

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 – 2025**

**MODERN QUESTIONS
OF CONTINUUM MECHANICS – 2025
MQCM – 2025**

Сборник статей по материалам
V Международной конференции
(Чебоксары, 15 октября 2025 г.)

Чебоксары
Издательский дом «Среда»
2025

УДК 531(082)

ББК 22.2я43

C56

*Рекомендовано к публикации на основании Решения учёного совета
строительного факультета Чувашского государственного
университета им. И.Н. Ульянова (протокол от 05.12.2025 №11)*

Рецензенты:

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

аграрный университет»

A. Н. Максимов;

д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой
высшей математики и естественных наук
ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»

B. Б. Карпухин

Редакционная коллегия:

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

Современные вопросы механики сплошных сред – 2025 :

C56 сб. ст. по материалам V Международной конференции
(Чебоксары, 15 окт. 2025 г.) / отв. ред. Л. А. Максимова;
Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова. –
Чебоксары: Среда, 2025. – 189 с. – 1 CD-ROM. – Загл. с титул.
экрана. – Текст : электронный.

ISBN 978-5-908083-30-0

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.

Минимальные системные требования:

PC с процессором Intel 1,3 ГГц и выше ; 256 Мб (RAM) ; Microsoft Windows, MacOS ; дисковод CD-ROM ; Adobe Reader

УДК 531(082)
ББК 22.2я43

© Коллектив авторов, 2025

© Чувашский государственный
университет им. И. Н. Ульянова, 2025

© Издательский дом «Среда»,
оформление, 2025

ISBN 978-5-908083-30-0
DOI 10.31483/a-10827

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
РАЗДЕЛ 1. МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА	
<i>Евтихов Д.О.</i> Упругопластическое кручение композитного стержня	10
<i>Максимова Л.А., Рытова Т.Г., Мозгова А.С.</i> Прямые и обратные задачи механики	16
<i>Максимова Л.А., Юденков А.В.</i> Исследование разрешимости задач для бианалитических функций в теории упругости	20
<i>Николаев В.В., Гоник Е.Г.</i> Исследование тонкостенной балки с наклонными реберами жесткости в ПК ANSYS	25
<i>Петров М.В., Алексеева О.А., Михайлов Б.В., Гоник Е.Г., Иванов В.А.</i> Экспериментальное определение предела пропорциональности при кручении тонкостенной цилиндрической оболочки из алюминиевого сплава	32
<i>Плотников А.Н., Аринина Н.Н., Бурцев В.А., Михайлов Б.В.</i> Распределение усилий в объеме тела пересекающихся железобетонных балок	40
<i>Сенашов С.И., Савостьянова И.Л.</i> О свойствах квазилинейных уравнений механики	54
<i>Сенашов С.И., Черепанова О.Н.</i> Г-интегралы, как законы сохранения двумерной теории упругости	58
<i>Смагин И.В.</i> Моделирование трещинообразования на критических площадках массива каменной кладки	61
РАЗДЕЛ 2. МЕХАНИКА НЕСУЩИХ СИСТЕМ	
<i>Николаева А.Г., Иванова Н.В., Солин С.В.</i> Компьютерное моделирование узлов стальной рамы	68
<i>Прокопьев А.П., Гоник Е.Г.</i> Влияние на несущие конструкции здания вариантов стадийности возведения	75
<i>Раджапбаев Н., Русинова Н.Г.</i> Водоснабжение и водоотведение в Туркменистане: современное состояние и перспективы развития	83
<i>Русинова Н.Г., Щенникова Т.В., Федоров Н.А.</i> Проблемы Чебоксарского гидроузла на современном этапе	90

Сакмарова Л.А., Гоник Е.Г., Бахмисова М.А., Мусорин Д.А.	
Влияние технологических несовершенств на несущую способность кирпичной стены	100
Сметанкин Р.А.	
Устройство грунтовых анкеров в качестве заглубленных удерживающих строительных конструкций	109
Соколов Н.С.	
Основание фундамента повышенной несущей способности.....	115
Соколов Н.С.	
Случай из геотехнической практики восстановления аварийной ситуации на водоводе высокого давления.....	121
Соколов Н.С.	
Практика усиления неустойчивого склона при возведении объектов	129
Соколов Н.С.	
Усиление слабого основания в особо стесненных условиях.....	136
Соколов Н.С., Сергеев С.В., Богданов В.Ф.	
Геотехническая практика усиления слабого основания	143
Соколов Н.С.	
Электроимпульсная установка для изготовления свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ).....	150
Соколов Н.С., Викторова С.С., Терехова О.П., Федосеева И.П., Соколов С.Н., Соколов А.Н.	
Геотехническая практика возведения объектов в стесненных условиях	157
Соколов Н.С., Федоров П.Ю., Сметанкин Р.А.	
Ошибки при проектировании и возведении заглубленных удерживающих строительных конструкций	164
Творогов В.А., Варламов А.Г., Тойлыбаев М.С.	
Исследования по обоснованию параметров расположения точек отбора проб промышленных выбросов.....	173
Шакиров И.И., Яковлев А.П.	
Современные материалы и технологии отделки фасадов при реконструкции	183

Предисловие

Дюису Даниловичу Ивлеву – 95!

Дюис Данилович Ивлев, Д. Д., как все его называли, был моим учителем, Учителем с большой буквы. В нем сочетались удивительные качества, и о каждой стороне его таланта можно написать не одну книгу. Думаю, не ошибусь, если привести любой из положительных эпитетов, то он наверняка подойдет Дюису Даниловичу. Сказать – выдающийся, это ничего не сказать.

Дюис Данилович имел огромный авторитет в научном кругу механиков (МДДТ), был интересным собеседником на любые темы, его мемуарами зачитывались и зачитываются.

Дюис Данилович оставил после себя те дела и поступки на благо страны, которые он понимал, что мог сделать и мало кто бы другой смог. Он часто говорил: «если я это не сделаю, то кто сделает?». Перечислить все его заслуги не представляется возможным, так как о многих своих делах он не распространялся, как он говорил: «сделал и забудь». В понимании жизни, отношениях между людьми, я не вижу ему равных. Он обладал отличной интуицией, постоянно познавал новое, изучал различные религии, философию, историю.

И самое главное его качество – делиться своим багажом с соратниками. И в смысле научном и в смысле этики жизни. По любому вопросу он приводил зарисовки из своей жизни, и они учили добру, простоте. Например, когда Д. Д. будучи аспирантом попросил консультации у профессора для рецензии статьи, тот назначил ему время на 7 утра, так как остальное время было занято. Во время этого разговора, профессор вдруг встал и пошел к окну, закрыл его так как сильно дуло (у профессора даже мысли не возникло попросить об этом аспиранта). И этот вектор жизни он перенял и нес всегда. Его коллеги, друзья, соседи имели различные интересы как в области механики, так и в математике. Все не скрывали, что общаться с Дюисом Даниловичем Ивлевым большая удача. И в ответ, он тоже радовался общению, делился своими мыслями, рассказывал о своих учителях. К сожалению, эти истории не записаны.

Ученники, защиты, конференции, гранты, журналы, докторские советы, лекции, академии, научные статьи, статьи – воспо-

минания, монографии, и все это по разным папкам, все в «планинге», на чистом листе бумаги с 1 по 31 число, с вырезанием того что сделано. Все его дела, это не только работа, но и посильная помощь по любому направлению. Дюис Данилович ко всем относился с большим уважением, называл всех по имени отчеству, предвидел некоторые вещи, полагался на интуицию и ангела хранителя. Когда кто то делился радостью о рождении ребенка, он проговаривал его по имени отчеству, как бы предвидя его судьбу.

Эти воспоминания, его и о нем, хотя бы в маленькой толике (так как каждый кто с ним общался может вспомнить довольно много) должны быть изданы, я надеюсь собрать их к следующему юбилею. Фамилия Ивлев Д. Д. для многих будет воспоминания. Начнем с Алексея Юденкова.

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

Три портрета Д.Д. Ивлева

Сразу хочу предупредить, что я не являюсь учеником Дюиса Даниловича. Мой небольшой рассказ – это взгляд со стороны на выдающегося учёного.

Я согласен с Джеком Лондоном (Тропою ложных солнц), что в памяти человека остаются яркие картины прошлого без начала, конца и ясного смысла. Вот три картины (портрета) Ивлева, которыми хочу с вами поделиться.

Картина 1 (2004 год).

Приезжаю в Горный университет. Редкозубов Сергей Алексеевич (мой научный руководитель и добрый друг) сидит в кресле и пыхтит от удовольствия.

– Алексей, догадайся, с кем я подружился?

– Сдаюсь.

– С Ивлевым! С ДЮИСОМ (он сказал именно прописными буквами)!!!

– Ого!

– Что «ого»? Ты знаешь, кто такой ДЮИС?

Я оборачиваюсь на коллектив кафедры высшей математики и по их лицам догадываюсь, что я единственный невежда.

– Не знаю.

– Это выдающийся математик. Нет! Это самый выдающийся математик. Вот что ты, профессор, читал по математике?

– Фихтенгольца первый и второй том.

– А теперь прочтёшь Илева. И запиши его оппонентом к своей аспирантке. Он выступит на нашем совете.

Спустя месяц – я на совете с кривым впечатлением о «теории идеальной пластичности» в голове. Доклад соискателя окончен, вопросы заданы. Слово предоставляется оппонентам. Дюис Данилович не зашёл, он вырос перед нами как башня. Высокий, стройный, спокойный. Берёт мой экземпляр автореферата и начинает говорить. Голос соответствует величественному облику. В зале, наполненном весёлым диссертационным советом Редкозубова, тишина.

Защита закончена. Выхожу из аудитории и втыкаюсь в Илева на уровне его солнечного сплетения.

– Это ты Юденков? – спрашивает он.

Я сознаюсь.

– Серёжа (Редкозубов) сказал, что ты прочитал все мои монографии. Тебе они очень понравились. И у тебя есть вопросы. Задавай!

– Я прочитал. Мне всё понравилось, но я ничего пока не понял.

– Ну, Юденков, тогда поговорим позже, когда поймёшь.

Кто-то за спиной хихикает. Оборачиваюсь. Это Редкозубов.

Конец первой картины.

Картина 2 (2005 год, май).

Опять защита моего аспиранта. День начинается ужасно. Председатель совета Редкозубов тяжело болен. Первый оппонент Ивлев опаздывает. Народ рвётся из душной аудитории на поиски приближающегося лета. Заседание под угрозой срыва. Принимается компромиссное решение. Выслушивается соискатель. Если Дюис к этому моменту не появляется, то защита объявляется несостоявшейся.

Аспирант завершает доклад. Неумолимая и.о. председателя:

– Поскольку оппонент Ивлев Дюис Данилович...

– Присутствует, – звучит Дюис, появляясь в последний момент как герой боевика.

Дюис заходит, слегка сутулясь. Словно боится задеть головой косяк. Это совсем другой портрет. На нём светлые брюки и рубашка. Лицо весёлое. Он теперь не гранитный памятник, а некий Карлсон из Бробдингнега (страна великанов). Но харизма даёт по-прежнему. Выступив, Ивлев подходит ко мне.

– Юденков, подвинься, сяду. Я хорошо выступал?

– Хорошо.

– Точно хорошо?

– Очень хорошо!!!

Дюис смотрит на меня внимательно.

– Я опоздал, – выдаёт он очевидное.

– Да, вы опоздали.

– И хорошо выступил, – напомнил Дюис.

Совет заканчивается.

– Юденков, ты сейчас занят?

– Нет. До двенадцати свободен.

– Пошли на свежем воздухе посидим. Погода хорошая.

Свежий воздух рядом. В соседней аудитории открыто окно, выходящее во внутренний двор университета. Зелёные верхушки деревьев на нашем уровне. У Ивлева из огромной ладони рождается бутылка коньяка (моя). Я не знал, что Дюис Данилович рассказчик такого уровня. И границ его своеобразного юмора тоже не знал. Истории интересные. Если я надумаю записать одну из них, то назову так:

«Как Леонид Ильич для Дюиса блины пёк».

На календаре май. И всё лето целиком ещё впереди.

Конец второй картины.

Портрет третий (2007 год, между осенью и зимой).

Мне надо было подписать у Дюиса Даниловича какую-то очень срочную и важную ерунду. Я приехал к нему домой. В Москве он жил на Кутузовском проспекте, дом 26. Этот дом называют домом Брежнева. Мне открыла его жена. Маленькая седая старушка.

Дюис в валенках и тёплой безрукавке сидит в кресле. Я обращаю внимание, что он постарел и его плечи согнулись. Может, безрукавка виновата. В руках у Ивлева листы.

– Хочу организовать журнал и сделать его ваковским (механика предельного состояния).

Я смотрю на его согнутые плечи и сомневаюсь. Получится ли у него? Зря. У него получилось.

– Чем сейчас занимаешься? – спрашивает Дюис Данилович.

В то время я совершил интересное, но неплодотворное путешествие в мир фазовых переходов.

– А мне всегда был интересен гиперболический мир. Гиперболические уравнения, – признался Дюис и добавил.

– Правда, они не могут ответить на самый важный вопрос.

– Какой?

– Вот жил человек и вдруг умер. Почему? – медленно произнёс Ивлев.

Этому чисто биологическому вопросу Ивлев впоследствии посвятил статью «Мир эллиптический, мир гиперболический». На мой взгляд рассказчиком он был более талантливым, чем писателем беллетристом.

Конец третьей картины.

Эпилог (2013).

Приезжаю в Горный. Редкозубов сидит в кресле. Лицо красное и злое.

– Дюис умер. Вот жил человек жил и вдруг умер.

Они об этом говорили или просто мысли совпадли?

Конец.

*Юденков Алексей Витальевич,
профессор, д-р физ.-мат. наук,*

Смоленский филиал

*Российского экономического
университета им. Г.В. Плеханова*

РАЗДЕЛ 1. МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 539.374

УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЕ КРУЧЕНИЕ КОМПОЗИТНОГО СТЕРЖНЯ

Д. О. Евтихов

Сибирский государственный
университет науки и технологий
им. академика М.Ф. Решетнева
г. Красноярск, Россия

Аннотация: рассмотрена задача о упругопластическом кручении композитного стержня прокатного профиля, армируемого волокнами. Для решения задачи использовались законы сохранения. Разработана программы для ЭВМ для нахождения упругопластической границы стержня. Приведены результаты работы программы для z-образного, крест-обознного, тавр и двутавр профилей.

Ключевые слова: упругопластическая граница, задача кручения стержней прокатного профиля, композиты, законы сохранения.

ELASTIC-PLASTIC TORSION OF COMPOSITE ROD

Abstract: the problem of elastic-plastic torsion of a composite rod of a rolled profile reinforced with fibers is considered. Conservation laws were used to solve the problem. Computer programs have been developed to find the elastic-plastic boundary of the rod. The results of the program for z-shaped, cross-shaped, brands and I-beam profiles are presented.

