особенности стесненных условий и обеспечивающих максимальную эффективность и безопасность работ.

Контроль и управление: осуществление контроля за выполнением работ, а также управление ресурсами, временем и качеством строительства в соответствии с задачами и требованиями проекта.

Безопасность: разработка и выполнение мер безопасности, учитывающих особенности стесненных условий и обеспечивающих защиту работников и окружающей среды.

Связи и координация: обеспечение эффективной связи и координации между различными участниками строительного процесса, такими как заказчик, подрядчики, субподрядчики и поставщики, для согласования работ и предотвращения возможных конфликтов и задержек.

Мониторинг и анализ: систематическое отслеживание и анализ хода выполнения работ и достижения поставленных целей, с целью выявления и устранения возможных проблем и улучшения процесса строительства.

Документация: ведение необходимой документации, включающей в себя планы, спецификации, отчеты и другие документы, связанные с организационно-технологическим процессом строительства в стесненных условиях.

В целом, модель механизма организационно-технологического процесса строительства в стесненных условиях должна способствовать использованию передовых технологий, нормализации проектов строительства, а также разработке соответствующей документации. Это поможет обеспечить устойчивый ритм строительства сооружения в стесненных условиях [1, 3].

Каждому блоку элементов присуждается коэффициент для получения итогового балла и сравнения результатов. Автор данного исследования согласно проанализированным материалам распределяет весовые коэффициенты каждого блока элементов. Блокам «ресурсы», «планирование», «организация работы», «технологии» определить коэффициент 0,2. Блокам «контроль и управление», «безопасность», «связи и координация», «мониторинг и анализ» определить коэффициент 0,3 в силу практического направления средств для строительства в стесненных условиях. Блокам «цель и задачи», «документация» предлагается определить меньший коэффициент 0,1 в силу не высокой доли субъективности при их оценке и инженерных особенностей.

Разработанная модель соответствует подходу многокритериального принятия решений. Интерпретация результатов анализа представлена в таблице 2.

Таблица 2

Модель механизма организационно-технологического процесса строительства в стесненных условиях

| № | Блок   | Кейс 1 | Кейс 2 | Кейс 3 |
|---|--|--------|--------|--------|
| 1 | 2  | 3      | 4      | 5      |
| 1 | Цель и задачи (коэффициент блока 0,1)  |        |        |        |
|   | определение основной цели строительства в стесненных условиях и разработка задач, необходимых для ее достижения                                    |        |        |        |
| 2 | Ресурсы (коэффициент блока 0,2)  |        |        |        |
|   | определение необходимых ресурсов для выполнения строительных работ, таких как материалы, оборудование и персонал                                   |        |        |        |
| 3 | Планирование (коэффициент блока 0,2)   |        |        |        |
|   | разработка плана и графика работ, учитывающих особенности стесненных условий, такие как ограничение пространства и доступа к строительной площадке |        |        |        |

Продолжение таблицы 2

| 1 | 2   | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| 4 | Организация работы<br>(коэффициент блока 0,2)   |   |   |   |
|   | создание организационных структур   |   |   |   |
|   | назначение ответственных лиц и распределение ролей и обязанностей для эффективного выполнения строительных работ  |   |   |   |
| 5 | Технологии (коэффициент блока 0,2)  |   |   |   |
|   | выбор оптимальных технологий и методов строительства, учитывающих особенности стесненных условий и обеспечивающих максимальную эффективность и безопасность работ   |   |   |   |
| 6 | Контроль и управление<br>(коэффициент блока 0,3)  |   |   |   |
|   | осуществление контроля за выполнением работ   |   |   |   |
|   | управление ресурсами, временем и качеством строительства в соответствии с задачами и требованиями проекта   |   |   |   |
| 7 | Безопасность (коэффициент блока 0,3)  |   |   |   |
|   | разработка и выполнение мер безопасности, учитывающих особенности стесненных условий и обеспечивающих защиту работников и окружающей среды  |   |   |   |
| 8 | Связи и координация<br>(коэффициент блока 0,3)  |   |   |   |
|   | обеспечение эффективной связи и координации между различными участниками строительного процесса, такими как заказчик, подрядчики, субподрядчики и поставщики, для согласования работ и предотвращения возможных конфликтов и задержек |   |   |   |

Окончание таблицы 2

| 1  | 2  | 3 | 4 | 5 |
|----|--|---|---|---|
| 9  | Мониторинг и анализ (коэффициент блока 0,3)  |   |   |   |
|    | систематическое отслеживание и анализ хода выполнения работ и достижения поставленных целей, с целью выявления и устранения возможных проблем и улучшения процесса строительства             |   |   |   |
| 10 | Документация (коэффициент блока 0,1)   |   |   |   |
|    | ведение необходимой документации, включающей в себя планы, спецификации, отчеты и другие документы, связанные с организационно-технологическим процессом строительства в стесненных условиях |   |   |   |
| 11 | Общий балл с учетом коэффициента   |   |   |   |

Предлагаемая модель рекомендована к регулярному применению для оценки в области строительства в стесненных условиях и проведения сравнительного анализа с другими территориями застройки. Простота и гибкость использования позволяет применить модель для регионов России с различным уровнем развития [5].

*Апробация модели.* В рамках первого этапа были определены цели – аналитические, управленческие и общественно-социальные (рис. 1).



Рис. 1. Потенциальные цели применения механизма организационно-технологического процесса строительства в стесненных условиях

На втором этапе по определению масштаба исследования автором выбран вариант рассмотрения всего организационно-технологического процесса строительства в стесненных условиях в целом с учетом всех строительных подразделений в рамках возведения зданий и сооружений в стесненных условиях городской застройки.

В рамках третьего этапа были использованы данные исследования процесса строительства спортивного комплекса «Олимпийский» [8–9].

Четвертый этап, посвященный построению портфолио и оценке данных, привел к результатам, приведенным в таблице 3.

Таблица 3

Апробация модели механизма организационно-технологического процесса строительства в стесненных условиях

| № | Блок   | СК<br>«Олимпийский»<br>в г. Москве | СК<br>«Лужники»<br>в г. Москве | Стадион<br>ГОО ДОД<br>«Юность»<br>в г. Калуге |
|---|--|------------------------------------|--------------------------------|---|
| 1 | 2  | 3                                  | 4                              | 5   |
| 1 | <b>Цель и задачи<br/>(коэффициент блока 0,1)</b>   | <b>0,6 (0,06)</b>                  | <b>0,4 (0,04)</b>              | <b>0,5 (0,05)</b>                             |
|   | определение основной цели строительства в стесненных условиях и разработка задач, необходимых для ее достижения                                    | 0,6                                | 0,4                            | 0,5   |
| 2 | <b>Ресурсы (коэффициент блока 0,2)</b>   | <b>0,8 (0,08)</b>                  | <b>0,6 (0,06)</b>              | <b>0,4 (0,04)</b>                             |
|   | определение необходимых ресурсов для выполнения строительных работ, таких как материалы, оборудование и персонал                                   | 0,8                                | 0,6                            | 0,4   |
| 3 | <b>Планирование<br/>(коэффициент блока 0,2)</b>  | <b>0,4 (0,04)</b>                  | <b>0,3 (0,03)</b>              | <b>0,2 (0,02)</b>                             |
|   | разработка плана и графика работ, учитывающих особенности стесненных условий, такие как ограничение пространства и доступа к строительной площадке | 0,4                                | 0,3                            | 0,2   |

Продолжение таблицы 3

| 1 | 2  | 3                 | 4                 | 5                 |
|---|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| 4 | <b>Организация работы<br/>(коэффициент блока 0,2)</b>  | <b>1,0 (0,1)</b>  | <b>0,7 (0,07)</b> | <b>0,8 (0,08)</b> |
|   | создание<br>организационных<br>структур  | 0,5               | 0,4               | 0,4               |
|   | назначение ответственных<br>лиц и распределение ролей<br>и обязанностей для<br>эффективного выполнения<br>строительных работ   | 0,5               | 0,3               | 0,4               |
| 5 | <b>Технологии<br/>(коэффициент блока 0,2)</b>  | <b>0,7 (0,07)</b> | <b>0,5 (0,05)</b> | <b>0,5 (0,05)</b> |
|   | выбор оптимальных<br>технологий и методов<br>строительства,<br>учитывающих<br>особенности стесненных<br>условий и<br>обеспечивающих<br>максимальную<br>эффективность и<br>безопасность работ | 0,7               | 0,5               | 0,5               |
| 6 | <b>Контроль и управление<br/>(коэффициент блока 0,3)</b>   | <b>1,1 (0,11)</b> | <b>0,8 (0,08)</b> | <b>0,6 (0,06)</b> |
|   | осуществление контроля<br>за выполнением работ   | 0,8               | 0,6               | 0,4               |
|   | управление ресурсами,<br>временем и качеством<br>строительства в<br>соответствии с задачами и<br>требованиями проекта  | 0,3               | 0,2               | 0,2               |
| 7 | <b>Безопасность<br/>(коэффициент блока 0,3)</b>  | <b>0,7 (0,07)</b> | <b>0,6 (0,06)</b> | <b>0,5 (0,05)</b> |
|   | разработка и выполнение<br>мер безопасности,<br>учитывающих<br>особенности стесненных<br>условий и<br>обеспечивающих защиту<br>работников и<br>окружающей среды                              | 0,7               | 0,6               | 0,5               |

Окончание таблицы 3

| 1  | 2   | 3                 | 4                 | 5                 |
|----|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| 8  | <b>Связи и координация (коэффициент блока 0,3)</b>  | <b>0,4 (0,04)</b> | <b>0,3 (0,03)</b> | <b>0,4 (0,04)</b> |
|    | обеспечение эффективной связи и координации между различными участниками строительного процесса, такими как заказчик, подрядчики, субподрядчики и поставщики, для согласования работ и предотвращения возможных конфликтов и задержек | 0,4               | 0,3               | 0,4               |
| 9  | <b>Мониторинг и анализ (коэффициент блока 0,3)</b>  | <b>0,5 (0,05)</b> | <b>0,4 (0,04)</b> | <b>0,4 (0,04)</b> |
|    | систематическое отслеживание и анализ хода выполнения работ и достижения поставленных целей, с целью выявления и устранения возможных проблем и улучшения процесса строительства  | 0,5               | 0,4               | 0,4               |
| 10 | <b>Документация (коэффициент блока 0,1)</b>   | <b>0,3 (0,03)</b> | <b>0,2 (0,02)</b> | <b>0,2 (0,02)</b> |
|    | ведение необходимой документации, включающей в себя планы, спецификации, отчеты и другие документы, связанные с организационно-технологическим процессом строительства в стесненных условиях  | 0,3               | 0,2               | 0,2               |
| 11 | <b>Общий балл с учетом коэффициента</b>   | <b>6,5 (0,65)</b> | <b>4,8 (0,48)</b> | <b>4,5 (0,45)</b> |

### Результаты и проблематика

По результатам апробации модели в рамках сравнительного анализа 3 объектов строительства на территории России, сделаны следующие выводы. В сфере определения целей и задач строительства в стесненных условиях, содержится стремление руководства организации стройки достичь более уверенной позиции на этапах возведения спорт комплекса [10]. В сфере ресурсов, перспективной видится практика бесперебойного обеспечения объекта материа-

лами, оборудованием и персоналом [11]. В рамках планирования, учтены особенности стесненных условий, такие как ограничение пространства и доступа к строительной площадке. По организации работы отмечается высокий объем эффективного выполнения строительных работ. По технологиям, стоит отметить активную роль методов строительства, учитывающих особенности стесненных условий и обеспечивающих максимальную эффективность и безопасность работ. В сфере контроля и управления, наблюдается высокий балл управления ресурсами, временем и качеством строительства в соответствии с задачами и требованиями проекта [2]. В сфере безопасности, учтены особенности стесненных условий и обеспечивающих защиту работников и окружающей среды. В отношении связи и координации, наблюдается согласованность действий между заказчиками, подрядчиками, субподрядчиками и поставщиками, отсутствие возможных конфликтов и задержек. В рамках мониторинга и анализа, отметим систематическое отслеживание и анализ хода выполнения работ и достижения поставленных целей. Ведение необходимой документации, включает планы, спецификации, отчеты и другие документы, связанные с организационно-технологическим процессом строительства в стесненных условиях [3, 5–6].

### **Заключение**

Таким образом, исходя из вышесказанного, к основным задачам модели механизма организационно-технологического процесса строительства в стесненных условиях относятся:

- разработка эффективных планов размещения оборудования, материалов и рабочих на ограниченной площади стройплощадки;
- планирование и контроль доступности необходимых ресурсов, таких как строительные материалы, оборудование, рабочая сила, в условиях ограниченной доступности их на рынке;
- разработка оптимальных маршрутов доставки материалов и оборудования, чтобы минимизировать временные задержки и избежать перегрузок на стройплощадке;
- разработка гибких графиков строительства, которые учитывают ограниченные временные ресурсы и позволяют реагировать на неожиданные события;
- обеспечение безопасности рабочих и соблюдение экологических стандартов в ограниченных условиях, где есть повышенные риски;
- мониторинг затрат и бюджетирование проекта, чтобы избежать превышения бюджета при работе в стесненных условиях;
- анализ и управление рисками, связанными с работой в ограниченных пространственных и временных условиях, и разработка стратегий их снижения;
- обеспечение эффективной коммуникации и сотрудничества между всеми участниками стройпроцесса, чтобы минимизировать конфликты и улучшить координацию;
- соблюдение всех необходимых строительных нормативов и стандартов, даже в ограниченных условиях;
- учет интересов всех заинтересованных сторон, включая заказчика, инвесторов, государственные органы и местных жителей.



Модель механизма должна помогать строительным компаниям и проектным менеджерам эффективно управлять всеми этими аспектами процесса строительства в ограниченных условиях, чтобы достичь успешного завершения проекта.

**Список литературы**

1. Абрамян С.Г. Система управления жизненным циклом объектов капитального строительства с использованием цифровых технологий / С.Г. Абрамян, О.В. Бурлаченко, О.В. Оганесян [и др.] // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. унта. Сер.: Стр.-во и архитектура. – 2021. – Вып. 4 (85). – С. 305–314.
2. Бельчевский Р.О. Организационно-технологическая подготовка строительства объектов в стесненных условиях / Р.О. Бельчевский // Инновации и инвестиции. – 2020. – №5. – С. 201–203.
3. Бравый А.Ю. Выбор технологий возведения зданий в стесненных условиях исторической застройки / А.Ю. Бравый, А.С. Богданов, Г.Д. Уваров // Молодой ученый. – 2023. – №15 (462). – С. 64–66 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/462/101528/> (дата обращения: 28.09.2023).
4. Волкодав В.А. Разработка структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM-технологий / В.А. Волкодав, И.А. Волкодав // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. Вып. 6. – С. 867–906. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.867-906.
5. Нестеров В.П. Оптимизация строительных процессов при строительстве в стесненных условиях / В.П. Нестеров // E-Scio. – 2019. – №11 (38). – С. 93–99.
6. Поляков В.Г. Анализ организационно-технологических решений строительства в стесненных городских условиях / В.Г. Поляков, С.А. Чебанова, С.К. Бусуркин [и др.] // ИВД. – 2019. – №4 (55). – С. 58.
7. Калошина С.В. Проектирование фундаментов в стесненных условиях городской застройки: учеб.-метод. пособие / С.В. Калошина [и др.]. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политех. ун-та, 2021. – 223 с.
8. Русинов П.П. Построение технологических схем возведения жилых зданий в стесненных условиях / П.П. Русинов // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2016. – №26-1. – С. 187–190.
9. Седов Д.С. Факторы стесненности в условиях плотной городской застройки / Д.С. Седов // Вестник МГСУ. – 2020. – № 4-1. – С. 171–174.
10. Филь О.А. Оценка изменений организационно-технологических характеристик при возведении жилых зданий в стесненных условиях / О.А. Филь, П.П. Русинов // Инженерный вестник Дона. – 2016. – №2.
11. Чебанова С.А. Организационно-технологические решения строительства в стесненных городских условиях / С.А. Чебанова, О.В. Бурлаченко, В.Г. Поляков // Инженерный вестник Дона. – 2018. – №1.

Яковлев Алексей Петрович – канд. экон. наук, доцент кафедры строительных технологий, геотехники и экономики в строительстве Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия.

Шерняев Евгений Юрьевич – магистрант кафедры строительных технологий, геотехники и экономики в строительстве Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия.

Yakovlev Alexey Petrovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Technologies, Geotechnics and Economics in Construction I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia.

Shernyaev Evgeny Yuryevich, Master's student of the Department of Construction Technologies, Geotechnics and Economics in Construction I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia.

## РАЗДЕЛ 3. МЕХАНИКА СПЛОШНЫХ СРЕД В ОБРАЗОВАНИИ

УДК 624

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В СЛОИСТЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ

*А.Г. Николаева  
Н.В. Иванова  
О.С. Яковлева*

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»  
г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** рассмотрены вопросы организации численных расчетов температурных полей в слоистых ограждающих конструкциях в рамках выполнения расчетно-графических работ по дисциплине «Современные ограждающие конструкции» для обучающихся по направлению 08.04.01 – Строительство.

**Ключевые слова:** ограждающие конструкции, температурное поле, теплотехнический расчет.

### DISTRIBUTION OF TEMPERATURE FIELDS IN LAYERED ENCLOSING STRUCTURES

**Abstract:** the issues of the organization of numerical calculations of temperature fields in layered enclosing structures in the framework of computational and graphic work on the discipline "Modern enclosing structures" for students in the direction 08.04.01 – Construction are considered.

**Keywords:** monitoring, overlap, beam, deflection, inclinometer, angle of rotation, damage, deformation, stress.

#### Введение

Для обучающихся по направлению 08.04.01 Строительство, в рамках дисциплины «Современные ограждающие конструкции», в состав контрольной работы по проверке прочности конструкции трехслойной стены, был введен расчет распределения температурных полей в толще слоев стены [4–7]. Задача выполнялась с использованием программного комплекса Лира-САПР. Первоначально, суть задачи состояла в том, чтобы определить температуру по границам слоев, для последующего расчета температурной нагрузки для расчета прочности ограждения. Обучающиеся рассматривали линейный и угловой участок стены, согласно вариантам задания, в котором присутствовали не только прямолинейные, но и Г-образные, П-образные и Z-образные фрагменты ограждающей конструкции здания. В связи с этим возникла необходимость проверить распределение температурных полей на участке внешнего угла конструкции стены.

Согласно [1] температура внутренней поверхности ограждающей конструкции в углах и оконных откосах, а также зенитных фонарей должна быть не ниже точки росы внутреннего воздуха при расчетной температуре наружного воздуха –  $t_n$ . Температура внутренней поверхности ограждающей конструкции должна определяться по результатам расчета температурных полей всех зон с теплотехнической неоднородностью или по результатам испытаний в климатической камере в аккредитованной лаборатории. Должно соблюдаться санитарно-гигиеническое требование:

$$t_{en} \geq t_{мин} = t_{mr} + (2 \div 3) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

В [1, 3] также представлен значительно модернизированный метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, который позволяет учитывать все теплопроводные включения, имеющиеся в современных ограждающих конструкциях.

Большая работа по исследования температурных полей в ограждающих конструкциях ведется в НИИ Строительной физики. На рис 1 приведен график распределения температурных полей на угловом участке стены, приведенный в каталоге температурных полей узлов типовых ограждающих конструкций [2], на которых хорошо просматривается характер распределения температурных полей на угловых участках стены.

В большинстве регионов страны проводятся натурные испытания зданий и элементов ограждающих конструкций. Все это является подтверждением того, что данная тематика является актуальной в наше время.

Поэтому, в итоге рассмотрения первоначальной задачи по определению температуры на поверхности слоев стены, было принято решение ввести в контрольную работу раздел по мини-исследованию распределения температурных полей в толще многослойной стены согласно заданным характеристикам теплопроводности материалов стены и климатическим условиям строительства.

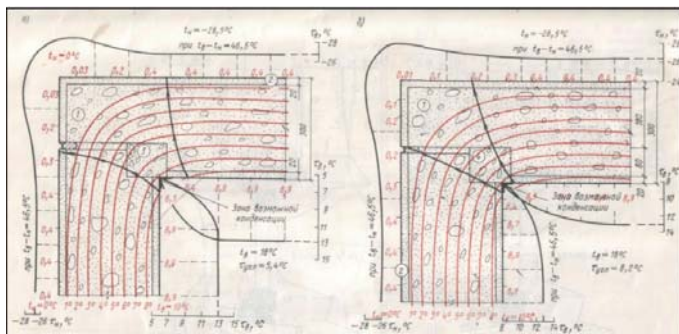


Рис. 1. Распределение температурных полей на угловом участке стены

### Материал и методы исследований

В качестве рассматриваемой модели была взята конструкция трехслойной стены (рис.2) в составе: 1-й слой – облицовочный кирпич ( $\gamma_1 = 600 \text{ кг/см}^3$ ,  $\lambda_1 = 0,47 \text{ Вт/м } ^\circ\text{C}$ ,  $\delta_1 = 0,12 \text{ м}$ ) 2-й слой – утеплитель пенополистирол ( $\gamma_2 = 100 \text{ кг/см}^3$ ,  $\lambda_2 = 0,052 \text{ Вт/м } ^\circ\text{C}$ ,  $\delta_2 = 0,13 \text{ м}$ ) 3-й слой – Камень керамический пустотелый ( $\gamma_1 = 600 \text{ кг/см}^3$ ,  $\lambda_1 = 0,37 \text{ Вт/м } ^\circ\text{C}$ ,  $\delta_1 = 0,25 \text{ м}$ ). В вариантах контрольной работы были рассмотрены различные материалы и толщины несущей и облицовочной части стен, и утеплителя.

В соответствии с требованиями [3] была создана двухмерная модель угла стены (рис. 3). Расчет проводили в программе Лира-САПР по методике стационарной задачи теплопроводности.