Keywords: elastic-plastic boundary, the problem of torsion of rolled profile rods, composites, conservation laws.

Введение

В последнее время композитным материалам уделяется повышенное внимание [1–5].

Определение упругопластической границы в подверженных кручению стержнях является критически важной задачей для установления предела прочности изделия либо целенаправленного повышения его механических характеристик посредством пластического формоизменения. Ключевыми условиями данного

процесса выступают: локализация пластических деформаций исключительно в приповерхностных слоях материала, недопущение разрушения упрочняемого объекта и сохранение его эксплуатационных свойств.

В современной инженерной практике широкое применение находят композитные стержни прокатного профиля, армированного волокнами, которые обладают рядом эксплуатационных преимуществ по сравнению с цельнометаллическими аналогами, такими как сниженная масса и повышенная несущая способность до наступления разрушения. Однако, несмотря их растущую распространенность, общепринятые методики расчета их предельного сопротивления нагрузкам в настоящее время остаются недостаточно разработанными.

Перечисленные проблемы приводят к задаче нахождения упруго-пластической границы композитных стержней прокатного профиля, армированных упругими волокнами [6]. До работ авторов [7–9] не было представлено эффективного метода, который позволял бы решать эту задачу. Использование законов сохранения для решения дифференциальных уравнений позволило получить аналитические формулы для нахождения упругопластической границы стержней. В данной работе предложен метод построения упругопластической границы в скручиваемых стержнях композитного прокатного профиля. Этот метод позволяет сделать оценку несущей способности таких стержней.

Постановка задачи

Рассмотрим прямолинейный композитный стержень, изготовленный из упруго пластического материала, армированный упругими N волокнами.

Матрица стержня имеет модуль упругости G и предел текучести при чистом сдвиге k . Волокна расположены вдоль стержня в произвольном порядке параллельно оси Z . Каждое волокно имеет круглое сечение, центр располагается в точке A_i с координатами (x_i, y_i) , радиус волокна равен R , модуль упругости G_i . Пределы текучести волокон превосходят предел текучести матрицы. Касательное напряжение между волокном и матрицей равно $\tau < k$.

Заданный процесс описывается уравнением равновесия

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

и уравнением совместности деформаций

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial y} = \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial x} + a, \quad (2)$$

где $a = -G\theta$, θ – угол закручивания, G – модуль упругости.

Границные условия на боковой поверхности стержня, свободной от напряжений, и находящейся в пластическом состоянии

$$\tau_{xz}n_0 + \tau_{yz}m_0 = 0, \quad \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2 = k^2,$$

где n_0, m_0 – компоненты вектора нормали к боковой поверхности; которые можно записать в виде

$$\tau_{xz} = \mp mk, \tau_{yz} = \pm nk. \quad (3)$$

На границе между волокном и матрицей выполняются условия

$$\tau_{xz}m_i - \tau_{yz}n_i = \tau, \quad \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2 = k^2,$$

где n_i, m_i – компоненты вектора нормали к боковой поверхности i -го волокна, которые запишем в виде.

$$\tau_{xz} = m\tau \pm n\sqrt{k^2 - \tau^2}, \quad \tau_{yz} = n\tau \pm m\sqrt{k^2 - \tau^2}. \quad (4)$$

Законы сохранения уравнений (1) – (2)

Для удобства дальнейших вычислений введем следующие обозначения

$$\tau_{xz} = u, \tau_{yz} = v,$$

Тогда задача (1) – (4) запишется так

$$F_1 = u_x + v_y = 0, \quad F_2 = u_y - v_x - a = 0, \quad (5)$$

на боковой поверхности

$$u = \mp mk, \quad v = \pm nk,$$

на границе волокна и матрицы

$$u = m\tau \pm n\sqrt{k^2 - \tau^2}, \quad v = n\tau \pm m\sqrt{k^2 - \tau^2}.$$

Определение. Законом сохранения для системы уравнений (5) назовем выражение вида

$$A_x(x, y, u, v) + B_y(x, y, u, v) = \omega_1 F_1 + \omega_2 F_2, \quad (6)$$

где ω_1, ω_2 – некоторые линейные операторы, одновременно не равные тождественно нулю.

Пусть

$$A = \alpha^1 u + \beta^1 v + \gamma^1, \quad B = \alpha^2 u + \beta^2 v + \gamma^2, \quad (7)$$

где $\alpha^i, \beta^i, \gamma^i$ – функции только от x, y .

Подставляя (7) в (6), получаем

$$\alpha_x^1 + \alpha_y^2 = 0, \quad \beta_x^1 + \beta_y^2 = 0, \quad \alpha^1 = \omega_1,$$

$$\beta^1 = -\omega_2, \quad \alpha^2 = \omega_2, \quad \beta^2 = \omega_1, \quad \gamma_x^1 + \gamma_y^2 = -a\omega_2.$$

Отсюда следует

$$\alpha_x^1 - \beta_y^1 = 0, \quad \beta_x^1 + \alpha_y^1 = 0, \quad \gamma_x^1 + \gamma_y^2 = -a\beta^1. \quad (8)$$

Рассмотрим для системы уравнений (8) два решения:

$$\alpha^1 = \frac{x - x_0}{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}, \quad \beta^1 = -\frac{y - y_0}{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}, \quad (9)$$

$$\gamma^1 = -a \operatorname{arctg} \frac{x - x_0}{y - y_0}, \quad \gamma^2 = 0,$$

$$\alpha^1 = \frac{y - y_0}{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}, \quad \beta^1 = \frac{x - x_0}{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}, \quad (10)$$

$$\gamma^2 = -a \operatorname{arctg} \frac{y - y_0}{x - x_0}, \quad \gamma^1 = 0,$$

где x_0, y_0 – постоянные.

Более подробно эти вычисления рассматриваются в [7].

Используя данные формулы, можно построить упругопластическую границу многослойных стержней прокатного профиля, армированных упругими волокнами. Для этого нами были разработаны программы [10] в среде Maple. Результаты расчета представлены далее.

На рисунке 1 представлены упругопластические границы прокатных профилей двутавр, тавр, крест и Z-образного сечения армированных упругими волокнами. Значения параметра i у верхнего слоя -0.6, у нижнего -1.6. Границы слоев обозначены черной линией. Пластичные области обозначены красными крестиками, упругие зелеными кругами.

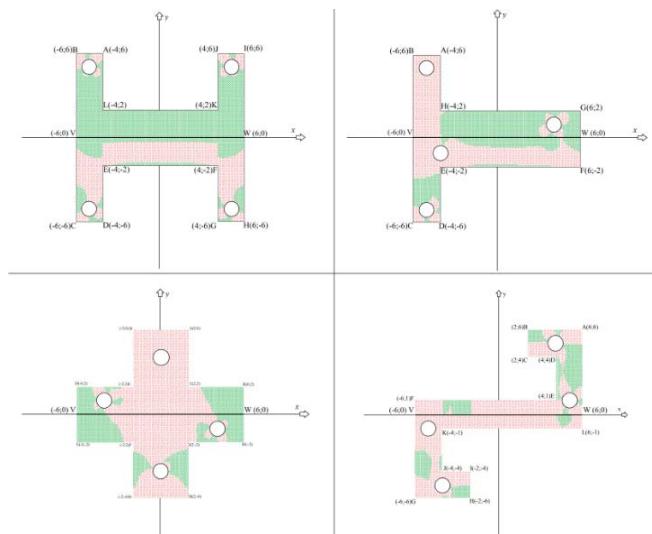


Рис. 1. Упругопластическая граница двуслойных профилей
двуствар, тавр, крест и Z-образного сечения,
армированных упругими волокнами

Заключение

Рассмотрена задача упругопластического кручения многослойных стержней, армированных упругими волокнами. Для решения задачи использовался метод на основе законов сохранения. Этот метод позволяет построить упругопластические границы для стержней различных профилей. Рассмотрены стержни тавр, двуставр, крест и Z образных профилей, состоящие из двух слоев и армируемые упругими волокнами. Границы контакта слоев параллельны. В результате построена граница между пластической и упругой областями. Разработаны программы для ЭВМ для нахождения упругопластической границы стержня.

Список литературы

- Композитная сталь / Н. С. Саркисян, А. О. Саркисян, А. А. Колчин [и др.] // Композиты и наноструктуры. – 2024. – Том 16. № 3. – С. 202–207. DOI 10.36236/1999-7590-2024-16-3-202-207. EDN EAQPSQ
- Структурно-функциональный анализ как основа проектирования структуры массоэффективных силовых элементов конструкций из композиционных материалов / П. В. Соловьев, Ю. С. Первушин, В. С. Жернаков [и др.] // Композиты и наноструктуры. – 2023. – Том 15. № 4. – С. 237–246. DOI 10.36236/1999-7590-2023-15-4-237-246. EDN FASWSZ

Раздел 1. Механика деформируемого твердого тела

3. Богачева, В. Э. Разрыв по моде I адгезионного слоя с учетом диагональных компонент тензора напряжений / В. Э. Богачева, Л. В. Глаголев // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2022. – № 4 (54). – С. 47–56. DOI 10.37972/chgpu.2022.54.4.005. EDN ULGOYA
4. Гольшев, А. А. Влияние керамического волокна SiC в металломатричном композите на его стойкость при высокоскоростном нагружении / А. А. Гольшев, С. В. Долгова // Прикладная механика и техническая физика. – 2022. – Том 63. № 6 (376). – С. 145–149. DOI 10.15372/PMTF20220616. EDN PUGZHK
5. Сенашов, С. И. Изгиб композитного бруса / С. И. Сенашов, И. Л. Савостьянова, А. Н. Яхно // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2024. – Том 25. № 1. – С. 25–32. DOI 10.31772/2712-8970-2024-25-1-25-32. EDN RRHQRY
6. Аннин, Б. Д. Упруго-пластическая задача / Б. Д. Аннин, Г. П. Черепанов. – Новосибирск: Наука, 1983. – 126 с.
7. Киряков, П. П. Приложение симметрий и законов сохранения к решению дифференциальных уравнений / П. П. Киряков, С. И. Сенашов, А. Н. Яхно. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 192 с.
8. Senashov, S. I. Conservation laws, hodograph transformation and boundary value problems of plane plasticity / S. I. Senashov, A. Yakhno // Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications. – 2012. – Vol. 8. – P. 071. EDN RGOBNN. <https://doi.org/10.3842/SIGMA.2012.071>
9. Сенашов, С. И. Об упругопластическом кручении стержня / С. И. Сенашов, О. Н. Черепанова, А. В. Кондрин // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. – 2013. – № 3 (49). – С. 100–103. EDN RFWONN
10. Построение упругопластической границы скручиваемого многослойного Z-образного профиля, армированного упругими волокнами: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025619450 Рос. Федерации / Д. О. Евтихов, И. Л. Савостьянова, С. И. Сенашов [и др.]; заявл. 08.04.2025; опубл. 16.04.2025. EDN ZXSDRC

Евтихов Денис Олегович – аспирант, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия. evtikhov_do@sibsau.ru

Denis O. Evtikhov – postgraduate student, Siberian State University of Science and Technology named after Academician M. F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia. evtikhov_do@sibsau.ru

УДК 539

ПРЯМЫЕ И ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ

Л.А. Максимова

Российский университет транспорта (МИИТ)

Российская открытая академия транспорта

г. Москва, Россия

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный

университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Россия

Т.Г. Рытова

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский

государственный строительный университет»

г. Москва, Россия

А.С. Мозгова

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный

университет им. И.Н. Ульянова»

г. Чебоксары, Россия

Аннотация: в статье рассмотрены некоторые примеры прямых и обратных задач, их существование и возможные методы регуляризации.

Ключевые слова: прямые задачи, обратные задачи, уравнения, устойчивость, корректность, численные методы.

DIRECT AND INVERSE MECHANICAL PROBLEMS

Abstract: the article discusses some examples of direct and inverse problems, their existence, and possible regularization methods.

Keywords: boundary value problem, conformal mapping, bianalytical function.

Введение

Во всех областях науки, как в математике, так и в механике, разделяют уравнения и вычисления. Обычные вычисления – это прямая задача, а решение любого уравнения – обратная задача. Таким образом, все задачи подразделяются на прямые и обратные [1–11].

Конечно, можно и вычисления назвать уравнением, а некоторые уравнения также легко решаются.

Материал и методы исследований

Возьмем простой пример: решить уравнение $2x + 4 = 10$.

Однозначно, действия очевидны

$$2x = 10 - 4$$

$$2x = 6$$

$$x = 3$$

Но этот пример можно перефразировать и так: я загадала число, затем его умножила на 2, прибавила 4 и получила 10. Какое число я загадала? Таким образом получаем обратную задачу.

Усложним пример:

$$2x^3 - 4\sin x = 50$$

Имеем трансцендентное уравнение, которое в общем случае решается лишь приближенно. То есть найти точное решение с точки зрения математики невозможно. И здесь методы решения это графический метод, или численный. После графического представления можно в данном примере найти решение просто подбором, или говоря математическим языком, методом половинного деления.

Решая задачи сопромата, их тоже можно разделить на прямые и обратные.

В прямых задачах с помощью известных формул, производятся вычисления и определяются необходимые значения моментов, деформаций, поперечных сил.

А в обратных задачах, в основном это статически неопределеные задачи, решаются несложные уравнения. Стоит упомянуть, что формулы в задачах сопромата и в строительной механике достаточно упрощены, что не умаляет их достоинства и важность.

Результаты и проблематика

В задачах теории пластин и оболочек этих простейших формул недостаточно, их придется приблизить к оригиналу, то есть усложнить. Функции, требующие определения в этих задачах, во-первых, имеют несколько аргументов, во-вторых это интегро-дифференциальные уравнения, и в-третьих связные. Таким образом решить эти задачи в чистом-математическом виде не представляется возможным.

Подход к решениям обратных задач основан на интуиции теории упругости, теории пластичности, теории пластин и оболочек. Необходимо «угадать» эти функции и их структуру. Например, в некоторых задачах основой таких функций может быть такая $\sigma(x, y, z) = A \sin ax \cdot \cos \beta y \cdot \cos \gamma z$, аналогично представляются

оставшиеся неизвестные функции. Затем подставляя функции в уравнения, удовлетворяя граничным и начальным условиям, определяют соотношения между неизвестными параметрами и таким образом получают искомые решения.

В задачах теории упругости подбор (в трехмерной постановке) таких функций является очень непростым. В теории пластичности такие задачи усугубляются по диаграмме Прагера невозможностью определить деформированное состояние тела. В связи с этим используют или зависимость Ильюшина, или другие зависимости тела, находящимся в пластическом состоянии.

Погрешности в этих задачах также имеют огромное значение. Они могут быть различной природы, как физической, так и геометрической.