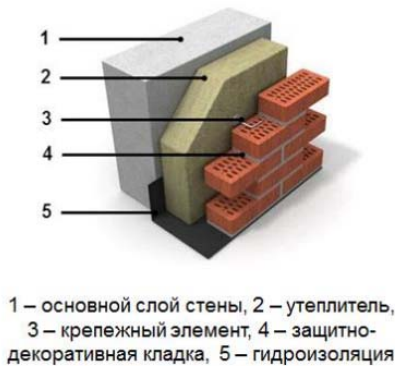


Рис. 2. Рассматриваемая модель конструкции стены

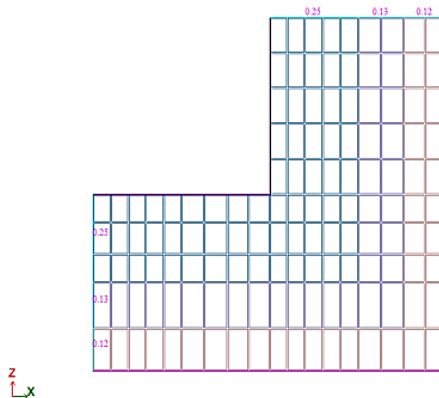


Рис. 3. Расчетная модель углового участка стены. Размеры

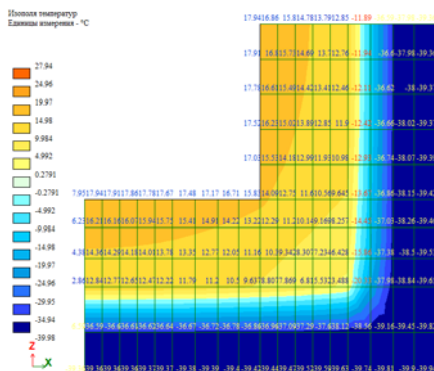
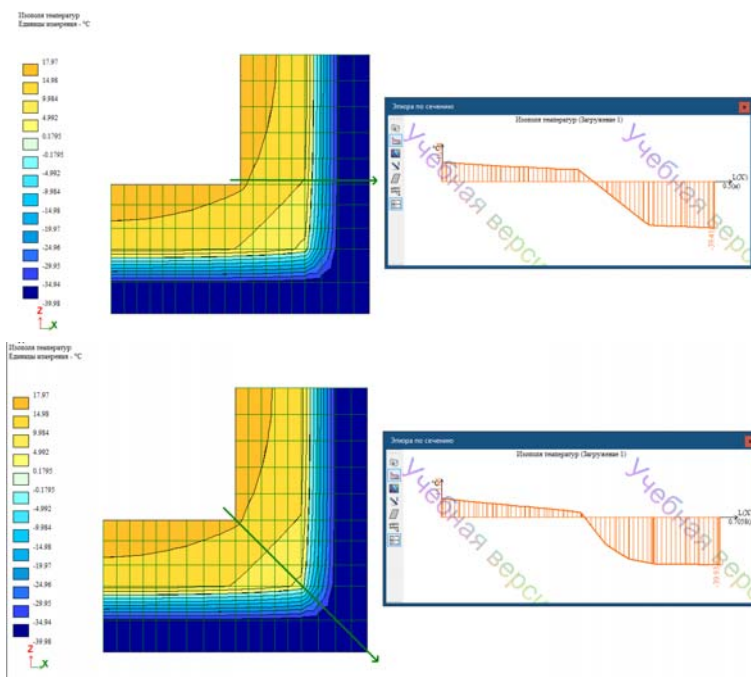


Рис. 4. Результаты расчета. Изополя температур



а)

б)

Рис. 5. Изополя температур. Эпюра по сечению на линейном (а) и на угловом (б) участке

### Результаты и проблематика

По результатам расчета получили распределение температурных полей в соответствии с [1–3]. Внутренняя температура поверхности в углу

отличалась от температуры на линейном участке в пределах 2–3 градусов (см. рис. 4). В качестве вариантов ограждения были рассмотрены также варианты с «мокрым фасадом», с учетом устройства анкеров для крепления фасада (рис. 6). Как видно на рисунке 7, на изополях температур в местах нахождения анкеров наблюдается незначительное искривление изополей. Это связано с влиянием неоднородных включений на распределение температурных полей.

В некоторых вариантах задач из-за эмпиричных исходных данных, получались результаты распределения температур с расположением точки росы в толще несущей конструкции (рис. 7). В этом случае обучающимся ставилась задача по решению этой проблемы. В качестве вариантов решения применялось, в основном, увеличение толщины утеплителя, не соответствующего климатическим условиям задачи.

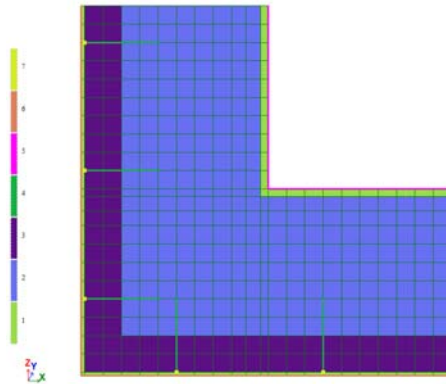


Рис. 6. Расчетная модель углового участка с «мокрым фасадом»

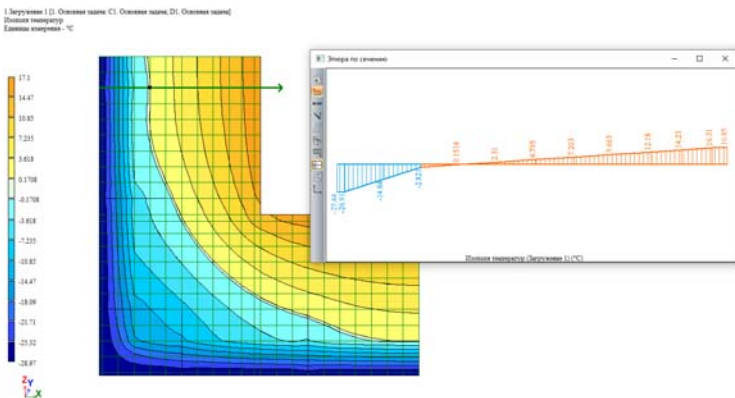


Рис. 7. Изополя температур углового участка с «мокрым фасадом». Эпюра по сечению

В том числе обучающимся было предложено найти решение проблемы по повышению температуры внутренней поверхности стены. В качестве решения были предложены несколько вариантов: устройство вут во внутреннем углу стены из материала несущего слоя стены; то же из утеплителя. Результаты расчета углового участка стены с вутом из материала несущей части приведены на рис. 8.

Численные эксперименты говорят о том, что в случае устройства вута можно добиться повышения температуры на внутренней поверхности стены на угловом участке на 2–3 градуса, т. е. сравнять с температурой внутренней поверхности на линейном участке. Что может в реальности привести к повышению температуры воздуха в помещении и воспрепятствует распространению повышенной влажности и образованию плесени на внутренней поверхности стены.

При выполнении расчетов была подмечена еще одна особенность распределения температурных полей в углу стены. Как видно из рисунка 5, б, распределение величины температуры в слое утеплителя идет не по линейной зависимости.

1. Зеруновский 1, 2012. Основные задачи С1, Основные задачи D1, Основные задачи D2  
Температура  
Единица измерения: °C

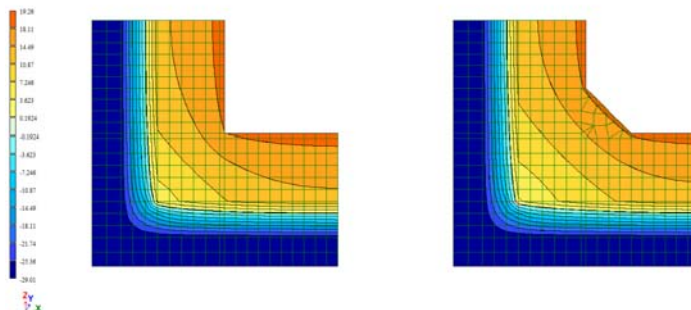


Рис. 8. Изополя температур углового участка при устройстве вута

### Заключение

Как показали численные эксперименты обучающихся в контрольной работе по дисциплине «Современные ограждающие конструкции», при выполнении теплотехнических расчетов многослойных ограждений необходимо выполнять расчет и исследование распределения температурных полей в толще слоев конструкции, в том числе с учетом неоднородности. Для более точного представления о характере распределения температурных полей необходимо рассматривать не только линейные участки стен, но и угловые участки, а так же места примыкания оконных и дверных проемов, конструкций перекрытий и пр.

Также желательно при проведении исследования распределения температурных полей рассматривать трехмерную модель участка стены, для более точного определения характера этого распределения.

#### *Список литературы*

1. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.

2. Каталог температурных полей узлов типовых ограждающих конструкций: Пособие для проектирования / НИИ строит. физики. – М.: Стройиздат, 1980.

3. ГОСТ 59242-2020 Здания и сооружения: Расчет температурного поля узлов ограждающих конструкций.

4. Development, Strength Check, Calculation of the Wind Load of a Multi-layer Guarding Structure / M. A. Bakhmisova, A. N. Plotnikov, L. A. Sakmarova, M. V. Petrov // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 197. – P. 49–54. – DOI 10.1007/978-981-16-6593-6\_6.

5. Сакмарова Л.А. Многослойные ограждающие конструкции, и их свойства при температурных воздействиях / Л.А. Сакмарова, М.А. Бахмисова // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции : Материалы IV Международной (X Всероссийской) конференции, Чебоксары, 21–22 ноября 2018 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2018. – С. 88–96.

6. Несущая способность армированной каменной кладки при центральном сжатии на основе деформационных параметров ее компонент / А.Н. Плотников, Т.В. Романова, Б.В. Михайлов [и др.] // Строительство и застройка: жизненный цикл - 2020 : Материалы V Международной (XI Всероссийской) конференции, Чебоксары, 25–26 ноября 2020 года. – Чебоксары: Среда, 2020. – С. 183–197.

7. Плотников А.Н. Прочностной расчет армированной каменной кладки на основе деформационных параметров составляющих ее материалов / А.Н. Плотников, О.С. Яковлева, Т.В. Романова // Современные вопросы механики сплошных сред - 2019 : Сборник статей по материалам конференции с международным участием, Чебоксары, 07 июня 2019 года. – Чебоксары: Среда, 2019. – С. 60–68.

Николаева Анастасия Георгиевна – ст. преподаватель ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия, e-mail: nag\_sf@mail.ru

Иванова Наталья Васильевна – ст. преподаватель ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия, e-mail: sus-a@mail.ru

Яковлева Ольга Станиславовна – старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия. e-mail: konstryktor9@yandex.ru

Nikolaeva Anastasia Georgievna, senior lecturer of the "Chuvash state University named I. N. Ulyanov", Cheboksary, Russia, e-mail: nag\_sf@mail.ru

Ivanova Natalia Vasilevna, senior lecturer of the "Chuvash state University named I. N. Ulyanov", Cheboksary, Russia, e-mail: sus-a@mail.ru

Yakovleva Olga Stanislavovna, senior lecturer, Chuvash State University. I.N. Ulyanova, Cheboksary, Russia, e-mail: konstryktor9@yandex.ru



УДК 372.862

## АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ ОПРЕДЕЛЕНИИ НАПРЯЖЕНИЙ В СЕЧЕНИИ БАЛКИ ПРИ ИЗГИБЕ

*М.В. Петров  
Б.В. Михайлов  
Е.Г. Гоник  
В.А. Иванов  
О.А. Алексеева*

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»  
г. Чебоксары, Россия

**Аннотация:** в статье рассмотрены расчеты, выполненные студентами лабораторной работы по определению напряжений в сечении балки при чистом изгибе методом тензометрирования.

**Ключевые слова:** нормальное напряжение, касательное напряжение, деформации, тензорезистор, модуль упругости, коэффициент Пуассона.

## ANALYSIS OF CALCULATIONS FOR DETERMINING STRESSES IN THE BEAM SECTION DURING PURE BENDING

**Abstract:** the article considers calculations performed by students of laboratory work on determining stresses in the beam section during pure bending by strain gage.

**Keywords:** normal stress, tangential stress, deformations, strain gauge, modulus of elasticity, Poisson's ratio.

### Введение

Одной из основных задач высшего образования является подготовка квалифицированных специалистов, бакалавров и магистров соответствующего уровня, конкурентных на рынке труда, компетентных, ответственно и свободно владеющих своими профессиональными знаниями, способных к эффективной работе на уровне мировых стандартов [1].

Решение выше перечисленных задач невозможно без самостоятельной работы студентов при подготовке к лабораторным работам, т.к. большое значение при изучении сопротивления материалов большое значение имеют экспериментальные исследования в лабораторных и натурных условиях.