Существуют разные переходы от одной задачи к другой, имеется ввиду, по уровню сложности. Общеизвестный подход от более сложной задачи к более простой, упрощением, или линеаризацией. Обратный подход также возможен, но он более трудоемкий. И не каждое «усложнение» дает истинное решение. Например, обобщение уравнения прямой из плоскости в пространство дает или туже прямую, только в пространстве или плоскость в трех мерном пространстве. Уравнение прямой на плоскости в двух ипостасях.

$$\frac{x - x_0}{l} = \frac{y - y_0}{m} \rightarrow \frac{x - x_0}{l} = \frac{y - y_0}{m} = \frac{z - z_0}{n}$$
$$Ax + By + C = 0 \rightarrow Ax + By + Cz + D = 0$$

Аналогичные «усложнения» в теории пластичности при ассоциированном законе долго не удавались, и лишь Академик А.Ю. Ишлинский смог это сделать.

Заключение

Зачастую, при чтении монографии или учебников, эти процессы кажутся очевидными, но дойти до них весьма сложно.

Решать задачи в трехмерной постановке — это трудоемкий процесс, но в некоторых случаях необходимый.

Список литературы

1. Ишлинский, А. Ю. Математическая теория пластичности / А. Ю. Ишлинский, Д. Д. Ивлев. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 704 с.

2. Предельное состояние деформируемых тел и горных пород / Д. Д. Ивлев, Л. А. Максимова, Р. И. Непершин [и др.]. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 832 с.

3. Максимова, Л. А. Прямые и обратные задачи в механике деформируемого твердого тела / Л. А. Максимова // Строительство и застройка: жизненный цикл – 2024: материалы VII Междунар. (ХIII Всерос.) конф. (Чебоксары, 20–21 нояб. 2024 г.): в 2 т. – Чебоксары: Среда, 2024. – С. 181–186. EDN CRHYBK
4. Максимова, Л. А. О статически неопределенном состоянии идеально-пластического слоя, сжатого жесткими шероховатыми поверхностями / Л. А. Максимова // Проблемы механики: сб. ст. К 90-летию со дня рождения А. Ю. Ишлинского. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – С. 524–530.
5. Ишлинский, А. Ю. О свойствах моделей изотропных сред / А. Ю. Ишлинский, Д. Д. Ивлев, Л. А. Максимова // Сборник статей к 70-летию Н. Ф. Морозова. – 2002. – С. 5–12.
6. On the determination of stresses in the case of a plastic problem with an ellipsoidal cavity / A. N. Maksimov, L. A. Maksimova, E. A. Derevyanikh [et al.] // Journal of Physics: Conference Series: III International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT-III-2022) (Krasnoyarsk, March 03–05, 2022). Vol. 2373. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 022012. EDN TSTODI. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2373/2/022012>
7. Максимова, Л. А. Влияние начальных условий на устойчивость НДС твердого тела / Л. А. Максимова // Современные вопросы механики сплошных сред – 2023: сб. ст. по материалам IV Междунар. конф., Чебоксары, 12 дек. 2023 г. – Чебоксары: Среда, 2023. – С. 7–12. EDN YRWVOR
8. Maksimova, L. A. Linearized equations of three-dimensional flow in perfectly plastic bodies / L. A. Maksimova // Doklady Physics. – 1998. – Vol. 43, № 2. – P. 131–132. EDN LETAAZ
9. Максимова, Л. А. Обобщенные системы сингулярных интегральных уравнений Шермана со сдвигом в плоской теории упругости / Л. А. Максимова, А. В. Юденков, Л. П. Римская // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2016. – № 2 (28). – С. 15–23. EDN XHNLCX
10. Численный расчет способов усиления структурных конструкций покрытия при воздействии огня / Т. Г. Рытова, Л. А. Максимова, А. Г. Николаева [и др.] // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2021. – № 1 (47). – С. 95–104. DOI 10.37972/chgpu.2021.1.47.009. EDN GJDJDN
11. Анализ частоты собственных колебаний большепролетной фермы с фланцевыми соединениями / Т. Г. Рытова, Л. А. Максимова, А. Г. Николаева [и др.] // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2021. – № 1 (47). – С. 76–85. DOI 10.37972/chgpu.2021.1.47.007. EDN MBCEYS

Максимова Людмила Анатольевна – профессор, доктор физико-математических наук, Российский университет транспорта (МИ-ИТ), Российская открытая академия транспорта, г. Москва, Россия.

Рытова Татьяна Георгиевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлических и деревянных конструкций», Националь-

ный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия.

Мозгова Анна Станиславовна – доцент кафедры теплотехники и гидравлики, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, Чебоксары, Россия. mozgova-energo@yandex.ru

Lyudmila A. Maksimova – professor, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Russian University of Transport (MIIT), Russian Open Academy of Transport, Moscow, Russia.

Tatyana G. Rytova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Metal and Wooden Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), Moscow, Russia.

Anna S. Mozgova – associate professor of the Department of Thermal Engineering and Hydraulics, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. mozgova-energo@yandex.ru

УДК 539.37

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШИМОСТИ ЗАДАЧ
ДЛЯ БИАНАЛИТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ
В ТЕОРИИ УПРУГОСТИ**

Л.А. Максимова

Российский университет транспорта (МИИТ)

Российская открытая академия транспорта
г. Москва, Россия

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

А.В. Юденков

Российский экономический
университет им. Г.В. Плеханова
г. Смоленск, Россия

Аннотация: основной целью работы является исследование разрешимости краевых задач для бианалитических функций построенных на основе основных задач теории упругости. На сегодняшний день теория краевых задач получила достаточно полное развитие, однако вопросы связанные с разрешимостью задач и

устойчивостью их решений до сих пор не исследованы. Для решения задачи применён комплексный подход, который включает в себя использование теории сингулярных интегральных уравнений, конформных отображений, принципа симметрии. Результатом работы является установление нетеровости краевых задач для бианалитических функций и установление зависимости числа решений однородных задач и числа условий разрешимости в зависимости от индекса краевых коэффициентов. Полученные результаты позволяют шире использовать краевые задачи для бианалитических функций и их обобщений в решении задач теории упругости для изотропных и анизотропных тел.

Ключевые слова: краевая задача, конформное отображение, бианалитическая функция.

ON THE SOLVABILITY OF CLASSICAL BOUNDARY VALUE PROBLEMS FOR BIANALYTICAL FUNCTIONS IN THE MATHEMATICAL THEORY OF ELASTICITY

Abstract: the main purpose of the work is to study the solvability of boundary value problems for bianalytical functions based on the basic problems of elasticity theory. To date, the theory of boundary value problems has received a fairly complete development, however, issues related to the solvability of problems and the stability of their solutions have not yet been investigated. To solve the problem, an integrated approach is applied, which includes the use of the theory of singular integral equations, conformal maps, and the principle of symmetry. The result of the work is to establish the Noetherianism of boundary value problems for bianalytical functions and to establish the dependence of the number of solutions to homogeneous problems and the number of solvability conditions depending on the index of boundary coefficients. The results obtained will make it possible to use boundary value problems for bianalytical functions and their generalizations more widely in solving problems in the theory of elasticity for isotropic and anisotropic bodies.

Keywords: boundary value problem, conformal mapping, bianalytical function.

Введение

Основные задачи теории упругости для изотропных и анизотропных тел эффективно решаются с использованием комплекс-

ного потенциала, через который однозначно определяются исковые напряжения и смещения. Комплексный потенциал в теории упругости имеет достаточно сложную структуру. Например, в случае изотропного тела комплексный потенциал является бианалитической функцией.

$$F(z) = \varphi_0(z) + \bar{z}\varphi_1(z), \quad (1)$$

Здесь $\varphi_k(z)$ ($k=0,1$) – аналитические в области D (область занятая телом) функции, $\bar{z}=x-iy$.

В работах [2, с. 300; 4, с. 279; 6, с. 9] для определения комплексного потенциала использовались краевые задачи для бианалитических функций и их обобщений.

В работе [2] поставлены основные задачи для бианалитических функций и их обобщений соответствующие основным задачам как теории упругости, так и теории краевых задач для аналитических функций (задача Римана, задача Гильберта и др.).

На сегодняшний день теория краевых задач для бианалитических функций и их обобщений достаточно развита [1; 3; 7]. Однако, важнейший вопрос о разрешимости задач остаётся до конца не исследованным. Подсчитать индекс задачи, число линейно независимых решений и число условий разрешимости удаётся только в частных случаях [5; 7].

В работе предлагается комплексный подход к исследованию разрешимости краевых задач для бианалитических функций, который позволяет достаточно полно исследовать разрешимость краевых задач.

Постановка задачи

Сформулируем две основных краевых задачи для бианалитических функций.

Задача Римана для бианалитической функции. Найти кусочно бианалитическую функцию $F^\pm(z) = \varphi_0^\pm(z) + \bar{z}\varphi_1^\pm(z)$ по краевым условиям

$$\begin{aligned} \varphi_0^{+'}(t) + \bar{t}\varphi_1^{+'}(t) + \varphi_1^+(t) &= G_1(t)[\varphi_0^-(t) + \bar{t}\varphi_1^-(t) + \varphi_1^-(t)] + g_1(t), \\ \varphi_0^{+'}(t) + \bar{t}\varphi_1^{+'}(t) - \varphi_1^-(t) &= G_2(t)[\varphi_0^-(t) + \bar{t}\varphi_1^-(t) - \varphi_1^-(t)] + g_2(t). \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $G_k(t)$ заданные функции, удовлетворяющие условию Гельдера вместе своими производными до порядка $(2k-1)$ порядка включительно; $g_1(t) \in H^1(L)$.

Задача Гильберта для бианалитической функции. Найти бианалитическую в области D функцию $F(z)$ по краевым условиям:

$$\begin{aligned}\varphi_0'(t) + \bar{t}\varphi_1'(t) + \varphi_1(t) &= G_1(t)[\varphi_0'(t) + \bar{t}\varphi_1'(t) + \varphi_1(t)] + g_1(t), \\ \varphi_0'(t) + \bar{t}\varphi_1'(t) - \varphi_1(t) &= G_2(t)[\varphi_0'(t) + \bar{t}\varphi_1'(t) - \varphi_1(t)] + g_2(t).\end{aligned}\quad (3)$$

Частным случаем задачи Гильберта для бианалитических функций является первая основная задача теории упругости:

$$\begin{aligned}\varphi_0'(t) + \bar{t}\varphi_1'(t) + \varphi_1(t) &= [\varphi_0'(t) + \bar{t}\varphi_1'(t) + \varphi_1(t)] + g_1(t), \\ \varphi_0'(t) + \bar{t}\varphi_1'(t) - \varphi_1(t) &= [\varphi_0'(t) + \bar{t}\varphi_1'(t) - \varphi_1(t)] + g_2(t).\end{aligned}\quad (4)$$

Неоднородная краевая задача (4) имеет единственное решение. Однородная задача не имеет нетривиальных решений [4, с. 283]. Данный результат получен благодаря дополнительному условию. Согласно которому тело находится в равновесии. Сам результат имеет ясную физическую интерпретацию. В отсутствии внешних напряжений отсутствует деформация. Определенным напряжениям соответствуют единственные деформации.

Для исследования на разрешимость задач (2) и (3) необходимо использовать другие методы.

Результаты работы

В данном разделе приведём основные результаты и кратко опишем, используемые математические методы.

Теорема 1. Задачи Римана и Гильберта для бианалитических функций являются нётеровыми. Их индекс определяется индексами краевых коэффициентов:

$$k = \text{Ind}[G_1(t) + G_2(t)] = k_1 + k_2.$$

Данный результат получен с использованием систем сингулярных уравнений равносильных задачам (2) и (3) [3].

Следующее утверждение можно получить, используя конформное отображение данной области D на круговую [6] область.

Теорема 2. Число решений однородной задачи Гильберта для бианалитической функции и число условий разрешимости неоднородной задачи определяется индексами краевых коэффициентов $G_k(t)$ ($k=1,2$).

$$l = \max(0, k_1 + k_2),$$

$$p = \max(0, -k_1 - k_2).$$

Заключение

Доказана нётеровость основных краевых задач теории бианалитических функций при достаточно общих условиях наложенных на контур и краевых коэффициентов. Получена зависимость числа решений однородных задач и решений однородных задач от индексов краевых коэффициентов.

Результаты позволяют шире применять краевые задачи для бианалитических функций к решению основных задач теории упругости для изотропных и анизотропных тел [1].

Список литературы

1. Адигамов, А. Э. Модель напряженно-деформированного состояния нарушенного породного массива с учётом анизотропии и неоднородностей / А. Э. Адигамов, А. В. Юденков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 8. – С. 93–103. DOI 10.25018/0236_1493_2021_8_0_93. EDN DUOLLE
2. Гахов, Ф. Д. Краевые задачи / Ф. Д. Гахов. – Москва: Наука, 1977.
3. Максимова, Л. А. Теория стохастического потенциала в плоской теории упругости / Л. А. Максимова, А. В. Юденков // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2015. – № 4 (26). – С. 134–142. EDN VNVOVH
4. Мусхелишвили, Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н. И. Мусхелишвили. – Москва: Наука, 1966.
5. Расулов, К. М. О картине разрешимости однородной краевой задачи Гильберта для квазигармонических функций в круговых областях / К. М. Расулов, Т. И. Тимофеева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. – 2016. – Том 8. № 4. – С. 33–40. DOI 10.14529/mmp160404. EDN WWHMXX
6. Савин, Г. Н. Распределение напряжений около отверстий / Г. Н. Савин. – Киев: Наукова думка, 1975.
7. Юденков, А. В. Устойчивость математических моделей основных задач анизотропной теории упругости / А. В. Юденков, А. М. Володченков // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. – 2020. – Том 30. № 1. – С. 112–124. DOI 10.35634/vm200108. EDN VUWJTO

Максимова Людмила Анатольевна – профессор, доктор физико-математических наук, Российский университет транспорта (МИИТ), Российская открытая академия транспорта, г. Москва, Россия.

Юденков Алексей Витальевич – профессор, доктор физико-математических наук, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Смоленский филиал Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, г. Смоленск, Россия. гес-

tor@rea.ru, +79107232989, aleks-ydenkov@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8329-1146

Lyudmila A. Maksimova – professor, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Russian University of Transport (MIIT), Russian Open Academy of Transport, Moscow, Russia.

Alexey V. Yudenkov – professor, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Plekhanov Russian University of Economics, Smolensk Branch of Plekhanov Russian University of Economics, Smolensk, Russia. rector@rea.ru, +79107232989, aleks-ydenkov@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8329-1146

УДК 69

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОСТЕННОЙ БАЛКИ С НАКЛОННЫМИ РЕБЕРАМИ ЖЕСТКОСТИ В ПК ANSYS

B.B. Николаев

E.G. Гоник

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

Аннотация: в статье рассматривается возможность расчета гибкой тонкостенной балки с наклонными ребрами жесткости в ПК ANSYS до появления зон выпучивания стенки в упругой стадии.

Ключевые слова: ребро жесткости, наклонные ребра, устойчивость, тонкостенная балка.

STUDY OF A THIN-WALLED BEAM WITH INCLINED STIFFENERS IN ANSYS

Abstract: the article discusses the possibility of calculating a flexible thin-walled beam with inclined stiffeners in the ANSYS PC before the appearance of wall buckling zones.

Keywords: stiffener, inclined ribs, stability, thin-walled beam.

Введение

Балки в процессе эксплуатации могут потерять устойчивость (потеря устойчивости стенки в районе опор, при изгибе в центральной части).

В данной статье рассмотрим эффективность варианта повышения устойчивости балки с помощью установки наклонных ребер жесткости (РЖ).

Для более эффективного повышения устойчивости балок рассмотрим по работе [1] траектории главных напряжений в балке (рис. 1).

В изотропном теле в каждой точке напряженно-деформированного тела направления главных напряжений и главных деформаций совпадают, траектории главных напряжений одновременно являются и траекториями главных деформаций (рис. 1).

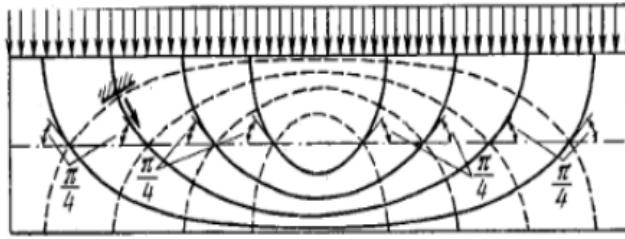


Рис. 1. Траектории главных напряжений в балке

Положение ребер жесткости наиболее эффективно, при расположении их по направлению траекторий главных сжимающих напряжений.

Из этого можно сделать вывод, что наклонные РЖ необходимо располагать «елочкой» относительно центра. Ребра наклонены во встречном направлении.

Киселев В. Н. в своей работе [2] экспериментально исследовав различные вариации расположения наклонных РЖ делает важный для нас вывод – балка с наклонными ребрами жесткости по результатам исследования, имела наибольшую жесткость. Наиболее эффективный угол наклона ребра жесткости – 45^0 .

Кириллов И. Е. в своей работе [3] установил важные для нашего исследования выводы.

1. Необходима установка наклонных РЖ по всей длине балки.
2. Расположение ребра по отношению к диагональной выпучине должно совпадать с линией действия главных сжимающих

напряжений, образующейся при потере устойчивости. Ребро должно пересекать выпучину поперек.

Исходя из изученных выше работ, делаем вывод, что исследование применения наклонных РЖ в гибких тонкостенных балках до появления зон выпучивания стенки актуально и перспективно.

Материал и методы исследований

Расчет в ПК ANSYS.

Сконструируем тонкостенную балку с наклонными РЖ в ПК ANSYS, рис. 2.

1. Исходные данные.

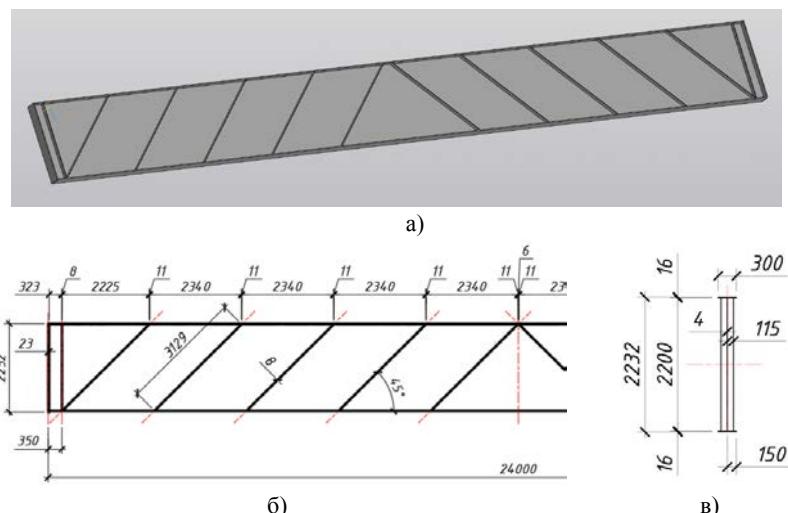


Рис. 2. Общий вид балки с наклонными РЖ:

- а) общий вид балки модель КОМПАС;
- б) размеры балки;
- в) поперечный разрез

Сечение балки – двутавр рис. 2: высота $h=2200$ мм; толщина стенки $d=4$ мм; ширина полки $b=300$ мм; толщина полки $t=16$ мм; пролет 24 м.

Нагрузка равномерно распределённая 4,6 тм/м, т. е. при ширине полки 0,3 м это 150,37 Па. Класс стали С245. Закрепление балки – шарнирное.

2. Этапы расчета в ПК ANSYS.

Задание конечно-элементной сетки, ячейка 0.05 м – рис. 3.

Задание равномерно распределенной нагрузки рис. 4.

Задание закрепления балки – шарнирное, рис. 5 и 6.
 Задание собственного веса рисунок 7.

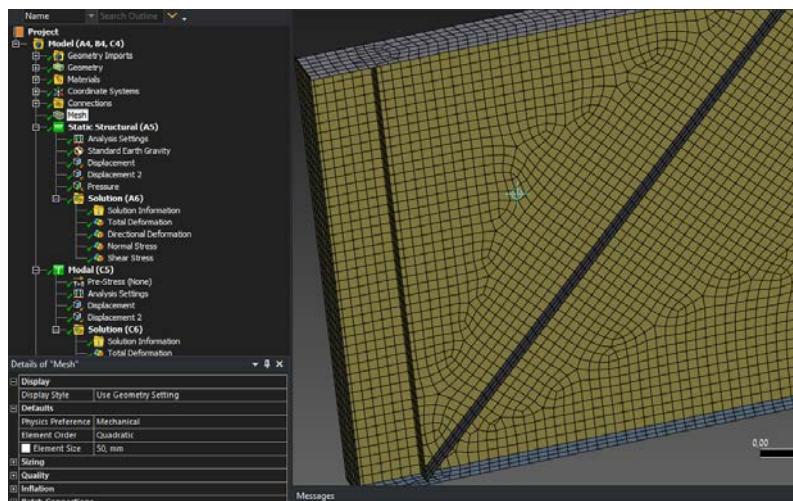


Рис. 3. Сетка КЭ

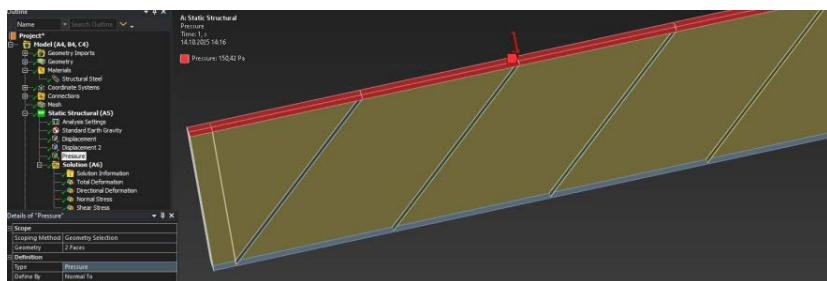


Рис. 4. Нагрузка Pressure 150,37 Па

Раздел 1. Механика деформируемого твердого тела

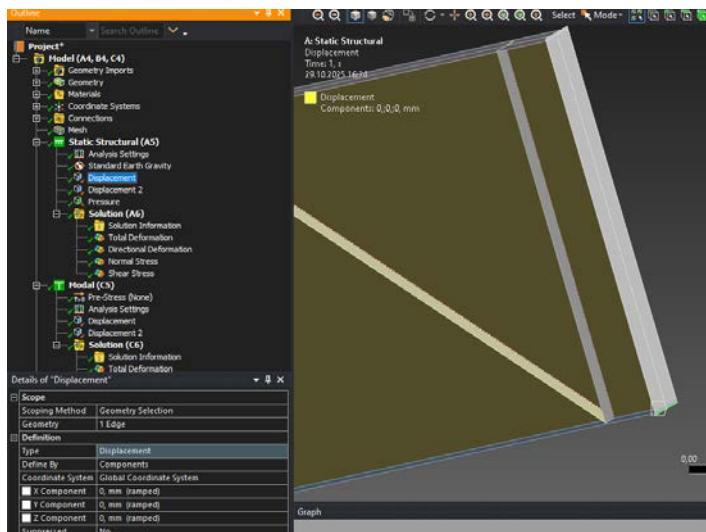


Рис. 5. Неподвижный шарнир Displacement X, Y, Z – const

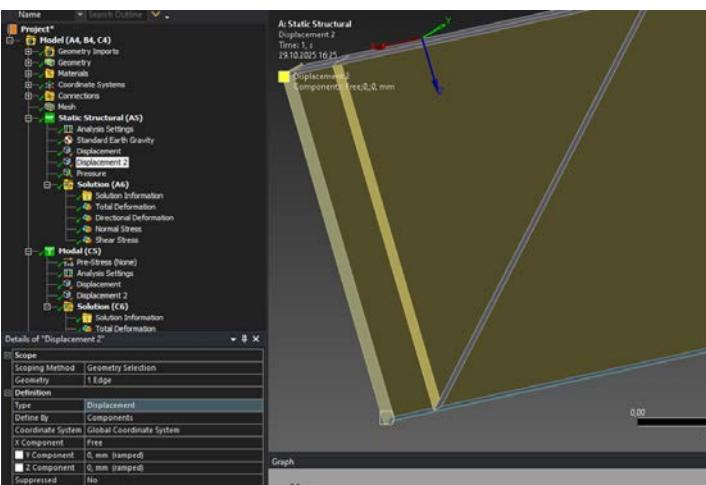


Рис. 6. Подвижный шарнир Displacement X – free Y, Z – const

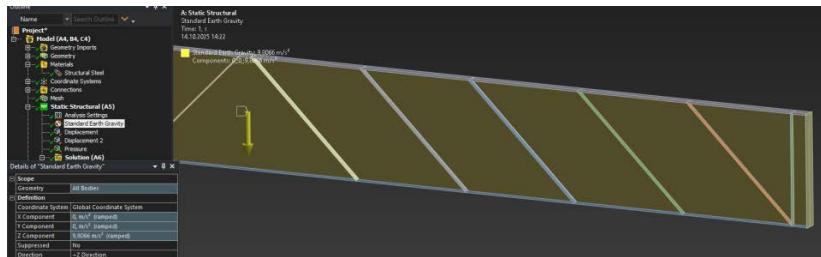


Рис. 7. Задание собственного веса

Результаты и проблематика

В результате расчета балки получена эпюра Normal Stress нормальных напряжений (рис. 8). На эпюре показано по цветам растянутая и сжатая зоны, места с максимальным и минимальным напряжением.

$$\begin{aligned} \text{min } & 10,289 \text{ МПа} \\ \text{max } & 10,548 \text{ МПа} \end{aligned}$$

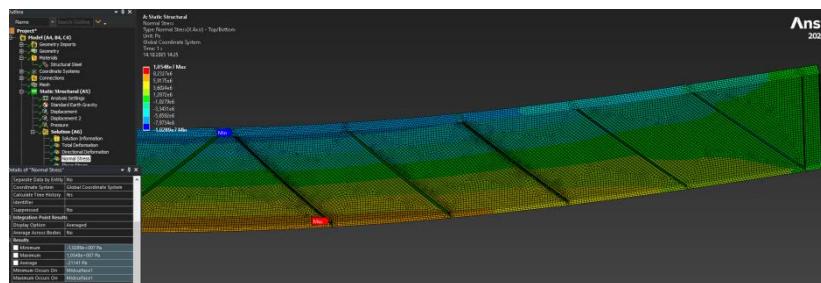


Рис. 8. Эпюра нормальных напряжений (Normal Stress)

В приложении Eigenvalue Buckling рассматриваем форму потери устойчивости стенки.

Рассмотрим полученную эпюру Total Deformation деформаций (рис. 9), где происходит выпучивание стенки. На ней показана самая критическая форма деформации.

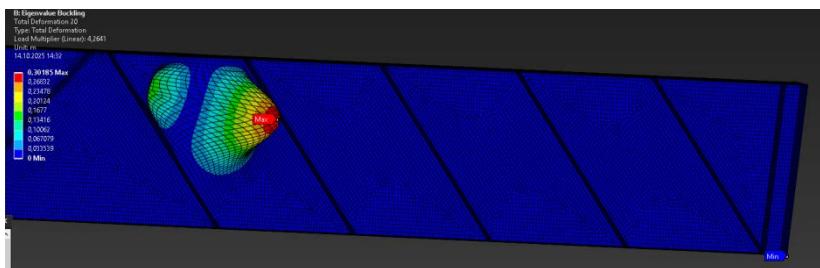


Рис. 9. Эпюра полной деформации (Total Deformation)

Заключение

По результатам изученных работ сконструирована и выполнен расчет балки с наклонными РЖ в ПК ANSYS. По результатам программного расчета можно увидеть участки критических напряжений, соответственно места, где произойдет потеря устойчивости.

Список литературы

1. Филин, А. П. Прикладная механика твердого деформируемого тела: Сопротивление материалов с элементами теории сплошных сред и строит. механики / А. П. Филин. – Москва: Наука, 1981. – Том 3. – 480 с.
2. Киселев, В. Н. Экспериментальное исследование двутавровых сварных балок, подкрепленных наклонными ребрами жесткости, на плоский изгиб / В. Н. Киселев, И. Г. Целуйко // Вестник Половского государственного университета. Сер. F, Строительство. Прикладные науки. – 2014. – № 8. – С. 21–26. EDN TPKRAD
3. Кириллов, И. Е. Совершенствование расчетных зависимостей для оценки местной устойчивости стальных балок с гибкой стенкой при разных конструктивных решениях: дис. ... канд. техн. наук: 21.10.00 / И. Е. Кириллов. – 2022. – 160 с. EDN JFDTBM.

Николаев Валентин Владимирович – аспирант 1 курса строительного факультета, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. valentin2nikolaev@yandex.ru

Гоник Екатерина Григорьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. katya.gonik@mail.ru

Valentin V. Nikolaev – 1st year postgraduate student of the Faculty of Civil Engineering, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. valentin2nikolaev@yandex.ru

Ekaterina G. Gonik – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. katya.gonik@mail.ru

УДК 539.3

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА
ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ ПРИ КРУЧЕНИИ
ТОНКОСТЕННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ
ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА**

М.В. Петров

О.А. Алексеева

Б.В. Михайлов

Е.Г. Гоник

В.А. Иванов

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

Аннотация: экспериментальные исследования выполнены с целью определения предела пропорциональности при кручении тонкостенной цилиндрической оболочки из алюминиевого сплава. Для этих целей разработана и изготовлена специальная экспериментальная установка, позволяющая испытывать образцы на кручение. Образцы одним концом жестко закреплялись к стенке установки, на другой, свободный конец прикладывался крутящий момент, вначале большими, а затем малыми ступенями нагружения, отмечая после каждой ступени нагружения угол закручивания. По экспериментальным данным определили среднестатистическое значение предела пропорциональности при кручении тонкостенной цилиндрической оболочки из алюминиевого сплава 3004 в состоянии H19. Образцом являлась тонкостенная оболочка диаметром 63 мм, толщиной стенки 0,1 мм.