Вопросы изгиба различных элементов конструкций, в частности потери устойчивости оболочек при изгибе исследованы во многих трудах [2–12]. При подготовке отчета по лабораторной работе современные

студенты получают информацию не только на занятии, но и в большинстве случаев из интернета. Кроме этого расчеты экспериментальных данных при выполнении лабораторной работы по теме изгиба элемента конструкции, необходимо в нынешних условиях широко использовать различные программы для обработки данных. В частности, при построении различных графиков использовать средства Excel или аналогичные программы. Построения графиков в лабораторной работе выполняются для деформаций, определенных тензорезисторами.

#### Материал и методы исследований

Рассмотрим один из случаев выполнения лабораторной работы по дисциплине «Соппротивление материалов» на тему «Определение напряжений в сечении балки при изгибе». Известно, что напряжения при изгибе обратно пропорциональны третьей степени линейных размеров сечения. Наиболее экономичными являются формы поперечных сечений, для которых с наименьшей затратой материала получается наибольшая величина момента сопротивления. Соответственно, необходимо по возможности распределять площадь сечения дальше от нейтральной оси. Примером таких сечений могут быть стандартные двутавровые профили. При изгибе в вертикальной плоскости такие профили дают существенную выгоду по сравнению с прочими формами поперечных сечений [13].

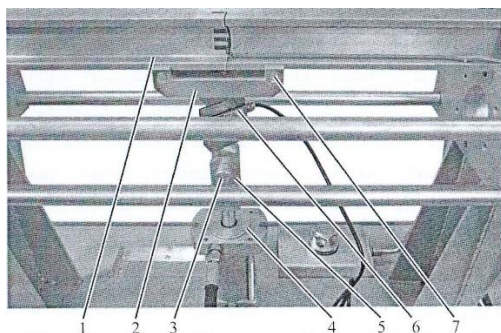


Рис. 1. Лабораторная установка

Для экспериментального изучения распределения напряжений при изгибе балки по высоте сечения при упругом поведении в лабораторной работе воспользовались методом тензометрирования. Лабораторная установка для определения напряжений в сечении балки при изгибе приведена на рис. 1.

Образец в поперечном сечении двутавровой форме 1 через устройство нагружения 2, силоизмеритель 6 на 5 кН и гидроцилиндр получает нагрузку. Силовизмеритель соединен с вилкой гидроцилиндра 5 с помощью стопорного пальца 3.

Параметры образца приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры образца

| № тензорезистора | Расстояние от оси $x$ до тензорезистора, мм          | Момент инерции $I_x, \text{мм}^4$ | Модуль упругости $E, \text{ГПа}$ | коэффициент Пуассона, $\mu$ |
|------------------|--|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 1                | 25   | 236000                            | 72                               | 0,32                        |
| 2                | 12,5   |                                   |                                  |                             |
| 3                | 0  |                                   |                                  |                             |
| 4                | 12,5   |                                   |                                  |                             |
| 5                | 25   |                                   |                                  |                             |
| 6                | На оси $x$ , под $45^\circ$ к продольной оси стержня |                                   |                                  |                             |

Геометрические размеры поперечного сечения образца приведены на рис. 2, где размеры сечения в миллиметрах.

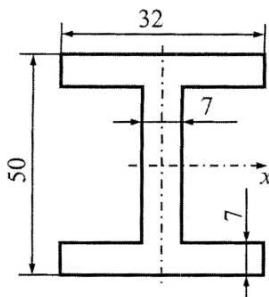


Рис. 2. Поперечное сечение образца

Нагрузку к образцу прикладывали плавно, вращая рукоятку привода насоса гидроцилиндра до усилия близкого 400 Н. Последующие усилия с шагом по нагрузке около 400 Н до усилия 2000 Н. Текущие значения показания тензорезисторов записывались в протокол испытаний. В протоколе испытаний  $P$  – величина нагрузки на образец ( $\Delta P$  – шаг по нагрузке около 400 Н). Далее  $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_6$  относительные деформации тензорезисторов 1...6,  $\Delta \varepsilon_1 \dots \Delta \varepsilon_6$  – разность показаний тензорезисторов на шаг нагрузки,  $\Delta P_{cp}(P)$  – среднее значение шага нагрузки (текущее значения усилия),  $\Delta \varepsilon_{1cp} \dots \Delta \varepsilon_{6cp}(\varepsilon_i)$  – среднее значение разности показаний тензорезисторов на шаг нагрузки.

### Результаты и проблематика

Во время лабораторного занятия для выполнения дальнейших расчетов студенты в группе были разделены на два звена. Первое звено проводило расчеты по шагу нагрузки, второе звено строило графики зависимости нагрузки от деформации для каждого тензорезистора, используя средства Excel.

Первое звено по данным протокола испытаний табл.2 рассчитывало экспериментальные значения напряжений по деформациям, измеренными тензорезисторами по формуле (1).

$$\sigma_{\varepsilon i} = E \cdot \varepsilon_i, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль упругости образца;

$\varepsilon_i$  – показание  $i$  – го тензорезистора.

Таблица 2

Протокол испытаний

| P,<br>Н            | $\Delta$<br>P,<br>Н | $\varepsilon_{1X}$<br>$10^{-6}$ | $\Delta\varepsilon$<br>$1X$<br>$10^{-6}$ | $\varepsilon_{2X}$<br>$10^{-6}$ | $\Delta\varepsilon$<br>$2X$<br>$10^{-6}$ | $\varepsilon_{3X}$<br>$10^{-6}$ | $\Delta\varepsilon$<br>$3X$<br>$10^{-6}$ | $\varepsilon_{4X}$<br>$10^{-6}$ | $\Delta\varepsilon$<br>$4X$<br>$10^{-6}$ | $\varepsilon_{5X}$<br>$10^{-6}$ | $\Delta\varepsilon$<br>$5X$<br>$10^{-6}$ | $\varepsilon_{6X}$<br>$10^{-6}$ | $\Delta\varepsilon$<br>$6X$<br>$10^{-6}$ |
|--------------------|---------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|--|---------------------------------|--|---------------------------------|--|---------------------------------|--|---------------------------------|--|
| 479                | 350                 | 93                              | 74                                       | 50                              | 39                                       | 0                               | -2                                       | -43                             | -36                                      | -92                             | -73                                      | -35                             | -28                                      |
| 829                | 432                 | 167                             | 77                                       | 89                              | 40                                       | -2                              | 0  | -79                             | -38                                      | -165                            | -78                                      | -63                             | -29                                      |
| 1261               | 357                 | 244                             | 76                                       | 129                             | 38                                       | -2                              | -2                                       | -117                            | -38                                      | -243                            | -76                                      | -92                             | -30                                      |
| 1618               | 394                 | 320                             | 81                                       | 167                             | 42                                       | -4                              | -2                                       | -155                            | 41                                       | -615                            | -81                                      | -122                            | -31                                      |
| 2012               | 401                 | 401                             |  | 209                             |  | -6                              |  | -196                            |  | -400                            |  | -153                            |  |
| $\Delta P$<br>ср.: | 383,3               | $\Delta\varepsilon_1$<br>ср.:   | 77                                       | $\Delta\varepsilon_2$<br>ср.:   | 39,8                                     | $\Delta\varepsilon_3$<br>ср.:   | -1,5                                     | $\Delta\varepsilon_4$<br>ср.:   | -38,3                                    | $\Delta\varepsilon_5$<br>ср.:   | -77                                      | $\Delta\varepsilon_6$<br>ср.:   | -29,5                                    |

С учетом формулы (1) студенты первого звена определяли напряжения в тензорезисторах по шагу нагрузки.

$$\begin{aligned} \sigma_{\varepsilon 1} &= E \cdot \varepsilon_1 = 72 \cdot 10^9 \cdot 77 \cdot 10^{-6} = 5,54 \text{ МПа}, \\ \sigma_{\varepsilon 2} &= 2,87 \text{ МПа}, \quad \sigma_{\varepsilon 3} = -0,1 \text{ МПа}, \quad \sigma_{\varepsilon 4} = -2,76 \text{ МПа}, \\ \sigma_{\varepsilon 5} &= -5,54 \text{ МПа}, \quad \sigma_{\varepsilon 6} = -2,12 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Далее согласно заданию, студенты рассчитывали значение расчетных осевых напряжений в местах установки тензорезисторов 1-5 по формуле (2).

$$\sigma_{pi} = \frac{P \cdot (L-l)}{4 \cdot I_x} \cdot y_i, \quad (2)$$

где  $P$  – текущие значения усилия;

$L$  – расстояние между неподвижными опорами,  $L=644$  мм;

$l$  – расстояние между штифтами 7 (рис.1),  $l=120$  мм;

$I_x$  – момент инерции образца,  $I_x=236000$  мм<sup>4</sup>;

$y_i$  – координата тензорезистора, отсчитываемая от нейтральной оси (в данном случае середины сечения образца).

Ниже приведены расчетных осевых напряжений в местах установки тензорезисторов 1–5.

$$\begin{aligned} \sigma_{p1} &= \frac{P \cdot (L-l)}{4 \cdot I_x} \cdot y_1 = \frac{383,3 \cdot (644-120)}{4 \cdot 236000} \cdot 25 = 5,32 \text{ МПа}, \\ \sigma_{p2} &= 2,66 \text{ МПа}; \quad \sigma_{p3} = 0 \text{ МПа}; \quad \sigma_{p4} = -2,66 \text{ МПа}; \\ \sigma_{p5} &= -5,32 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

По заданию далее, студенты по формуле Журавского рассчитали касательные напряжения  $\tau$  в точке установки шестого тензорезистора. Т. к. в данной точке реализуется чистый сдвиг, следовательно, должно соблюдаться условие по следующему выражению (3) [13].

$$\sigma_6^1 = \tau, \quad (3)$$

где  $\sigma_6^1$  – первое главное напряжение в точке 6.

Используя формулу Журавского (4) определяется касательное напряжение в точке установки шестого тензорезистора.

$$\tau = \frac{P \cdot S_x}{I_x \cdot b_y}, \quad (4)$$

где  $S_x$  – статический момент образца относительно оси  $x$ ;

$b_y$  – ширина образца в точке 6.

$$\tau = \frac{383,3 \cdot 5950}{236000 \cdot 7} = 1,38 \text{ МПа}.$$

Кроме сказанного выше, также первое главное напряжение в точке 6, может быть вычислено по одной из главных деформаций, полученной путем тензометрирования ( $\varepsilon_6$ ):

$$\sigma_6^1 = \frac{E}{1-\mu} \cdot |\varepsilon_6| \quad (5)$$

Используя формулу (5) студенты первого звена определили первое главное напряжение в точке 6.

$$\sigma_6^1 = \frac{72 \cdot 10^9}{1-0,32} \cdot |-29,5 \cdot 10^{-6}| = 3,1 \text{ МПа}.$$

Второе звено по данным протокола испытаний табл.2, используя 1, 3, 5, 7, 9, 11 и 13 столбцы протокола испытаний, а также используя средства Excel построили графики зависимости нагрузки от деформации для каждого тензорезистора и получили уравнения прямой с высокими величинами достоверности аппроксимации.

В качестве примера приведен график зависимости нагрузки от деформации для первого тензорезистора (Рис. 3), где  $y=P$ ,  $x=\varepsilon$ . Для остальных тензорезисторов приведены зависимости нагрузки от деформации в виде

следующих уравнений с соответствующими величинами достоверности аппроксимации ( $R^2$ ):

- для второго тензорезистора  $y = 9,6835x - 6,1994$   $R^2 = 0,999$ ;
- для четвертого тензорезистора  $y = -10,273x + 2,944$   $R^2 = 0,999$ ;
- для пятого тензорезистора  $y = -5,0422x + 8,7585$   $R^2 = 0,999$ ;
- для шестого тензорезистора  $y = -13,185x + 11,358$   $R^2 = 0,999$ .

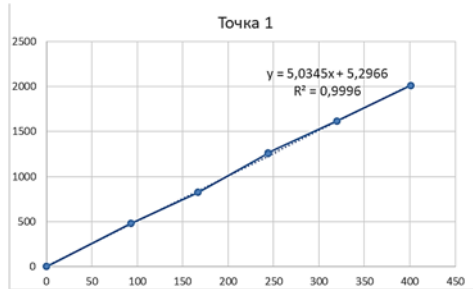


Рис. 3. График зависимости нагрузки от деформации для первого тензорезистора

Задаваясь текущим значением усилия, равного  $P = y = 383,3 \text{ Н}$  определяли относительные деформации по тензорезисторам  $\varepsilon = x$ .

Используя соответствующее уравнение для первого тензорезистора определяли относительную деформацию.

Из уравнения для первого тензорезистора  $y = 5,0345x + 5,2966$  определяли относительную деформацию по первому тензорезистору.

$$\varepsilon_1 = x = \frac{383,3 - 5,2966}{5,0345} \cdot 10^{-6} = 75 \cdot 10^{-6}.$$

Используя формулу (1) определяли напряжение в первом тензорезисторе.

$$\sigma_{\varepsilon 1} = E \cdot \varepsilon_1 = 72 \cdot 10^9 \cdot 75 \cdot 10^{-6} = 5,4 \text{ МПа}$$

Из уравнения для второго тензорезистора  $y = 9,6835x - 6,1994$  определяли относительную деформацию по второму тензорезистору.

$$\varepsilon_2 = x = \frac{383,3 - 6,1994}{9,6835} \cdot 10^{-6} = 38,94 \cdot 10^{-6}.$$

Используя формулу (1) определяли напряжение во втором тензорезисторе.

$$\sigma_{\varepsilon 2} = E \cdot \varepsilon_1 = 72 \cdot 10^9 \cdot 38,94 \cdot 10^{-6} = 2,8 \text{ МПа}$$

Из уравнения для четвертого тензорезистора  $y = -10,273x + 2,944$  определяли относительную деформацию по четвертому тензорезистору.

$$\varepsilon_4 = x = \frac{383,3 - 2,944}{-10,273} \cdot 10^{-6} = -37,02 \cdot 10^{-6}.$$

Используя формулу (1) определяли напряжение в четвертом тензорезисторе.

$$\sigma_{\varepsilon 4} = E \cdot \varepsilon_1 = 72 \cdot 10^9 \cdot (-37,02 \cdot 10^{-6}) = -2,66 \text{ МПа}$$

Из уравнения для пятого тензорезистора  $y = -5,0422x + 8,7585$  определяли относительную деформацию по пятому тензорезистору.

$$\varepsilon_5 = x = \frac{383,3 - 8,7585}{-5,0422} \cdot 10^{-6} = -74,28 \cdot 10^{-6}.$$

Используя формулу (1) определяли напряжение в пятом тензорезисторе.

$$\sigma_{55} = E \cdot \varepsilon_1 = 72 \cdot 10^9 \cdot (-74,28 \cdot 10^{-6}) = -5,35 \text{ МПа}$$

Из уравнения для шестого тензорезистора  $y = -13,185x + 11,358$  определяли относительную деформацию по шестому тензорезистору.

$$\varepsilon_6 = x = \frac{383,3 - 11,358}{-13,185} \cdot 10^{-6} = -28,2 \cdot 10^{-6}.$$

Используя формулу (1) определяли напряжение в шестом тензорезисторе.

$$\sigma_{36} = E \cdot \varepsilon_1 = 72 \cdot 10^9 \cdot (-28,2 \cdot 10^{-6}) = -2,03 \text{ МПа}$$

Далее используя формулу (5) студенты второго звена определили первое главное напряжение в точке 6.

$$\sigma_6^1 = \frac{72 \cdot 10^9}{1 - 0,32} \cdot |-28,2 \cdot 10^{-6}| = 2,99 \text{ МПа}.$$

Результаты расчетов первого звена по шагу нагрузки и второго звена по графику зависимости нагрузки от деформации сравнивались значениями расчетных осевых напряжений в местах установки 1-5 тензорезисторов.

### Заключение

Анализ результатов расчетов показал, что значения расчетов второго звена по графику зависимости нагрузки от деформации находятся ближе к значениям расчетных осевых напряжений. По итогам исследования рекомендуется при выполнении данной лабораторной работы выполнять расчеты по графикам зависимости нагрузки от деформации.

### Список литературы

1. Петров М.В. Анализ расчетов прогибов элементов конструкций методом начальных параметров / М.В. Петров, Б.В. Михайлов, Е.Г. Гоник [и др.] // Современные вопросы механики сплошных сред – 2019 : сборник статей по материалам конференции с международным участием (Чебоксары, 07 июня 2019 г.). – Чебоксары: Среда, 2019. – С. 180–188. – EDN JOEXYN.
2. Петров М.В. Устойчивость при изгибе тонкостенных оболочек, заполненных различными сыпучими материалами / М.В. Петров, Е.Г. Гоник, Т.Г. Федорова // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Сер.: Механика предельного состояния. – 2017. – №4 (34). – С. 52–58.
3. Гоник Е.Г. Расчет предельного состояния тонкостенных цилиндрических оболочек при изгибе, заполненных сыпучим наполнителем / Е.Г. Гоник, М.В. Петров // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Сер.: Механика предельного состояния. – 2019. – №2 (40). – С. 117–127.
4. Петров М.В. Экспериментальное исследование влияния сыпучего материала на устойчивость при изгибе тонкостенных оболочек с сыпучим наполнителем / М.В. Петров // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2019. – №4. – С. 5–16.
5. Баженов В.Г. Экспериментальное и теоретическое исследование упруго-пластического выпучивания цилиндрических оболочек, заполненных сыпучим материалом, под действием поперечной силы / В.Г. Баженов, Е.Г. Гоник, А.И. Кибетц [и др.] // Ученые записки Казанского университета. Сер.: Физико-математические науки. – 2017. – Т. 159, №3. – С. 282–295.
6. Bazhenov V.G. Stability and supercritical behaviour of thin-walled cylindrical shell with discrete aggregate in bending / V.G. Bazhenov, E.G. Gonik, A.I. Kibets [et al.] // Materials Physics and Mechanics. – 2016. – Т. 28. №1–2. – С. 16–20.

7. Баженов В.Г. Устойчивость и закритическое поведение большегабаритных цистерн для транспортировки сыпучих грузов / В.Г. Баженов, Е.Г. Гоник, А.И. Кибец [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2015. – №5. – С. 34–40.

8. Петров М.В. Способ приближенного расчета на устойчивость при поперечном изгибе тонкостенных цилиндрических оболочек средней длины, заполненных сыпучим материалом / М.В. Петров, Т.Г. Федорова, Е.Г. Гоник [и др.] // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Сер.: Механика предельного состояния. – 2018. – №4 (38). – С. 120–128.

9. Гоник Е.Г. Влияние аппроксимации диаграммы деформирования на критические нагрузки при поперечном изгибе цилиндрической оболочки / Е.Г. Гоник, А.И. Кибец, М.В. Петров [и др.] // Проблемы прочности и пластичности. – 2017. – Т. 79. №2. – С. 169–181.

10. Федорова Т.Г. Экспериментальное изучение влияния геометрических параметров на устойчивость тонкостенных цилиндрических оболочек, заполненных сыпучим материалом, при изгибе поперечной силой / Т.Г. Федорова, М.В. Петров, Е.Г. Гоник [и др.] // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Сер.: Механика предельного состояния. – 2018. – №3 (37). – С. 62–73.

11. Петров М.В. Влияние начальных несовершенств тонкостенных цилиндрических оболочек с сыпучим наполнителем на их устойчивость при изгибе / М.В. Петров, Е.Г. Гоник, Б.В. Михайлов // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2020. – №4 (46). – С. 47–53. – DOI 10.37972/chgpu.2020.46.4.001. – EDN LGRENW.

12. Петров М.В. Влияние несовершенств геометрии тонкостенных цилиндрических оболочек, заполненных сыпучим материалом, на их устойчивость при изгибе / М.В. Петров, Т.Г. Федорова, Б.В. Михайлов [и др.] // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы IV Международной (X Всероссийской) конференции (Чебоксары, 21–22 ноября 2018 г.). – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2018. – С. 148–156. – EDN ZBLMKТ.

13. Плотников А.Н. Сопровождение материалов: лаб. практикум / А.Н. Плотников, Т.Г. Федорова, Б.В. Михайлов. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. – 108 с.

Петров Михаил Васильевич – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», пр-т Московский, 15, г Чебоксары, 428015, Россия, e-mail: 21pmv@mail.ru

Михайлов Борис Васильевич – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», пр-т Московский, 15, г Чебоксары, 428015, Россия, e-mail: boris.mihaylov.63@mail.ru

Гоник Екатерина Григорьевна – доцент кафедры строительных конструкций, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», пр-т Московский, 15, г Чебоксары, 428015, Россия, e-mail: katya.gonik@mail.ru

Иванов Виктор Анатольевич – старший преподаватель кафедры строительных конструкций, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия, e-mail: 2605victor@mail.ru

Алексеева Олеся Анатольевна – аспирант кафедры строительных конструкций, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», пр-т Московский, 15, г Чебоксары, 428015, Россия, e-mail: aosk21@yandex.ru



Petrov Mikhail Vasilyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Structures, I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia, e-mail: 21pmv@mail.ru

Mikhailov Boris Vasilyevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures, I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia, e-mail: boris.mihaylov.63@mail.ru

Gonik Ekaterina Grigoryevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures, I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia, e-mail: katya.gonik@mail.ru

Ivanov Viktor Anatolyevich, Senior Lecturer, Department of Building Structures, Chuvash State University named after I.N. Ulyanova, Cheboksary, Russia, e-mail: 2605viktor@mail.ru

Alekseeva Olesya Anatolevna, Postgraduate Student Department of Building Structures, Chuvash State University I.N. Ulyanova, Cheboksary, Russia, e-mail: aask21@yandex.ru

УДК 621.311.21:626(470.344-25)

## **ПРОБЛЕМЫ ВЛИЯНИЯ ЧЕБОКСАРСКОГО ГИДРОУЗЛА НА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКУЮ СФЕРУ РЕГИОНА**

**Н.Г. Русинова**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»  
г. Чебоксары, Россия

***Аннотация:** в статье автором проанализирована проблема влияния строительства Чебоксарской ГЭС на социально-экономическую сферу региона. Выявлены положительные и отрицательные моменты. Возведение Чебоксарского гидроузла проводилось для решения комплексных задач с преимуществом энергетических и транспортных. При этом социальные и экологические проблемы не принимались во внимание.*

***Ключевые слова:** электрификация, гидростанция, водохранилище, зона затопления, урбанизация.*

## **PROBLEMS OF INFLUENCE OF CHEBOKSARY HYDROELECTRIC POWER PLANT ON THE SOCIO-ECONOMIC SPHERE OF THE REGION**

***Abstract:** in the article, the author analyzes the problem of the impact of the construction of Cheboksary HPP on the socio-economic sphere of the region. The positive and negative aspects are revealed. The construction of the Cheboksary hydroelectric power plant was carried out to solve complex problems with the advantage of energy and transport. At the same time, social and environmental problems were not taken into account.*

**Keywords:** *electrification, hydroelectric power station, reservoir, flood zone, urbanization.*

#### **Введение**

В Чувашской республике конец 1960-х–1970 гг. стали временем большого строительства. Началось возведение завода промышленных тракторов, осваивались новые мощности на химкомбинате, электроаппаратном заводе, ХБК, заводе электроизмерительных приборов, началась хозяйственная деятельность приборостроительного завода «Элара» [4, с. 166, 242]. Промышленные предприятия региона остро нуждались в электроэнергии. В 1968 г. дан старт строительству Чебоксарской ГЭС.