Ключевые слова: эксперимент, кручение, образец, экспериментальная установка, крутящий момент, угол закручивания, предел пропорциональности при кручении.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE PROPORTIONAL LIMIT IN TORSION OF A THIN-WALLED CYLINDRICAL SHELL MADE OF ALUMINUM ALLOY

Abstract: experimental studies were carried out in order to determine the limit of proportionality in torsion of a thin-walled cylindrical shell made of aluminum alloy. For this purpose, a special experimental setup was designed and manufactured, which allows for the testing of samples in torsion. The samples were fixed at one end to the wall of the setup, and a torque was applied to the other, free end, first in large steps and then in small steps, with the angle of torsion being measured at the calculated length after each step of loading. Based on the experimental data, the average value of the limit of proportionality in torsion of a thin-walled cylindrical shell made of aluminum alloy was determined. The sample was a thin-walled shell with a diameter of 63 mm and a wall thickness of 0,1 mm.

Keywords: experiment, torsion, sample, experimental setup, torque, torsion angle, torsion limit of proportionality.

Введение

Исследование выполнено в связи с практической необходимостью выполнения расчетов на прочность и устойчивость автоцистерн для перевозки сыпучих материалов, различных жидкостей, газов. Теоретические и экспериментальные исследования потери устойчивости тонкостенных цилиндрических оболочек при кручении выполнены в работах [1–11].

Для испытания на кручение разработана и изготовлена специальная экспериментальная установка, которая обеспечивает: свободное кручение образцов без каких-либо дополнительных нагрузок на образец в течение всего процесса испытания; центрирование образца в захватах с несоосностью не более 0,1 мм на каждые 100 мм; плавность статического нагружения (без толчков и ударов); свободное перемещение одного из захватов вдоль оси образца; измерение нагрузки с погрешностью, не превышающей $\pm 1\%$ от величины измеряемой нагрузки, начиная с 0,2 наибольшего значения каждого диапазона, но не ниже 0,04 предельной нагрузки; вариации показаний динамометра при повторных нагружениях и нагрузке, не превышающие допускаемую погреш-

ность динамометра; сохранение постоянства показаний динамометра в течении не менее 30 с; измерение угла закручивания с погрешностью, не превышающей $\pm 1^\circ$ [12].

Целью исследований является экспериментальное определение предела пропорциональности при кручении тонкостенной цилиндрической оболочки из алюминиевого сплава.

Материал и методы исследований

Для определения предела пропорциональности при кручении тонкостенной цилиндрической оболочки из алюминиевого сплава изготовлена и собрана специальная экспериментальная установка рис. 1. Исследуемый образец (1) одним концом жестко закреплялся к станине (2). Другой конец помещался в стенку (3), где образец имел возможность свободно проворачиваться без каких-либо дополнительных нагрузок в процессе всего испытания, а для приложения жесткости на этот конец внутрь вставлялся металлический диск (4), к которому прикреплялся стержень (5) для создания крутящего момента.

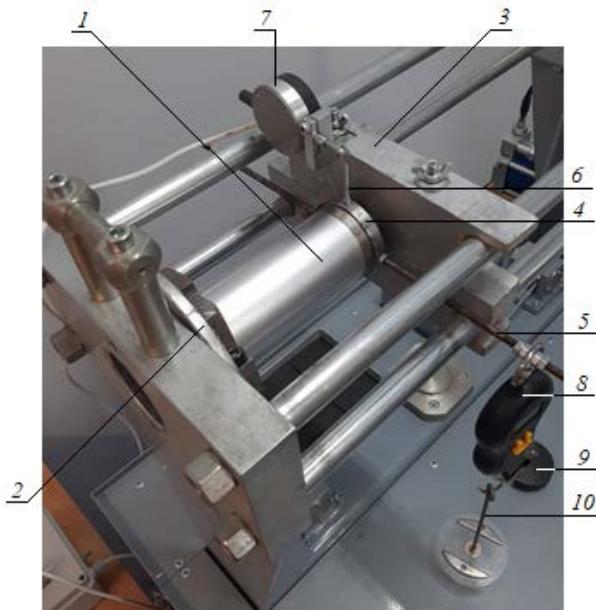


Рис. 1. Экспериментальная установка

Перпендикулярно к оси образца (1) в металлическом диске (4) жестко прикреплялся стержень (6), к концу которого подходила ножка высококачественного микронного цифрового индикатора (7) для измерения перемещений. Для измерения усилия использовался динамометр (8). Усилия создавались гирями (9), которые укладывались на подвеску (10) с учетом плавности статического нагружения (без толчков и ударов). Подвеска (10) соединялась с динамометром (8) и стержнем (5) на расстоянии 167 мм от продольной оси образца. Тем самым создавался крутящий момент.

Испытуемый образец из алюминиевого сплава 3004 в состоянии Н19 имел следующие размеры: внешний диаметр— $D=63,2$ мм, внутренний диаметр— $d=63$ мм, расчетная длина— $l=117$ мм, толщина стенки— $\delta=0,1$ мм.

После сборки специальной экспериментальной установки (рис. 1) на подвес (10) устанавливался груз, который создавал крутящий момент, соответствующий начальному касательному напряжению, составляющему 10% ожидаемого предела пропорциональности материала. Далее показания высококачественного микронного цифрового индикатора (7) устанавливали на «0». После этого нагружали образец вначале большими, а затем малыми ступенями, отмечая после каждой ступени перемещения на конце стержня (6). Нагружение большими ступенями осуществляли до 80% ожидаемого предела пропорциональности. Ступени малых нагрузжений выбирали так, чтобы до достижения предела пропорциональности было не менее пяти ступеней малых нагрузжений. Значение малой ступени нагружения соответствовало увеличению касательного напряжения не более 10МПа. Испытания прекращали, когда перемещения на конце стержня (6) от нагружения на малую ступень превышало не менее чем в два раза среднего значения перемещения на конце стержня (6), полученное на предыдущих ступенях нагружения на линейном участке. Время регистрации угла закручивания не превышало 10 с. Показания динамометра (8) и микронного цифрового индикатора (7) записывали в журнал испытаний. В итоге получена линейная зависимость перемещения от нагрузки.

Результаты и проблематика

Для определения предела пропорциональности при кручении тонкостенной цилиндрической оболочки из алюминиевого сплава

испытывались десять образцов. По результатам испытаний определяли нагрузку $T_{\text{пц}}$, соответствующую перемещению на конце стержня (6) от нагружения на малую ступень, которая превышала не менее чем в два раза среднего значения перемещения на конце стержня (6), полученного на предыдущих ступенях нагружения на линейном участке [12].

Предел пропорциональности при кручении $\tau_{\text{пц}}$, вычисляли по формуле (1) [12].

$$\tau_{\text{пц}} = \frac{T_{\text{пц}}}{W_p}, \quad (1)$$

где W_p (полярный момент сопротивления) определяли согласно формуле (2) [12].

$$W_p = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \delta}{2} \left[1 - \left(\frac{3 \cdot \delta}{D} + \frac{4 \cdot \delta^2}{D^2} - \frac{2 \cdot \delta^3}{D^3} \right) \right], \quad (2)$$

Подставив значение внешнего диаметра образца и толщину стенки образца, определили полярный момент сопротивления образца, который равен $W_p = 624 \text{ мм}^4$. Предел пропорциональности при кручении тонкостенной цилиндрической оболочки из алюминиевого сплава десяти образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Данные для вычисления среднего квадратичного отклонения, коэффициентов асимметрии и эксцесса

$\tau_{\text{пц}}, \text{ МПа}$	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^3$	$(x_i - \bar{x})^4$
11,40	-2,6	6,760	-17,576	45,6976
12,40	-1,6	2,560	-4,096	6,5536
13,74	-0,26	0,068	-0,018	0,0046
13,76	-0,24	0,058	-0,014	0,0033
14,29	0,29	0,084	0,024	0,0071
14,34	0,34	0,116	0,039	0,0134
14,87	0,87	0,757	0,659	0,5729
14,87	0,87	0,757	0,659	0,5729
14,89	0,89	0,792	0,705	0,6274
15,44	1,44	2,074	2,986	4,2998
$\Sigma 140,00$	$\bar{x} = 14,00$	$\Sigma 14,026$	$\Sigma -16,639$	$\Sigma 58,3526$

Для расчета данных таблицы 1 использовали средства Excel. По данным таблицы 1 предел пропорциональности при кручении $\tau_{\text{пл}}=\bar{x}=14 \text{ МПа}$.

Результаты статической обработки выполнены согласно источнику [13] и приведены в таблице 2.

Таблица 2
Результаты статической обработки

Среднее квадратичное отклонение $s, \text{ МПа}$	Погрешность измерений $\Delta x, \text{ МПа}$	Коэффициент вариации $v(x), \%$	Доверительный интервал МПа	Коэффициент асимметрии S_μ	Коэффициент эксцесса E_x
1,25	0,89	9	13,11...14,89	-0,852	-0,61

При числе опытов $n=10$, для доверительной вероятности $P=0,95$ находили значение коэффициента Стьюдента [13], который равен $t_a=2,26$. Далее определяли погрешность измерений.

Так как число опытов ограничено $n < 25$, для выявления закона распределения вычислили коэффициенты асимметрии и эксцесса [13].

Проверили соответствие полученных экспериментальных данных, подчиняются ли они нормальному закону распределения при помощи неравенств (3) и (4) [13].

$$|S_\mu| \leq 3 \cdot \sqrt{S_A^2}, \quad (3)$$

$$\text{где } S_A^2 = \frac{6 \cdot (n-1)}{(n+1) \cdot (n+3)}.$$

$$|E_x| \leq 5 \cdot \sqrt{S_E^2}, \quad (4)$$

$$\text{где } S_E^2 = \frac{24 \cdot n \cdot (n-2) \cdot (n-3)}{(n+1)^2 \cdot (n+3) \cdot (n+5)}.$$

Подставив значения определили S_A^2 и S_E^2 , которые соответственно равны $S_A^2 = 0,378$, $S_E^2 = 0,57$. Полученные значения подставили в формулы (3) и (4), проверили соответствие соблюдение условий: $|-0,852| \leq 3 \cdot \sqrt{0,378}$ и $|-0,61| \leq 5 \cdot \sqrt{0,57}$. Значит, условия выполняются. Следовательно, приведенные в таблице 1 результаты подчиняются нормальному закону распределения [13].

Заключение

1. Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что приведенные результаты расчета предела пропорциональности при кручении тонкостенной цилиндрической оболочки из алюминиевого сплава подчиняются нормальному закону распределения и эксперименты выполнены с доверительной вероятностью $P=0,95$.

2. Полученное значение предела пропорциональности $\tau_{\text{пц}}=14 \text{ МПа}$ можно использовать в расчетной практике.

Список литературы

1. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин: справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1993. – 640 с.
2. Вольмир, А. С. Устойчивость деформируемых систем: в 2 ч. Ч. 2: учебник для вузов / А. С. Вольмир. – 3-е изд., стер. – Москва: Юрайт, 2025. – 480 с.
3. Вольмир, А. С. Сопротивление материалов: учебник для вузов / А. С. Вольмир, Ю. П. Григорьев, А. И. Станкевич. – Москва: Дрофа, 2007. – 591 с.
4. Ильюшин, А. А. Упругопластические деформации полых цилиндров / А. А. Ильюшин, П. М. Огibalov. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1960. – 227 с.
5. Влияние предварительного пластического упрочнения растяжением на критические нагрузки потери устойчивости цилиндрических оболочек при кручении / В. Г. Баженов, Д. В. Жегалов, Д. А. Казаков [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2019. – № 1. – С. 8–17. DOI 10.15593/perm.mech/2019.1.01. EDN ZIJOGT
6. Петров, М. В. Методика расчета на устойчивость тонкостенных цилиндрических оболочек, заполненных сыпучим материалом, при кручении / М. В. Петров, Б. В. Михайлов, Е. Г. Гоник // Инновации в образовательном процессе: сб. тр. XXI Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 25 апр. 2023 г.). – Чебоксары: Московский политехнический университет, 2023. – С. 119–124. EDN LFMKYK
7. Экспериментальные исследования устойчивости тонкостенных цилиндрических оболочек средней длины, заполненных сыпучим материалом, при кручении / М. В. Петров, А. И. Кибец, Б. В. Михайлов [и др.] // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. – 2023. – Том 19. № 3. – С. 49–57. DOI 10.22337/2587-9618-2023-19-3-49-57. EDN LHABAQ
8. Приближенный метод расчета на устойчивость тонкостенных цилиндрических оболочек средней длины, заполненных сыпучим материалом, при кручении / М. В. Петров, А. И. Кибец, Б. В. Михайлов [и др.] // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2022. – № 2 (52). – С. 10–18. DOI 10.37972/chgpu.2022.52.2.002. EDN JYAIGD
9. 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: сб. ст. по материалам III Междунар. конф. (Чебоксары, 23–24 нояб. 2021 г.). – Чебоксары: Среда, 2021. – С. 71–78. EDN GUPRMI

Раздел 1. Механика деформируемого твердого тела

10. Петров, М. В. Устойчивость тонкостенных цилиндрических оболочек при кручении, заполненных сыпучим заполнителем / М. В. Петров, Б. В. Михайлов, Е. Г. Гоник // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2021. – № 2 (48). – С. 40–47. DOI 10.37972/chgpru.2021.48.2.006. EDN VKARNB
11. Экспериментальное определение модуля сдвига алюминиевого сплава 3004 в состоянии H19 / М. В. Петров, О. А. Алексеева, Б. В. Михайлов [и др.] // Строительство и застройка: жизненный цикл – 2024: материалы VII Междунар. (XIII Всерос.) конф. (Чебоксары, 20–21 нояб. 2024 г.): в 2 т. – Чебоксары: Среда, 2024. – С. 196–202. EDN WCDAQX
12. Металлы. Методы испытаний на кручение: ГОСТ 3565-80. – Введ. 1981-01-01. – URL: <https://gostrf.com/normadata/1/4294852/4294852782.pdf> (дата обращения: 14.10.2025).
13. Золотухин, Ю. Д. Испытание строительных конструкций: учеб. пособие для вузов по спец. «Пром. и гражд. стр-во» / Ю. Д. Золотухин. – Минск: Вышэйшая школа, 1983. – 208 с.