#### **Материал и методы исследований**

Исследование выполнено на основе использования различных методологических подходов и современных методов исторического исследования. В качестве базовых были применены основополагающие принципы научной объективности и историзма, а также системный подход, в совокупности акцентирующих внимание на анализ исторического прошлого не только в своем развитии, но и во взаимодействии отдельных его составляющих. Всестороннее изучение и специфика процесса строительства Чебоксарской ГЭС обусловили применение нескольких методологических подходов, таких как общеисторических (модернизационного и цивилизационного), и общенаучного (системно-синергетического). Модернизационный подход способствовал выявлению причин, ведущих тенденций и содержания преобразований. При изучении региональных аспектов избранные территориальные рамки Чувашской АССР, Марийской АССР, Горьковской обл. являются наиболее оптимальными для решения поставленных задач, так как представляют собой относительно единое социально-экономическое и культурное пространство, связанное с Чебоксарским гидроузлом. Цивилизационный подход предоставил возможность проследить социокультурный аспект изучаемой проблемы, который выразился в миграции значительных групп людей, в том числе эвакуации населения из зоны затопления и притоке рабочей силы на строительство Чебоксарской ГЭС, а также в смене нравственных ориентиров, уничтожении культурного наследия на территории будущего водохранилища и т. д.

#### **Результаты и проблематика**

Гидростроительство существенно ускорило процесс урбанизации региона. Удельный вес городского населения в г. Чебоксары и увеличился соответственно с 216 тыс. в 1970 г. [5, с. 29] до 419,6 тыс. чел. в 1989 г., в Новочебоксарске с 38,9 до 114,8 тыс. чел. [8, с. 6]. Переселялось в город и часть сельского населения для пополнения рабочей силой. Выполняя Постановление Совета Министров ЧАССР от 05.02.80 г. № 69 на строительство ГЭС из районов республики направили более 2000 чел. Пополнение городского населения происходило и за счет сельских жителей, переезжавших и из зоны затопления. Например, из п. Сосновка необходимо было переселить 135 семей [1, Оп. 1. Д. 207. Л. 19, 21].

Гидростроительство способствовало созданию производственной базы. Так к 1979 г. функционировал бетонный завод производительностью 1100 тыс. куб. м., гравийный завод, деревообрабатывающий комбинат, склад песка емкостью 2600 куб. м., растворный завод производительностью 47 тыс. куб. м в год, домостроительный комбинат производительностью 35 тыс. кв. м в год и др. [1, Оп. 1. Д. 179. Л. 3]. В городах проводилось интенсивное строительство жилых районов. В период с 1966 по 1985 гг. было построено жилья с 2,8 млн. кв. м до 9,5 млн кв. м, т. е. увеличение в 3,4 раза [4, с. 242]. Строительство жилья велось параллельно с возведением объектов инфраструктуры. Так за 2 года одиннадцатой пятилетки в г. Новочебоксарске построены и введены в эксплуатацию 8 магазинов, площадью 1170 кв. м, 10 предприятий общепита на 850 мест, общетоварный склад площадью 2000 кв. м, картофелехранилище на 460 тонн, холодильник на 1200 тонн [1, Оп. 1. Д. 285. Л. 1]. Строились школы, детские дома, пионерские лагеря, санатории и дома отдыха.

Водохранилище оказывает свое воздействие на изменение метеорологических условий в прибрежной полосе. Прежде всего, как правило, уменьшается континентальность климата: движение температуры становится более плавным, суточная амплитуда температуры воздуха уменьшается, влажность воздуха увеличивается, осенние заморозки наступают позднее, а весенние прекращаются в более ранние сроки [9, с. 38–39].

После строительства Чебоксарской ГЭС водохранилище с его большим запасом стало важным источником водоснабжения промышленных городов и населенных пунктов. Однако, ухудшается экологическое состояние Чебоксарского водохранилища. Не происходит естественного самоочищения водоема, более 30% его площади занято мелководьями с глубинами менее 2 метров. Прогрев воды в летний период вызывает бурное развитие сине-зеленых водорослей и дополнительное ухудшение качества воды за счет «цветения».

Одним из главных отрицательных воздействий водохранилища стало затопление большого количества территорий. В зоне затопления оказались территории Чувашской АССР, Марийской АССР и Горьковской области [7]. Сюда входили пойменные земельные угодья, населенные пункты, различные производственные, культурные, социальные и природные объекты. По проекту затопляемость земель: всего – 27,9 тыс. га, в т. ч. пашни и приусадебные земли 1,7 тыс. га; сенокосы – 6,2; пастбища – 1,8; леса и кустарники – 14,0; прочие земли – 4,2 тыс. га. Потери с/х продукции в натуральном и стоимостном выражении составят: зерна – 1778 тонн, картофеля 2771 тонны, овощей – 268, плодов и ягод – 17, молока – 3133 тонны, мяса – 424, шерсти – 5,2 тонны. Общая стоимость продукции в ценах 1974 г. составила 1927,2 тыс. руб. [3, Оп. 1. Д. 50. Л. 11].

На компенсацию с/х потерь предусматривалось 7,4 млн. рублей. Но из-за несвоевременного финансирования и недостаточной рабочей силы на январь 1986 года освоено всего 3,46 млн. рублей. В частности, построена Рыкшинская оросительная система, общей площадью орошения 1340 га. Она обслуживала земли колхоза им. Свердлова Чебоксарского р-

на, совхозы «Память Ульянова», «Знамя» Цивильского р-на. Построены оросительные системы в совхозе «Слава» площадью 370 га, в колхозе им. Куйбышева площадью 297 га Чебоксарского района. Начато строительство оросительной системы в колхозе «Заветы Ильича» Ядринского района площадью 2068 га. Ввод первой очереди планировался на 1987 год. Выполняя Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «По дальнейшему развитию с/х нечерноземной зоны РСФСР» силами гидростроителей возводилась объекты с/х назначения. Например, станция техобслуживания автомобилей на 600 ед. в год в с. Моргауши, в колхозе им. Чапаева Моргаушского района строился животноводческий комплекс [2, Оп. 2. Д. 2. Л. 168]. Кроме того, ежегодно решались вопросы помощи подшефным совхозам в заготовке кормов и уборке урожая. Так в июне 1981 года было отправлено в Козловский район 3820 чел. [2, Оп. 2. Д. 2. Л. 71]. Данные мероприятия отвлекали от основного строительства гидроузла трудовые ресурсы и технику.

В результате исследования мы выяснили и другие причины отставания работ по подготовке зоны затопления. Одной из них являлась излишняя централизация работ. Большая удаленность объектов инженерной защиты от центра вела к слабому контролю, срыву сроков строительства, недостаточному финансированию. Особенно отставали работы по строительству инженерных защит в г. Чебоксары, Ядрин, пос. Юрино, Фокинской и Лысковской с/х низин. Основными причинами отставания были: малая мощность производственных баз, плохая организация работ на объектах, отсутствие необходимых кадров специалистов, рабочих и жилья для их размещения [3, Оп. 1. Д. 46. Л. 12-18]. Кроме того, ощущался острый дефицит транспорта и строительных материалов. В результате объемы работ по подготовке ложа водохранилища были выполнены только на 50 %, а к 1995 г. заморожены. Этот факт является одной из основных причин негативного отношения населения к вопросу о повышении подпорного уровня Чебоксарского водохранилища.

Недостаточное финансирование сказалось и на строительстве жилья для переселения населения. Так в 1979–80 гг. министерства и ведомства, такие как Минсельхозмаш СССР, Минлегпром СССР, Минстрой СССР, Минавтотранс СССР и др., не ввели в эксплуатацию более 40 тыс. кв. м запланированного жилья. В 1981 г. эти же министерства не ввели более 42 тыс. кв. м. В 1982 г. выделяют капиталовложений на строительство только 39,3 тыс. кв. м вместо 92 тыс. кв. м. [3, Оп. 1. Д. 46. Л. 20]. В результате не было возможности переселить жителей, население оставалось жить на подтопляемых территориях, что много лет вызывало негативное отношение к властям.

Создание на Волге водного пути с гарантированной глубиной 3,65 м имеет положительный эффект. Он выразился в увеличении тоннажа и размеров судов и образования единой водной системы в Европейской части СССР. Магистраль создавалась для объединения бассейнов Волги, Дона, Невы в одну сеть с гарантированными глубинами 4 метра для обеспечения судоходства по внутренним водным путям 5 морей (Азовского, Белого, Балтийского, Каспийского и Черного). Пока же самый проблемный 54-километровый участок Чебоксарского водохранилища от Городца до Нижнего Новгорода большегрузные суда

преодолевают за несколько суток, так как гарантированная судоходная глубина выдерживается в период навигации лишь четыре часа в сутки. Из-за того, что не была достигнута проектная отметка водохранилища, по-прежнему есть ограничение движения судов класса «река-море».

В случае подъема уровня водохранилища до НПУ 68 м подпор по Волге будет простираться до плотины Нижегородской ГЭС. Подъем воды у плотины Чебоксарской ГЭС достигнет 15 метров, у Нижнего Новгорода вода поднимется на 4 метра, у плотины Нижегородской ГЭС – на 0,7 м. Подпор воды распространится по Оке на 83 км, Суре – на 90 км, Ветлуге – на 123 км. В зонах подпора на реках усилятся процессы заиления и осадконакопления, снизятся скорости течения рек. Кроме того, поднимется уровень грунтовых вод, что приведет к увеличению площади подтопленных территорий. Постановлением Законодательного Собрания Нижегородской области от 21 июня 1995 г. № 85 «О недопустимости подъема уровня Чебоксарского водохранилища» подъем уровня Чебоксарского водохранилища выше отметки 63 м признан недопустимым по причине существенного усиления отрицательных экологических и экономических последствий [6].

### **Заключение**

Энергия Чебоксарской ГЭС послужила началом развития новых промышленных территорий, улучшила энергоснабжение Поволжья и Центральной России. Ввод в эксплуатацию Чебоксарского гидроузла изменил облик всего региона. Города Чебоксары и Новочебоксарск начали стремительно расти. Повысился уровень благоустройства, выросли современные жилые микрорайоны, созданы комплексы культурно-бытовых и других объектов. Положительным фактором является и создание гарантированных судоходных глубин. Наряду с положительными результатами строительство гидроузла привело к появлению негативных социально-экономических и экологических процессов.

При проектировании водохранилища предусматривалось, что во многих местах будут созданы специальные сооружения по защите прибрежных городов и других территорий от разрушения и подтопления. Однако финансирование этих работ в 90-е гг. практически полностью прекращено, хотя сооружена лишь половина от запланированных объектов. Большинство из построенных защитных сооружений находится в неудовлетворительном или даже аварийном состоянии. До настоящего времени Чебоксарский гидроузел не завершен строительством, не принят в постоянную эксплуатацию и уже более 40 лет работает на временной промежуточной отметке водохранилища 63 м вместо проектной 68 м.

Сооружение и эксплуатация Чебоксарского гидроузла наряду с положительными результатами, основными из которых являются выработка значительного количества электроэнергии для народного хозяйства страны и создание гарантированных судоходных глубин, также повышение уровня благоустройства в городах Чебоксары и Новочебоксарск, рост современных жилых микрорайонов, создание комплексов культурно-бытовых и других объектов, привело к появлению негативных социально-экономических и экологических процессов. Это потеря благоприятных в

селитебном и сельскохозяйственном отношении территорий и переселение людей зачастую против их воли. Подъем уровня грунтовых вод привел к тому, что целые поселения оказались на подтопляемых территориях. Население вынуждено было оставлять свои дома и переезжать.

#### *Список литературы*

1. Государственный архив современной истории Чувашской Республики. Ф-3211.
2. Государственный архив современной истории Чувашской Республики. Ф-2518.
3. Государственный исторический архив Чувашской Республики Ф-2659.
4. Клементьев В.Н. История Чувашии новейшего времени / В.Н. Клементьев, И.И. Бойко, В.Г. Харитонова [и др.]; Чувашский государственный институт гуманитарных наук. Т. Кн. 2. – Чебоксары: Чувашское книжное издательство, 2009. – 398 с. – ISBN 978-5-7670-1735-5. – EDN QOQBLV. – С. 166
5. Итоги всесоюзной переписи населения 1970 г. Статистический сборник. Т. 1. Численность населения СССР – М.: Из-во «Статистика», 1972. – 272 с. – С. 29.
6. Каюмов А.А. Нижегородская область (Чебоксарское водохранилище). Брошюра из серии «Региональная экологическая политика» РОДП «ЯБЛОКО». Обзор социально-экологических проблем, связанных с планами подъема уровня Чебоксарского водохранилища на пять метров от современного. Для широкого круга читателей. – Москва: Изд-во «Лесная страна», 2011. – 32 с.
7. Русинова, Н. Г. Проблемы подготовки зоны затопления Чебоксарского гидроузла / Н. Г. Русинова // Восточно-Европейский научный вестник. – 2022. – Т. 18. № 1. – С. 42-44. – EDN SYSAUF.
8. Основные итоги Всесоюзной переписи населения 1989 г. по Чувашской АССР. – Чебоксары: Чувашское республиканское управление статистики, 1990. – 236 с., С. 6.
9. Риманов И.Ф., Юдковский А.Г. Чебоксарская ГЭС. – Чебоксары, Чуваш. Кн. из-во, 1979. – 112 с.

Русинова Надежда Германовна – старший преподаватель кафедры тепло-техники и гидравлики ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, 428015, г. Чебоксары, Московский пр., 15. (rusinovang@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0983-141X>).

Rusinova Nadezhda Germanovna, Senior Lecturer, Department of Heat Engineering and Hydraulics Chuvash State University named after I.N. Ulyanov (ChuvSU), 15 Moskovskiy Prospekt, Cheboksary, 428015, Russian Federation. (rusinovang@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0983-141X>).

УДК 69

## ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНУЮ СРЕДУ НА ПРИМЕРЕ УЧАСТИЯ СТУДЕНТОВ В BIM-СОРЕВНОВАНИЯХ

Л.А. Сакмарова

Е.А. Белова

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный  
университет им. И.Н. Ульянова»  
г. Чебоксары, Россия

***Аннотация:** государство продолжает активно участвовать в цифровизации строительной отрасли, внедряя технологии информационного моделирования на различных этапах реализации проекта, налаживает диалог с профессиональным сообществом и совместно с ним разрабатывает новые нормативно-технические документы. Ведется активная поддержка инженерных конкурсов на разных уровнях в виде проведения конкурсов, BIM-олимпиад, чемпионатов.*

***Ключевые слова:** цифровизация, информационное моделирование, информационная модель здания, BIM-моделирование, образовательная среда, соревнования.*

## INTRODUCTION OF INFORMATION TECHNOLOGIES INTO THE EDUCATIONAL ENVIRONMENT USING THE EXAMPLE OF STUDENT PARTICIPATION IN BIM COMPETITIONS

***Abstract:** the state continues to actively participate in the digitalization of the construction industry, introducing information modeling technologies at various stages of project implementation, establishing a dialogue with the professional community and jointly developing new regulatory and technical documents. There is active support for engineering competitions at different levels in the form of competitions, BIM Olympiads, and championships.*

***Keywords:** digitalization, information modeling, building information model, BIM modeling, educational environment, competitions.*

Государство продолжает активно участвовать в цифровизации строительной отрасли, внедряя технологии информационного моделирования на различных этапах реализации проекта, налаживает диалог с профессиональным сообществом и совместно с ним разрабатывает новые нормативно-технические документы. Ведется активная поддержка инженерных конкурсов на разных уровнях в виде проведения конкурсов, BIM-олимпиад, чемпионатов.

Внедрение информационных технологий BIM (Building Information Modeling) проектирования в образовательную среду является актуальной темой в настоящее время. BIM – это инновационный подход к проекти-

рованию и строительству, основанный на создании трехмерной информационной модели здания или объекта, включающей в себя все его характеристики и параметры.

Такой подход имеет несколько значимых преимуществ. Во-первых, оно позволяет студентам осваивать современные технологии и инструменты, которые в дальнейшем будут использовать в своей профессиональной деятельности. Это помогает им улучшить свои навыки и компетенции, делая их более конкурентоспособными на рынке труда.

Во-вторых, применение BIM в образовательной среде способствует повышению качества образования. Благодаря возможности создания трехмерных моделей зданий или объектов, студенты могут более глубоко изучать различные аспекты и детали проектирования. Это помогает им развивать свою творческую мысль, аналитические и пространственные навыки.

Также использование BIM в образовательной среде дает возможность студентам работать над реальными проектами и сотрудничать с профессионалами из индустрии. Благодаря такому опыту они могут получить ценные практические знания и улучшить свои навыки командной работы. Это также способствует их адаптации к реальным условиям профессиональной деятельности и готовности к будущей карьере.

Использование BIM в образовательной среде способствует снижению затрат и улучшению эффективности проектирования. Это одно из приоритетных направлений деятельности Минстроя России. Стоит задуматься над применением в учебном процессе технологий информационного моделирования профессиональной деятельности, рациональным их сочетанием с профессиональными дисциплинами для эффективности обучения [1]. Для перехода строительной отрасли к новым технологиям необходима подготовка квалифицированных кадров. Строительный факультет Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова успешно ведет подготовку специалистов в области информационного моделирования зданий [5–6]. Благодаря совместной работе по изучению необходимого программного комплекса для работы с БИМ и освоения учебных дисциплин по учебному плану программы бакалавриата направления подготовки «Строительство» 08.03.01 направленность (профиль) «Проектирование зданий» Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова (сформирован с учетом требований ФГОС ВО – бакалавриата по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, ориентируясь на профессиональный стандарт 10.008 «Архитектор») у студентов будут сформированы следующие умения и навыки:

- создание моделей отдельных элементов зданий;
- информационное моделирование зданий и сооружений;
- редактирование информационных моделей зданий;
- извлечение информации из BIM-моделей зданий;
- редактирование, оформление рабочих чертежей архитектурных и конструктивных решений зданий различного назначения [4].



В России становится все более популярным проведение конкурсов по BIM-проектированию разных направленностей, как среди строительных организаций, так и среди студентов строительных вузов и техникумов. Рассмотрим подробнее значимость таких конкурсов для обучающихся.

Соревнования среди студентов по BIM проектированию – это увлекательные соревнования, которые проводятся с целью развития и повышения навыков студентов в области BIM-технологий. Эти соревнования направлены на то, чтобы дать студентам возможность продемонстрировать свои знания и умения в создании трехмерных моделей и виртуальной среды.

Одна из основных целей этих соревнований – мотивировать студентов участвовать в активной практике и расширять границы своего знания в области BIM. В результате участия в конкурсах, студенты получают возможность применить свои теоретические знания на практике и улучшить свое мастерство в области проектирования.

Конкурсы по BIM проектированию включают в себя решение различных задач, связанных с созданием BIM-моделей и их анализом. Участники должны продемонстрировать свои навыки в создании и управлении информацией о проекте, моделировании различных видов строительных систем, анализе пространственных данных и координации работы над проектом между разными участниками команды.

Участие в соревнованиях по BIM проектированию имеет множество преимуществ для студентов. Во-первых, это отличная возможность для саморазвития и повышения профессионального уровня. Соревнования дают студентам шанс применить свои знания на практике и показать свои уникальные способности в решении сложных задач. Кроме того, участие в подобных конкурсах помогает студентам найти новых друзей и коллег, с которыми они могут поделиться своими идеями и опытом работы.

Другим важным преимуществом участия в соревнованиях по BIM проектированию является возможность получить отзывы и обратную связь от профессионалов в данной области. Это помогает студентам лучше понять свои сильные и слабые стороны, а также знать, над какими навыками стоит работать для дальнейшего развития. Также участники соревнований могут получить призы и награды, что является отличным стимулом для дальнейшей карьеры и учебы. Многие спонсоры конкурсов поощряют выделившихся студентов возможностью стажировки, что дает большой толчок в карьерной лестнице.

Студенты Чувашского государственного университета не раз участвовали в подобных соревнованиях. В 2023 году студенты приняли участие в третьем Всероссийском конкурсе кадров для цифрового строительства BIMSKILLS – 2023, во Всероссийском Тим-чемпионате СПбГАСУ 2023 и в Международном строительном чемпионате 2023 (Студенческая Лига).

Преимущества конкурсов в том, что можно использовать любое BIM-ПО, при условии его возможности экспорта модели в формат IFC 2x3, либо IFC 4. Это расширяет возможности, как вузов, так и для студентов, т. к. возможно изучение различно ПО, поиска их преимуществ и недостатков для дальнейшей успешной работы.

Так как задание выполняет команда, то предпочтительность работы в команде при BIM проектировании в строительной отрасли как для самих участников команды, так и для строительной организации в целом, является неоспоримой.

Первым и, пожалуй, самым значимым преимуществом работы в команде при BIM проектировании является возможность объединить различные специализации и навыки, что позволяет достичь более высокой эффективности и качества работы. Команда, состоящая из проектировщиков, архитекторов, инженеров и других специалистов, способна предложить более глубокий и всеобъемлющий подход к проектированию и строительству. Взаимодействие различных дисциплин способствует выявлению и устранению потенциальных проблем и конфликтов еще на этапе разработки проекта, что позволяет сократить время и ресурсы, затрачиваемые на исправление ошибок в процессе реализации. Дополнительным плюсом работы в команде при BIM проектировании является возможность обмена знаниями и опытом между участниками команды. Каждый специалист имеет свое экспертное мнение и уникальный опыт, который может быть полезным для решения сложных задач. Коллективное обсуждение и анализ различных идей и предложений позволяют принимать более рациональные решения и найти оптимальные пути в реализации проекта. Кроме того, работа в команде при BIM проектировании способствует улучшению коммуникаций между различными участниками строительного процесса. Четкое определение ролей и ответственности, а также систематические встречи и обсуждения, помогают установить эффективный поток информации и заранее решить проблемы, связанные с координацией и согласованием работ. Это позволяет избежать лишних затрат времени и конфликтов на этапе исполнения проекта.

Для строительной организации работа в команде при BIM проектировании также приносит значительные преимущества. Во-первых, это повышение конкурентоспособности на рынке. С использованием BIM-технологий и работой в команде организация может предложить заказчикам более высокое качество и точность разработки проектов, а также более эффективное управление процессом строительства. Это позволяет привлекать новых клиентов и укреплять позиции на рынке. Во-вторых, работа в команде при BIM проектировании способствует сокращению рисков и избеганию возможных проблем и ошибок в проекте. Благодаря более детальным анализам и проверкам на этапе разработки, команда способна предвидеть и устранить потенциальные проблемы с самого начала проекта, что снижает риск непредвиденных расходов и задержек в реализации.

Задание первого этапа конкурса BIMSKILLS – 2023 состояло в разработке проекта гостиницы, включающего в себя информационные модели разделов «Архитектурные решения», «Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений», «Генеральный план», также необходимо было разработать проектную документацию и средства автоматизации.

На чемпионате СПбГАСУ по технологиям информационного моделирования всё было приближено к реальным условиям работы: конкурсное задание – от отраслевой компании BIMPRO, в командах – будущие архитекторы, конструкторы, инженеры отопления и вентиляции, водоснабжения и водоотведения, электроснабжения, организации строительства, сметчики, системные координаторы. Режим работы – пятидневка. Таким образом, участники чемпионата погрузились в профессиональную сферу, в которой им предстоит работать после окончания вузов, проверили уровень своих компетенций и приобрели опыт работы в команде.