Петров Михаил Васильевич – доктор технических наук, профессор, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. 21pmv@mail.ru

Алексеева Олеся Анатольевна – аспирант кафедры строительных конструкций, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. aosk21@yandex.ru

Михайлов Борис Васильевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. boris.mihaylov.63@mail.ru

Гоник Екатерина Григорьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. katya.gonik@mail.ru

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

Mikhail V. Petrov – Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Building Structures, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. 21pmv@mail.ru

Olesya A. Alekseeva – postgraduate student, Department of Building Structures, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. aosk21@yandex.ru

Boris V. Mikhailov – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Building Structures, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. boris.mihaylov.63@mail.ru

Ekaterina G. Gonik – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Building Structures, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. katya.gonik@mail.ru

Viktor A. Ivanov – senior lecturer, Department of Building Structures, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. 2605viktor@mail.ru

УДК 624.012.4

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ОБЪЕМЕ ТЕЛА ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

A.H. Плотников

H.H. Аринина

B.A. Бурцев

B.B. Михайлов

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

***Аннотация:** ставится вопрос о характере объемного напряженного состояния в призме узла пересечения железобетонных балок, о возможности перераспределения усилий между осями в его объеме. Были проведены испытания подобного узла в лаборатории. Даётся описание испытательной установки и методики измерений. Распределение напряжений в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре фиксировалось серией тензодатчиков. Приведены результаты испытаний в виде графиков роста деформаций. Отмечается что нелинейная работа бетона сжатой зоны проявилась в большей степени ниже сжатой кромки. По арматуре перераспределение усилий происходило в пользу направления с большей рабочей высотой сечения h_0 . По всем измеряемым параметрам характер перераспределения усилий отличается. Это свидетельствует о дополнительных внутренних факто-*

рах, которые требуют дальнейших исследований.

Ключевые слова: пересекающиеся балки, перераспределение усилий, нелинейная работа железобетона, армирование, деформации, напряженное состояние, призма пересечения балок, испытание.

DISTRIBUTION OF FORCES IN THE VOLUME OF THE BODY OF INTERSECTING REINFORCED CONCRETE BEAMS

Abstract: this article examines the nature of the volumetric stress state within a prism at the intersection of reinforced concrete beams and the potential for force redistribution between the axes within its volume. Laboratory tests were conducted on a similar intersection. A description of the test setup and measurement methodology is provided. The stress distribution in the concrete in the compressed zone and the tensile reinforcement was recorded using a series of strain gauges. The test results are presented as strain growth graphs. It is noted that the nonlinear behavior of the concrete in the compressed zone was more pronounced below the compressed edge. In the reinforcement, force redistribution favored the direction with the greater effective section height h_0 . The nature of the force redistribution differed across all measured parameters. This indicates additional internal factors that require further investigation.

Keywords: intersecting beams, redistribution of forces, nonlinear behavior of reinforced concrete, reinforcement, deformations, stress state, beam intersection prism, testing.

Введение

Ведущими учеными в области железобетонных конструкций подчеркивается нелинейный характер работы статически неопределенных конструкций, а также железобетона, находящегося в сложном (объемном) напряженном состоянии.

Н. И. Карпенко [1] отмечалось, что образование трещин в бетоне приводит к изменению в отдельных зонах конструкций пропорции между напряжениями и деформациями, установившимися до образования трещин при простом нагружении. У бетона проявляется приобретенная в процессе нагружения анизотропия.

В работе И. И. Шишова [2] проводится обобщение работы железобетонных конструкций в нелинейной стадии. Говорится, что чем выше уровень напряжений, тем больше возникает неупругих деформаций и тем в большей мере снижается ее жесткость в сравнении с начальной. В статически неопределенных системах

при этом происходит перераспределение внутренних усилий с наиболее напряженных связей на другие, менее напряженные. Расчеты по предельным состояниям первой группы должны производиться также с учетом неупругих деформаций.

Сказанное относится и к конструкциям, основу которых составляют пересекающиеся жестко железобетонные балки. Как отмечалось в ряде работ, выполненных А. Н. Плотниковым [3–5], в конструкциях с пролетами в двух взаимно перпендикулярных направлениях имеет место анизотропия, обусловленная разной площадью сечений арматуры A_{sx} , A_{sy} и различной рабочей высотой сечений h_{0x} , h_{0y} . Имеет место и приобретенная анизотропия: в процессе нагружения конструкции образуются трещины и растут по высоте, меняется высота сжатой зоны. Эти факторы необходимо учитывать в расчетах, определяя близкое к фактическому распределение усилий.

Материалы и методы исследований

Как показано во многих работах, статически неопределеные конструкции в виде изгибаемых опертых по контуру систем и многопролетных балок и плит имеют отличающиеся на разных стадиях работы железобетона распределения усилий между пролётами или направлениями. Это особенно подробно было показано С. М. Крыловым [6] и Л. Р. Маиляном [7].

Л. Р. Маилян, описывая результаты проведенных экспериментов проводил оценку распределения усилий в неразрезных балках, констатировал, что в балках с сильно отличающимся армированием расчетных сечений (опора – пролет) реализовывалось неполное перераспределение усилий – моменты в переармированных сечениях не достигали своих предельных значений. Нисходящая ветвь диаграммы «момент – кривизна» в этих сечениях была выражена слабо. Таким образом для балок с сильно отличающимся армированием метод предельного равновесия для прочностного расчета не может быть применен.

Влияние площади сечения арматуры на распределение усилий в статически неопределенных конструкциях впервые было описано С. М. Крыловым [6] на основе экспериментальных данных по величине изменения изгибающих моментов. Рассматривались двухпролетные балки прямоугольного сечения, загруженные средоточенными силами.

Ранее для пересекающихся балок было высказано предположение, что их взаимное влияние с учетом разных параметров армирования осуществляется в призме пересечения [4] (рис. 1).

Неравномерность напряжений сжатия в призме узла является следствием разной высоты сжатой зоны пересекающихся элементов, а она в свою очередь зависит от параметров сечения, в частности коэффициентов армирования. Бетонная призма в узле пересечения балок является неравномерно нагруженным твердым телом и находится в сложном объемном (трехосном) напряженном состоянии. В случае разного объема армирования направлений, образуется еще и зона «сжатие-растяжение».

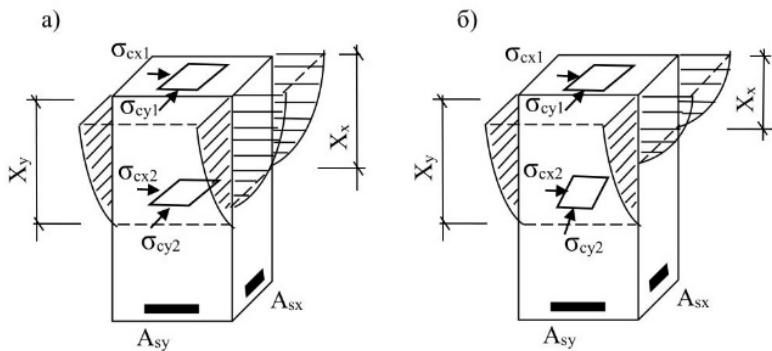


Рис. 1. Напряженное состояние бетонной призмы узла:

а) при одинаковом армировании A_{sy} и A_{sx} ;

б) при значительно отличающемся армировании A_{sy} и A_{sx}

Напряженное состояние пересекающихся железобетонных балок было рассмотрено авторами экспериментально.

Образец ПБ-01 (рис. 2) представляет собой монолитно (жестко) пересекающиеся изгибающиеся железобетонные элементы прямоугольного сечения, размерами сечения $b \times h: 110 \times 250$ мм. Длина луча от места пересечения $l=1580$ мм.

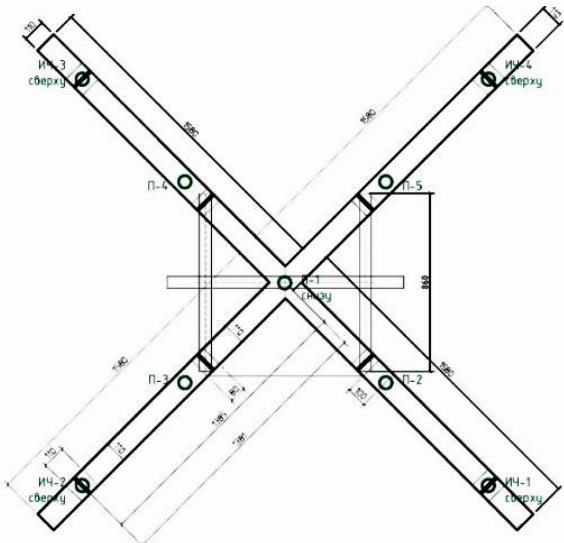


Рис. 2. Образец ПБ-01 с нагрузочными траверсами. Вид сверху

Армирование балок образца выполнялось одиночными продольными арматурными стержнями периодического профиля диаметром 16 мм класса А400, расположенным по направлению грани X с рабочей высотой сечения $h_0=21,8$ см, по направлению Y с $h_0=23$ см. Поперечное армирование принято из гладкой проволоки диаметром 5 мм класса В500. По результатам испытания контрольных кубов средняя прочность бетона составила $R_b=14$ МПа.

Испытание было проведено в лаборатории строительного факультета ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова». Применялся гидравлический домкрат ДУ20Г100. Нагрузка от домкрата на образец прикладывалась через нагрузочную траверсу из двутавра №14, которая через шарнир опиралась на две распределительные балки из швеллера №14, образовав зоны чистого изгиба (рис. 3).

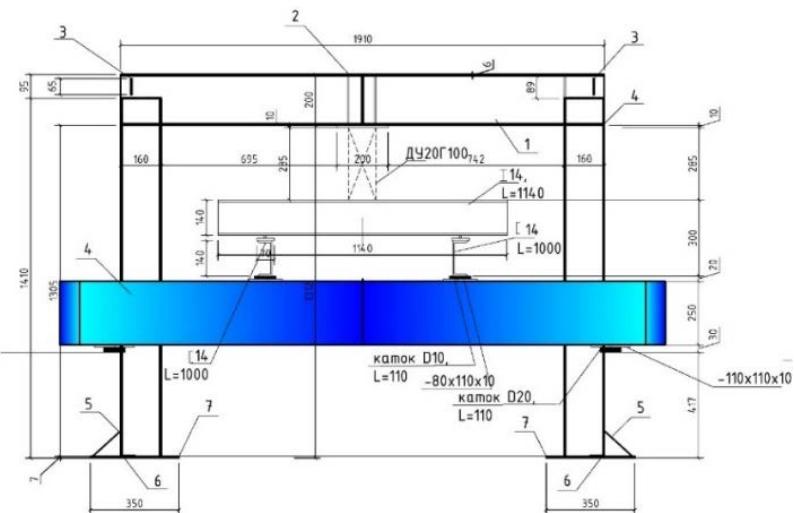


Рис. 3. Схема установки для испытаний образца ПБ-01

Опорные реакции измерялись динамометрами ДЭП/6-2Д-200С-1 с диапазоном измерений до 200 кН. Для измерения прогибов был использован прогибомер Аистова ПАО-6 с точностью 0,01 мм и индикаторы часового типа ИЧ – 10, с точностью 0,01 мм для измерения осадок опор. Установка для испытаний в целом показана на рис. 3.

Для оценки распределения напряжений в сжатой зоне были установлены тензодатчики в системе сбора данных ZET 058 и программного обеспечения ZETLAB TENZO.

Тензодатчики подключались по мостовой схеме. На боковых сжатых гранях бетона каждой из четырех поверхностей пересекающихся балок была наклеена система параллельных тензорезисторов, расположенная в одной третьей длины лучей балок. Тензорезисторы 2ФКП-5-400, с базой 5 мм устанавливались на продольную растянутую арматуру, на бетон наклеивались тензорезисторы с базой 50 мм.

Расположение тензорезисторов показано на рис. 4.



Рис. 4. Фото установки



Рис. 5. Фото расположения тензорезисторов

Результаты и проблематика

По результатам испытаний произведен анализ распределения усилий как между направлениями – лучами пересекающихся балок, так и внутри их сечений. График общего прогиба имел линейный характер (рис. 6). Разрушающая нагрузка определена как 110 кН при переходе графика в пластическую стадию.

По показаниям тензорезисторов построены графики деформаций растянутой арматуры и сжатого бетона (рис. 7–8).

Тензорезистры T1 были расположены на растянутой арматуре по всем 4 лучам балок в зоне приложения сосредоточенных сил. Напряжения в этих точках показали линейный рост до наступления пластического течения, выражавшегося резким увеличением

угла наклона графика. Нагрузка перехода в пластику соответствует определённой для прогиба, 93% от максимальной.

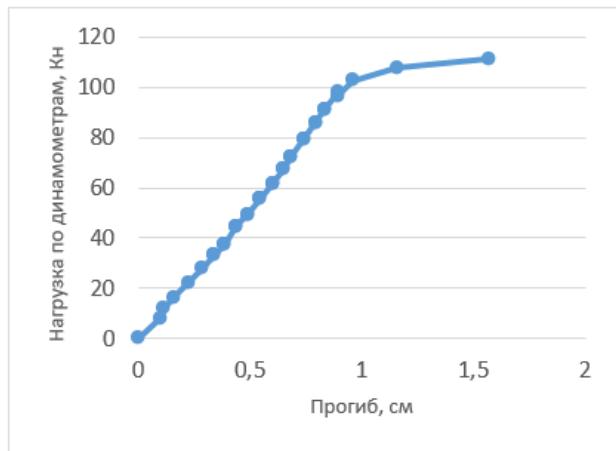


Рис. 6. График прогиба в узле пересечения балок

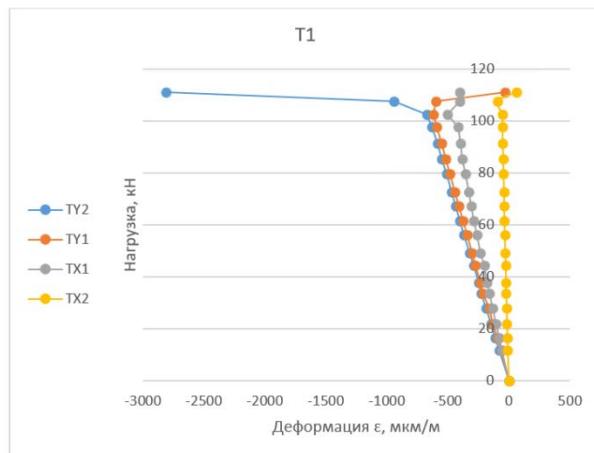


Рис. 7. График деформаций по тензорезисторам T1
по четырем лучам (на растянутой арматуре)

Рост деформаций, определяющий распределение усилий между направлениями, с начала нагружения имел разную скорость. Большой наклон имели графики по направлению Y. В этом направлении при изготовлении была заложена большая высота

рабочего сечения, $h_{0y} = 23$ см. В направлении X рабочая высота сечения $h_{0x} = 21,8$ см, их отношение $h_{0y}/h_{0x} = 1,06$. Наклон графиков в направлении X при испытании был меньшим, причем по одному лучу он был меньше значительно, в этом направлении система показала меньшую жесткость.