Необходимо было создать полноценный проект гостиничного комплекса типа «глэмпинг» на берегу озера Байкал. Командой были разработаны разделы АР, КР, ОВ, ВК, также была выполнена работа ТИМ-координатора (рис. 1–7). Обратите внимание насколько разнообразно использованное ПО, которым владеют будущие специалисты. Это показывает довольно высокую оценку совместной работе основных образовательных дисциплин и внедрению цифровизации в учебный процесс.



Рис. 1. Визуализация гостиничного комплекса, выполнено в ПО Lumion

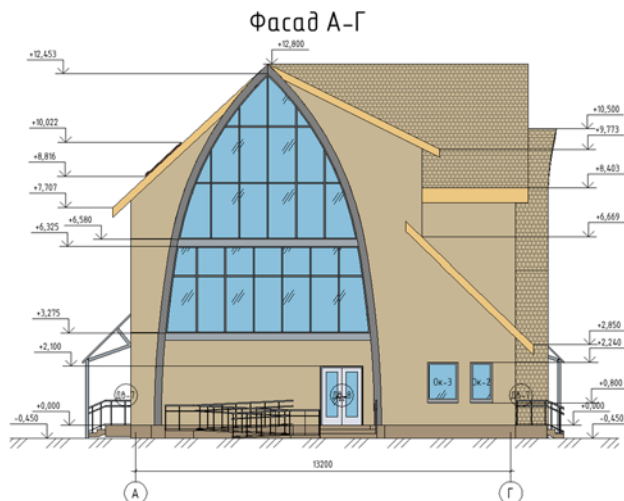


Рис. 2. Фасад А-Г главного корпуса гостиничного комплекса, выполнено в ПК Ревит

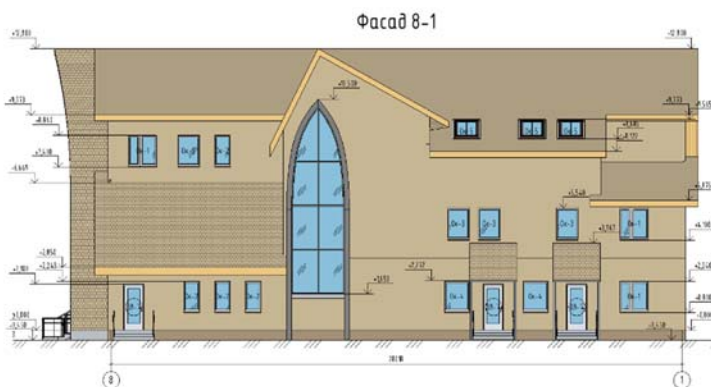


Рис. 3. Фасад 8-1 главного корпуса гостиничного комплекса, выполнено в ПК Ревит

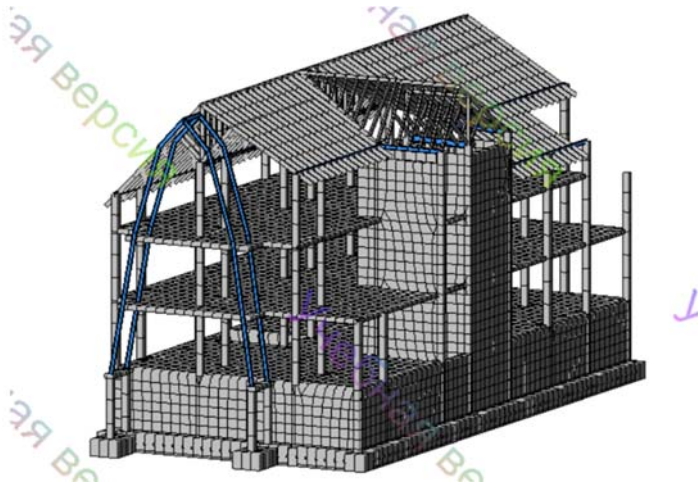


Рис. 4. Пространственная модель здания, выполненная в ПК Лира-САПР

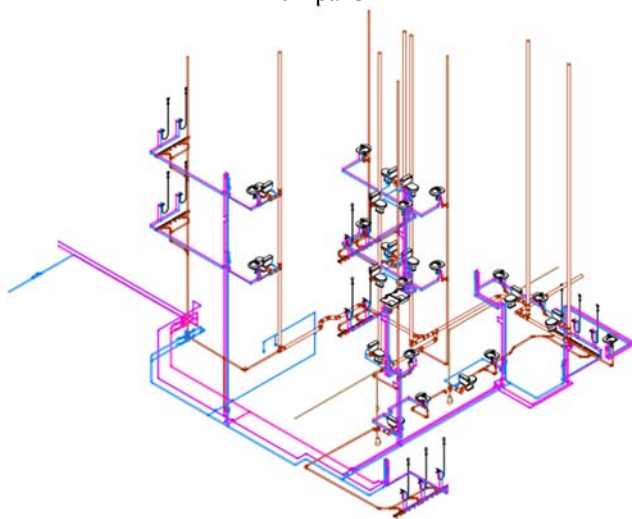


Рис. 5. Изометрическое изображение напорной канализации с применением дренажных насосов Wilo

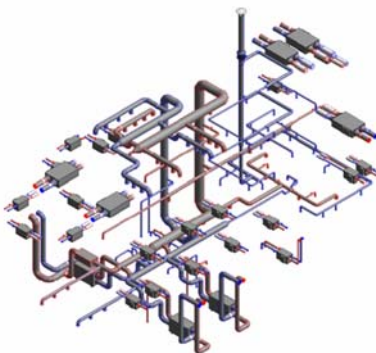


Рис. 6. Изометрическое изображение приточно-вытяжного семейства вентиляции с использованием приточно-вытяжных установок Shift с рекуператором

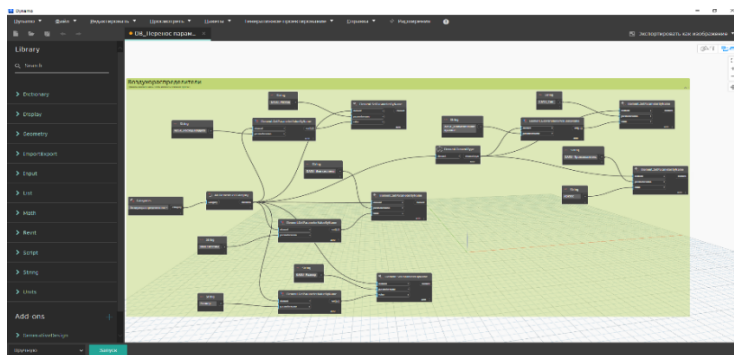


Рис. 7 Фрагмент скрипта в Динамо для файла раздела ОВ

Работа в присутствии представителей отраслевых компаний – хорошая возможность заявить о себе, поэтому соревнования по БИМ проектированию с каждым годом становятся всё популярнее.

Развитие ВІМ-моделирования ведет нас к тому, что со временем организации России и Чувашской Республики в подавляющем большинстве будут использовать информационное моделирование как основной инструмент [3].

В настоящее время пока еще ни один из программных продуктов полностью не покрывает потребности всех специальностей при информационном BIM-моделировании, таким образом, необходимо применять несколько различных САПР для налаживания междисциплинарного взаимодействия: архитектурной, конструкторской, технологической, инженерной, электротехнической и т. д. направлений при проектировании объектов. Все перечисленное возможно только при активном внедрении в учебные программы ВУЗов дисциплин, связанных с BIM-моделированием [4–6].

### Заключение

Технологии BIM позволяют автоматизировать многие процессы, сокращая время и ресурсы, необходимые для создания проектов. Это позволяет учреждениям образования более эффективно использовать свои ресурсы и предлагать студентам более качественное обучение. Также использование информационных технологий способствует современному развитию образования, повышению качества обучения студентов и их подготовке к будущей профессиональной деятельности. Автоматизация процессов и использование современных инструментов позволяет снижать затраты и улучшать эффективность проектирования. В результате, внедрение BIM является важным и актуальным шагом в развитии образования.

### Список литературы

1. Сакмарова Л.А. Применение BIM-технологий в образовательной среде на примере строительного факультета Чувашского государственного университета / Л.А. Сакмарова, М.А. Бахмисова // Жилищное строительство. – 2017. – №10. – С. 11–17.
2. Сакмарова Л.А. Специфика подготовки выпускников специальности «Проектирование зданий» / Л.А. Сакмарова // Вестник Чувашского университета. – 2011. – №2. – С. 270–275.
3. Солин С.В. Проблемы внедрения информационного моделирования зданий (BIM) в Чувашской Республике и пути их решения / С.В. Солин, Л.А. Сакмарова // Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020: Материалы V Международной (XI Всероссийской) конференции (Чебоксары, 25–26 ноября 2020 г.). – Чебоксары: Среда, 2020. – С. 47–54.
4. Сакмарова Л.А. BIM-моделирование, как основной инструмент цифровизации образовательных технологий при подготовке кадров строительной отрасли / Л.А. Сакмарова, М.А. Бахмисова // Жилищное строительство. – 2023. – №10. – С. 56–62.
5. Бахмисова М.А. Цифровизация, информационное моделирование и проектирование в учебном процессе / М.А. Бахмисова, Л.А. Сакмарова // Новые компетенции цифровой реальности: теория и практика их развития у обучающихся: сборник докладов и научных статей III Всероссийской научно-практической конференции (Чебоксары, 24 марта 2022 г.). – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2022. – С. 22–30.
6. Сакмарова Л.А. Деятельностно-компетентный подход в условиях перехода на многоуровневую систему подготовки выпускников профиля «Проектирование зданий» / Л.А. Сакмарова // Вестник Чувашского университета. – 2010. – №4. – С. 171–175.

Сакмарова Лариса Алексеевна – доцент по кафедре архитектура, зав. кафедрой архитектуры и дизайна среды e-mail: lara.sakmarova@mail.ru

Белова Екатерина Андреевна – магистрант 1 курса по направлению 08.04.01 Строительство, направленность Промышленное и гражданское строительство: проектирование ФГБОУ ВО «ЧГУ имени И.Н. Ульянова», г.Чебоксары, e-mail: katya.vitleykina@mail.ru

Sakmarova Larisa Alekseevna, Associate Professor at the Department of Architecture, Head. Department of Architecture and Environmental Design e-mail: lara.sakmarova@mail.ru

Belova Ekaterina Andreevna, 1st year master's student in the direction of 08.04.01 Construction, focus Industrial and civil engineering: design FSBEI HE "CSU named after I.N. Ulyanova", Cheboksary, e-mail: katya.vitleykina@mail.ru

Для заметок



*Научное издание*

**СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ  
МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД – 2023**

Сборник статей по материалам  
IV Международной конференции  
(Чебоксары, 12 декабря 2023 г.)

Чебоксары, 2023 г.

Ответственный редактор *Л.А. Максимова*  
Компьютерная верстка *А.Д. Федоськина*  
Дизайн обложки *Н.В. Фирсова*

Подписано в печать 26.12.2023 г.

Дата выхода издания в свет 29.12.2023 г.

Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Гарнитура Times. Усл. печ. л. 11,625. Заказ К-1257. Тираж 500 экз.

Издательский дом «Среда»  
428005, Чебоксары, Гражданская, 75, офис 12  
+7 (8352) 655-731  
[info@phsreda.com](mailto:info@phsreda.com)  
<https://phsreda.com>

Отпечатано в Студии печати «Максимум»  
428005, Чебоксары, Гражданская, 75  
+7 (8352) 655-047  
[info@maksimum21.ru](mailto:info@maksimum21.ru)  
[www.maksimum21.ru](http://www.maksimum21.ru)