Тензорезисторы T2–T8 были расположены в предполагаемой сжатой зоне над датчиком по арматуре. В направлении луча с минимальными усилиями (по X) тензорезисторы ниже по сечению, T2 и T3 также показали относительно аналогичных направления Y минимальные значения. Однако, расположенные здесь выше по сечению (T4–T8) показали значения сопоставимые с другими лучами, а расположенные на верхней грани сечения вообще показали опережающий рост, а затем отставание, но значения, сопоставимые с другими датчиками. Для примера на рис. 8 приведены данные для датчиков T4 по всем лучам.

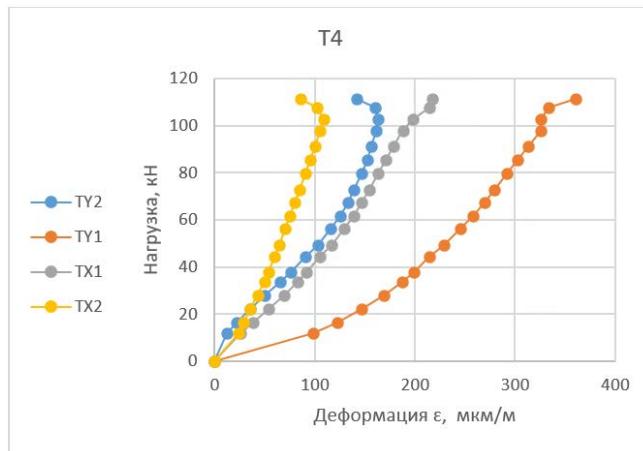


Рис. 8. Графики деформаций по тензорезисторам T4 различных направлений

Это говорит о происходящем при нагружении перераспределении напряжений по сечению (рис. 9). На уровне датчиков T4 распределение усилий произошло в начале нагружения, затем практически не меняясь.

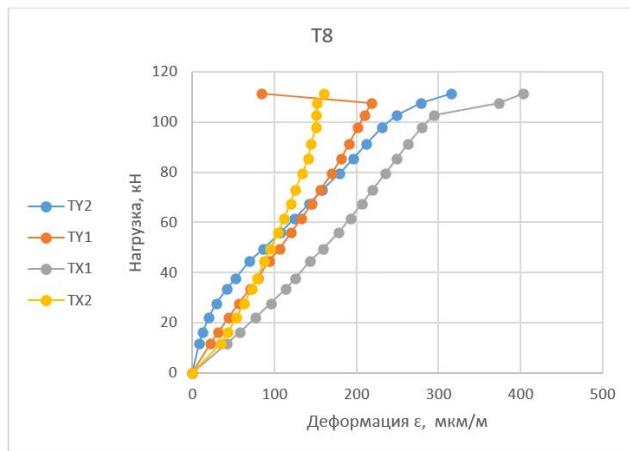


Рис. 9. График деформаций по тензорезисторам Т8 разных направлений

По графикам на рис. 8 видно, что происходит перераспределение усилий как между направлениями, так и между лучами одного направления. Более выраженная нелинейная работа бетона проявилась по ниже расположенным тензорезисторам, чем у верхней кромки. У них нелинейная работа начинается уже при более 20% от максимальной нагрузки. Происходит перераспределение усилий по высоте сжатой зоны.

По равнодействующим силам в сжатых зонах при суммировании усилий по обоим лучам одного направления можно судить о перераспределении усилий (абсолютных и относительных) между направлениями, что показано на рис. 9–12.

В процессе нагружения от 3-й до 18-й ступени происходило изменение соотношения N_{sy}/N_{sx} на 35% в пользу направления Y (рис. 12). В то же время по сжатым зонам происходило постепенное уменьшение, наоборот, по направлению Y с увеличением по X на 31%. Это свидетельствует о более сложных процессах проходящих при нагружении пересекающихся железобетонных балок, чем просто изменение соотношения между изгибающими моментами направлений, что описывается диаграммами деформирования бетона [8]. Имеет место изменение плеча пары сил в сечениях. Возможно зависание одного луча балки на другой балке, хотя опорные реакции не показали большого отличия. Воз-

можно возникновение арочного эффекта по одному из направлений, тогда растянутая арматура этого направления останется недогруженной.



Рис. 10. Рост деформаций арматуры направлений Y и X (просуммировано по двум лучам направления)

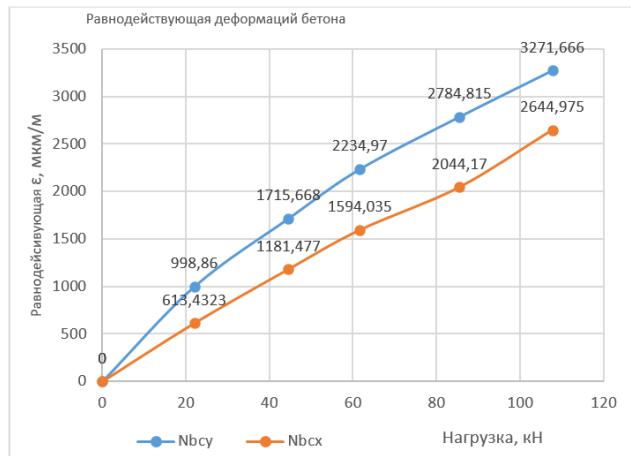


Рис. 11. Рост деформаций бетона направлений Y и X (просуммировано по двум лучам направления)

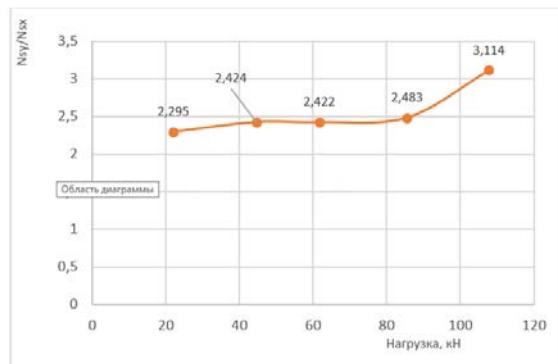


Рис. 12. Соотношение усилий (деформаций)
по арматуре направлений Y и X

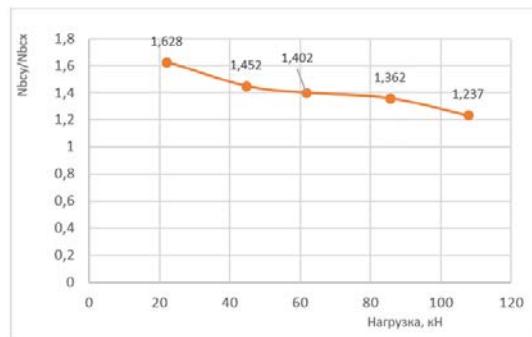


Рис. 13. Соотношение усилий (деформаций)
по бетону направлений Y и X

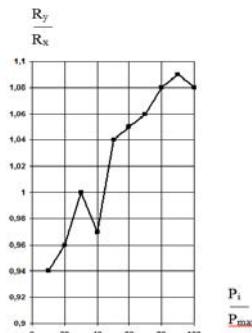


Рис. 14. Соотношение опорных реакций направлений Y и X

Характер перераспределения усилий по параметрам арматуры, бетона сжатой зоны и опорным реакциям не совпадают. Диапазон по опорным реакциям значительно меньше (рис. 14).

Если судить по деформациям арматуры, представленным на графиках (рис. 7), напряжения остаются небольшими, не превышая 200 МПа, по большей части порядка 100 МПа. Фактически предел текучести не наступает. Перераспределение усилий идет за счет упруго-пластической работы бетона сжатой и растянутой зон. Количество и привязка арматуры направлений напрямую не повлияли на распределение усилий, но повлияли через бетон сжатой и растянутой зон.

Заключение

1. Проведенные экспериментальные исследования позволили проследить нелинейный характер работы пересекающихся балок, имеющих признаки анизотропии по рабочей высоте сечений и начальным несовершенствам бетона.

2. В процессе нагружения имеет место изменение жесткости по одному направлению и у всей системы в целом. Произошло увеличение соотношения M_{sy}/M_{sx} от 3-й ступени до 18-й в 1,35 раза.

3. По равнодействующей силе в бетоне сжатой зоны соотношение σ_{by}/σ_{bx} изменилось от 1,63 до 1,23 с падением относительно направления Y.

4. Опорные реакции по концам балок по соотношению R_y/R_x изменились от 0,94 до 1,1 раза. Происходил рост в направлении Y в 1,17 раза.

5. При оценке перераспределения усилий пересекающихся балок необходимо учитывать изменение характера распределения напряжений в бетоне и плеча внутренних сил.

Список литературы

1. Карпенко, Н. И. Общие модели механики железобетона / Н. И. Карпенко. – Москва: Стройиздат, 1996. – 416 с.
2. Шишов, И. И. Неупругие деформации в конструкциях из железобетона: учеб. пособие / И. И. Шишов; Владимирский государственный университет. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 88 с.
3. Плотников, А. Н. Прочность и деформативность перекрестно-ребристого перекрытия с учетом перераспределения усилий: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / А. Н. Плотников. – Москва, 2013. – 268 с.

4. 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 нояб. 2022 г.). – Чебоксары: Среда, 2022. – С. 104–113.

5. Плотников, А. Н. Моделирование методом конечных элементов пересекающихся балок с разным процентом армирования / А. Н. Плотников, Н. Н. Аринина, Б. В. Михайлов // Строительство и застройка: жизненный цикл – 2024: материалы VII Междунар. (XIII Всерос.) конф. (Чебоксары, 2024 г.). – Чебоксары: Среда, 2024. – С. 203–210.

6. Крылов, С. М. Перераспределение усилий в статически неопределеных железобетонных конструкциях / С. М. Крылов. – Москва: Изд-во литературы по строительству, 1964. – 168 с.

7. Маилян, Л. Р. Сопротивление железобетонных статически неопределенных балок силовым воздействиям / Л. Р. Маилян. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1989. – 176 с.

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. – Москва: АСВ, 2023. – 194 с.

Плотников Алексей Николаевич – заведующий кафедрой строительных конструкций, декан строительного факультета, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. plotnikovAN2010@yandex.ru

Аринина Надежда Николаевна – старший преподаватель кафедры строительных конструкций, аспирант, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. mirontik@mail.ru

Бурцев Владимир Алексеевич – ассистент кафедры строительных конструкций, аспирант, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. vovik187@mail.ru

Михайлов Борис Васильевич – доцент кафедры строительных конструкций, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. boris.mihaylov.63@mail.ru

Alexey N. Plotnikov – head of the Department of Building Structures, dean of the Faculty of Civil Engineering, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. plotnikovAN2010@yandex.ru

Nadezhda N. Arinina – senior lecturer of the Department of Building Structures, postgraduate, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. mirontik@mail.ru

Vladimir A. Burtsev – assistant of the department of building structures, postgraduate, Chuvash State University, Cheboksary, Russia.
vovik187@mail.ru

Boris V. Mikhailov – associate professor of the Department of Building Structures, Chuvash State University, Cheboksary, Russia.
boris.mihaylov.63@mail.ru

УДК 539.374

О СВОЙСТВАХ КВАЗИЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ МЕХАНИКИ

*С.И. Сеняшов
И.Л. Савостьянова*

Сибирский государственный университет
науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнёва
г. Красноярск, Россия

Аннотация: в работе рассматриваются однородные системы квазилинейных дифференциальных уравнений первого порядка от двух независимых и двух зависимых переменных. Эти системы обладают рядом замечательных свойств: наличие бесконечной серии законов сохранения и бесконечной алгебры точечных симметрий. Их наличие позволяет по-новому решать краевые задачи и строить точные решения этих систем. В работе формулируются проблемы механики, которые еще ждут своего решения.

Ключевые слова: уравнения механики, законы сохранения, симметрии.

ON THE RESONANCE OF AN OSCILLATORY SYSTEM WITH DISTRIBUTED PARAMETERS

Abstract: the authors consider homogeneous systems of quasi-linear first-order differential equations with two independent and two dependent variables. These systems have a number of remarkable properties: the presence of an infinite series of conservation laws and an infinite algebra of point symmetries. The existence of these properties makes it possible to solve boundary value problems in a new way and to construct exact solutions to these systems. The authors formulate the problems of mechanics that are still waiting to be solved.

Keywords: equations of mechanics, conservation laws, symmetries.

Введение

Рассмотрим систему квазилинейных дифференциальных уравнений вида:

$$a_{11}(u^1, u^2) \partial_x u^1 + a_{12}(u^1, u^2) \partial_y u^1 + b_{11}(u^1, u^2) \partial_x u^2 + b_{12}(u^1, u^2) \partial_y u^2 = 0, \quad (1)$$

$$a_{21}(u^1, u^2) \partial_x u^1 + a_{22}(u^1, u^2) \partial_y u^1 + b_{21}(u^1, u^2) \partial_x u^2 + b_{22}(u^1, u^2) \partial_y u^2 = 0.$$

Подобные системы уравнений часто встречаются в механике сплошных сред: в газовой и гидродинамике, теории пластичности и т. д. Эти системы обладают замечательным свойством: при переходе к системе координат $x = x(u^1, u^2)$, $y = y(u^1, u^2)$ они линеаризуются, при условии, что якобиан преобразования не равен нулю. Линеаризация позволяет найти некоторые точные решения системы, но нисколько не облегчает решение краевых задач.

Благодаря «методу характеристик» гиперболические системы вида (1) интенсивно исследовались в 20–50-х годах прошлого века; далее исследование их продолжилось, но значительного прогресса в изучении их свойств достигнуто не было.

Приведем некоторые результаты для квазилинейных систем вида (1), которые не очень широко известны.

Свойство 1. Система (1) допускает бесконечную серию нетривиальных законов сохранения.

Свойство 2. Система (1) допускает бесконечную алгебру точечных симметрий.

Оба этих свойства является следствием линеаризации системы (1).

Как показано в [1], первое свойство позволяет для систем (1) использовать законы сохранения для построения точных решений краевых задач. Это продемонстрировано на решении ряда краевых задач для уравнений пластичности и упругости [1–3]. Второе свойство позволяет из известных точных решений строить новые серии точных решений, используя то, что симметрия преобразует решение системы (1) снова в решение этой же системы. Несмотря на то, что эти результаты достаточно давно получены, они еще редко используются при анализе и исследовании систем вида (1).

Для более детального изучения квазилинейных систем вида (1) рассмотрим гиперболический, эллиптический и параболический случаи отдельно.

Гиперболический случай.

В этом случае система (1) имеет две действительные характеристики вида:

$$\frac{dx}{dt} = A(u, v), \frac{dx}{dt} = B(u, v)$$

и с помощью инвариантов Римана система (1) может быть переписана так:

$$u_t + A(u, v)u_x = 0, \quad v_t + B(u, v)v_x = 0. \quad (2)$$

Наличие двух характеристик и бесконечной серии законов сохранения для гиперболической системы позволяет рассчитывать на построение в замкнутом виде (в виде квадратур) некоторых краевых задач. Так было построено решение задачи Коши и задачи Римана для уравнений идеальной пластичности [1].

Но до сих пор не удалось построить в таком же виде решение смешанной задачи, которая для системы (2) имеет следующий вид: на отрезке одной из характеристик заданы функции u, v , к этому отрезку примыкает не характеристическая кривая, вдоль которой задается функция u либо v . Требуется найти решение задачи в заданном треугольнике.

Нереешенная задача 1. Построить решение смешанной задачи для уравнений пластичности в замкнутом виде с использованием законов сохранения.

Пользуясь тем, что характеристики под действием преобразований симметрии переходят снова в характеристики, можно наглядно иллюстрировать, как действуют симметрии на преобразуемое «затравочное» решение. Следя за эволюцией характеристик, под действием симметрий, удается использовать вновь построенные решения для описания реальных физических процессов [2].

Эллиптический случай. В [1] получен не тривиальный пример построения решения краевой задачи для эллиптической системы, описывающей движение жидкостей в пористых средах [1]. Для этой системы, с помощью законов сохранения, решена задача Дирихле. Эллиптические системы вида (1) изучались с точки зрения использования законов сохранения решения задач краевых задач в работах [4; 5]. Более того, авторами построены законы сохранения для системы Моисила -Теодореску [6], состоящей из

четырех уравнений. Эти законы использованы для решения задачи Дирихле.

Нерешенная задача 2. Использовать законы сохранения для решения задач Неймана и других задач.

Нерешенная задача 3. Отсутствие действительных характеристик затрудняет наблюдение за эволюцией затравочных решений. Поэтому возникает проблема нахождения некого наблюдаемого аналога характеристик.

Параболический случай. Каких-либо исследований по использованию законов сохранения для решения краевых задач для параболических систем вида (1) авторам не известно.

Нерешенная задача 4. Решить любые краевые задачи для систем уравнений параболического типа с помощью законов сохранения.

Заключение

Таким образом, в данной работе нами формулируются проблемы механики, которые еще ждут своего решения.

Список литературы

1. Киряков, П. П. Приложение симметрий и законов сохранения к решению дифференциальных уравнений / П. П. Киряков, С. И. Сенашов, А. Н. Яхно. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 193 с.
2. Сенашов, С. И. Математические вопросы двумерных уравнений идеальной пластичности / С. И. Сенашов, О. В. Гомонова, А. Н. Яхно. – Красноярск: Сибирский государственный аэрокосмический университет, 2012. – 139 с.
3. Сенашов, С. И. Новые решения динамических уравнений идеальной пластичности / С. И. Сенашов, И. Л. Савостьянова // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2019. – Том 22. № 4 (80). – С. 89–91.
4. Сенашов, С. И. Законы сохранения и решения первой краевой задачи для двумерных и трехмерных уравнений теории упругости / С. И. Сенашов, И. Л. Савостьянова // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2024. – Том 27. № 1. – С. 100–111.
5. Сенашов, С. И. Напряженное состояние композитной консоли / С. И. Сенашов, И. Л. Савостьянова // Композиты и наноструктуры. – 2024. – Том 16. № 1. – С. 56–61.
6. Сенашов, С. И. Использование законов сохранения для решения краевых задач системы Моисила – Теодореску / С. И. Сенашов, И. Л. Савостьянова // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2022. – Том 25. № 4. – С. 1–13.

Сенашов Сергей Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия.

Савостьянова Ирина Леонидовна – доктор физико-математических наук, доцент, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия. ruppa@inbox.ru

Sergey I. Senashov – Doctor of Physico-mathematical Sciences, professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia.

Irina L. Savostyanova – Doctor of Physico-Mathematical Sciences, associate professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia. ruppa@inbox.ru

УДК 539.374

Г-ИНТЕГРАЛЫ, КАК ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ ДВУМЕРНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

С.И. Сенашов

Сибирский государственный университет
науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
г. Красноярск, Россия

О.Н. Черепанова

Сибирский федеральный университет
г. Красноярск, Россия

Аннотация: обычно $\Gamma(J)$ -интегралы в линейной теории упругости рассматривают как полные дифференциалы от энергии, компонент тензора напряжений и деформации. При этом некоторые Γ -интегралы являются тривиальными законами сохранения и их использование некорректно. В работе построены все законы сохранения двумерной теории упругости, сохраняющийся ток которых есть квадратичная форма компонент тензора напряжений и первых производных вектора перемещений.

Ключевые слова: Г-интегралы, законы сохранения, двумерная теория упругости.

J-INTEGRALS AS CONSERVATION LAWS OF TWO-DIMENSIONAL ELASTICITY THEORY

Abstract: *in the linear theory of elasticity, J-integrals are considered as complete differentials of energy, components of the stress and strain tensor. It's traditional. J-integrals are trivial conservation laws and their use is incorrect. The authors have constructed all the conservation laws of the two-dimensional theory of elasticity, the conserved current of which is the quadratic form of the components of the stress tensor and the first derivatives of the displacement vector.*

Keywords: *J-integrals, conservation laws, two-dimensional theory of elasticity.*

Введение

Рассмотрим уравнения двумерной теории упругости в следующем виде

$$F_1 = \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} = 0, \quad F_2 = \frac{\partial \tau}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0, \quad F_3 = -\sigma_x + (\lambda + 2\mu)u_x + \lambda v_y = 0, \quad (1)$$

$$F_4 = -\sigma_y + (\lambda + 2\mu)v_y + \lambda u_x = 0, \quad F_5 = -\tau + \mu(u_y + v_x).$$

Формулы (1) связывают компоненты тензора напряжений σ_x, σ_y, τ и компоненты вектора перемещений u, v .

Закон сохранения для системы уравнений ищем в виде [1–4].

$$\frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial B}{\partial y} = \sum_1^5 \omega_i F_i \quad (2)$$

где ω_i некоторые искомые функции, зависящие от компонент тензора напряжений и вектора перемещений. Эти функции не могут все одновременно равняться нулю тождественно.

Компоненты сохраняющегося тока A, B ищем в виде

$$\begin{aligned}
 A = & \sigma_x (a_{11}u_x^2 + a_{12}u_xu_y + a_{22}u_y^2 + \\
 & + b_{11}u_xv_x + b_{12}u_xv_y + b_{21}u_yv_x + b_{22}u_yv_y + \\
 & + c_{11}v_x^2 + c_{12}v_xv_y + c_{22}v_y^2) + \\
 & + \sigma_y (d_{11}u_x^2 + d_{12}u_xu_y + d_{22}u_y^2 + e_{11}u_xv_x + e_{12}u_xv_y + \\
 & + e_{21}u_yv_x + e_{22}u_yv_y + f_{11}v_x^2 + f_{12}v_xv_y + f_{22}v_y^2) + \\
 & + \tau (g_{11}u_x^2 + g_{12}u_xu_y + g_{22}u_y^2 + h_{11}u_xv_x + \\
 & + h_{12}u_xv_y + h_{21}u_yv_x + h_{22}u_yv_y + \\
 & + s_{11}v_x^2 + s_{12}v_xv_y + s_{22}v_y^2), \\
 B = & \sigma_x (a'_{11}u_x^2 + a'_{12}u_xu_y + a'_{22}u_y^2 + \\
 & + b'_{11}u_xv_x + b'_{12}u_xv_y + b'_{21}u_yv_x + b'_{22}u_yv_y + \\
 & + c'_{11}v_x^2 + c'_{12}v_xv_y + c'_{22}v_y^2) + \\
 & + \sigma_y (d'_{11}u_x^2 + d'_{12}u_xu_y + d'_{22}u_y^2 + \\
 & + e'_{11}u_xv_x + e'_{12}u_xv_y + e'_{21}u_yv_x + e'_{22}u_yv_y + \\
 & + f'_{11}v_x^2 + f'_{12}v_xv_y + f'_{22}v_y^2) + \\
 & + \tau (g'_{11}u_x^2 + g'_{12}u_xu_y + g'_{22}u_y^2 + h'_{11}u_xv_x + \\
 & + h'_{12}u_xv_y + h'_{21}u_yv_x + h'_{22}u_yv_y + \\
 & + s'_{11}v_x^2 + s'_{12}v_xv_y + s'_{22}v_y^2),
 \end{aligned} \tag{3}$$

$a_{ij}, a'_{ij}, b_{ij}, b'_{ij}, c_{ij}, c'_{ij}, \dots, s_{ij}, s'_{ij}$ – искомые постоянные.

После подстановки (3) в (2), получаем 28-м линейных уравнений на 42-е искомые постоянные. Решение этих уравнений позволяет построить базис законов сохранения для системы уравнений (1).

Заключение

Использование законов сохранения, построенных в этой работе, позволит рассчитывать напряженное состояние в упругих пластинах с трещинами.

Список литературы

- Сенашов, С. И. Законы сохранения и решения первой краевой задачи для двумерных и трехмерных уравнений теории упругости / С. И. Сенашов, И. Л. Савостьянова // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2024. – Том 27. № 1.
- Сенашов, С. И. Напряженное состояние композитной консоли / С. И. Сенашов, И. Л. Савостьянова // Композиты и наноструктуры. – 2024. – С. 56–61.

3. Сенашов, С. И. Упругое кручение двухслойного стержня коробчатого сечения / С. И. Сенашов, И. Л. Савостьянова, А. Ю. Власов // Прикладная механика и техническая физика. – 2023. – Том 64. № 4 (380). – С. 184–187. DOI 10.15372/PMTF202315404

4. Сенашов, С. И. Решение задачи о сжатии двухслойного нелинейного материала / С. И. Сенашов, И. Л. Савостьянова // Прикладная механика и техническая физика. – 2023. – Том 64. № 4 (380). – С. 184–187.

Сенашов Сергей Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия.

Черепанова О. Н. – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия.

Sergey I. Senashov – Doctor of Physico-mathematical Sciences, professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia.

O. N. Cherepanova – Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

УДК 624.048:539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ НА КРИТИЧЕСКИХ ПЛОЩАДКАХ МАССИВА КАМЕННОЙ КЛАДКИ

И.В. Смагин

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный
архитектурно-строительный университет»
г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация: значительное количество исторических сооружений из каменной кладки имеет конструкции сложной геометрической формы, требующие поверочных расчетов в объемном напряженном состоянии. Одновременно, отсутствуют специализированные критерии прочности кладки, позволяющие выполнить данные расчеты. Калибровка существующих феменологических поверхностей прочности затруднена при отсутствии возможности изготовления образцов для стандартизованных испытаний кладки. В представленной работе рассматривается возможность получения критических площадок и предельных напряжений исходя из постулируемых механизмов разрушения и предельных поверхностей распределения характеристик прочности

сти каменной кладки, характер которых одинаков для всех кладочных конструкций. Рассматривается метод нелинейного деформационного расчета каменных конструкций в парадигме модели полосы размазанных трещин.

Ключевые слова: каменная кладка, размазанная трещина, критическая площадка, сдвиговое разрушение, критерий прочности.

MODELING MASONRY BY USING THE CRITICAL PLANE AND SMEARED CRACK APPROACHES

Abstract: a significant number of historical masonry structures have complex geometrical configurations, which require verification calculations within the framework of a three-dimensional stress state. At the same time, there are no specialized volumetric strength criteria applicable for deformation analysis. Calibration of existing phenomenological failure surfaces is complicated by the impossibility of preparing specimens for destructive testing of masonry. This work considers the possibility of determining critical planes and ultimate stresses based on accepted failure mechanisms and the strength distribution surfaces of masonry, whose character is likely similar for all masonry structures. Furthermore, a nonlinear deformation analysis method is examined within the smeared crack approach.

Keywords: masonry, smeared crack, critical plane approach, shear, failure criterion.

Введение

Критерии прочности материала используются для оценки его предельного состояния и определения допустимых нагрузок при выполнении деформационного расчета конструкций. В настоящее время существует большое число критериев прочности каменных конструкций [1–2]. В части из них применяются феменологические подходы, с использованием полиномиальных зависимостей для аппроксимации экспериментальных данных [3–4]. Существуют методы ограничения области допустимых напряжений через описание физических процессов разрушения материала [5–6]. При таком подходе с ростом количества возможных сценариев разрушения материала увеличивается и математическая сложность получаемой в результате модели. Для решения этой проблемы можно использовать подход поиска критической площадки [7–8].

Методы исследований

Суть метода заключается в том, что разрушение кладки моделируется на некоторой площадке по одному из принятых механизмов разрушения, получаемых исходя из максимальных значений функции разрушения. Таким образом, сохраняется стройность и универсальность математической теории без нагромождения эмпирических зависимостей. Следуя описанному подходу, будем искать функцию разрушения на площадке в виде:

$$F = f(t^n, t^s) - c(\mathbf{n}) = 0,$$

где: t^n , t^s – значения нормальных и касательных напряжений на площадке, \mathbf{n} – единичный вектор, нормальный к площадке, $c(\mathbf{n})$ – параметры прочности материала. Нормальные и касательные напряжения на площадке будем определять по зависимостям:

$$t^n = (\mathbf{n} \cdot \sigma \mathbf{n}) \mathbf{n}, \quad (1)$$

$$t^s = (\delta - \mathbf{n} \otimes \mathbf{n}) \sigma \mathbf{n}, \quad (2)$$

где: δ – символ Кронекера, $\mathbf{n} \otimes \mathbf{n}$ – диадное произведение векторов.

Выразим (1) и (2) в покомпонентной форме, принимая во внимание соглашение Эйнштейна о суммировании:

$$t_i^n = (n_k \sigma_{kl} n_l) n_i, \quad (3)$$

$$t_i^s = (\delta_{il} - n_i n_l) \sigma_{lk} n_k. \quad (4)$$

Постулируем, что разрушение происходит по механизму теории прочности Кулона-Мора в зависимости от анизотропных параметров:

- $C_n(\mathbf{n})$ – начального сцепления на срез на площадке и изотропно распределенного;

- μ – условного коэффициента трения.

Функция разрушения на площадке принимается:

$$t^s(\mathbf{n}) - \mu t^n(\mathbf{n}) - C_n(\mathbf{n}) = 0. \quad (5)$$

Для решения задачи необходимо определить закон распределения $C_n(\mathbf{n})$ по случайно ориентированным площадкам. Будет удобно искать этот закон в виде зависимости от начальных сцеплений на базовых площадках, перпендикулярных к основным осям анизотропии $C_i (i = x, y, z)$:

$$C_v = \sum_i C_i n_i^2. \quad (6)$$

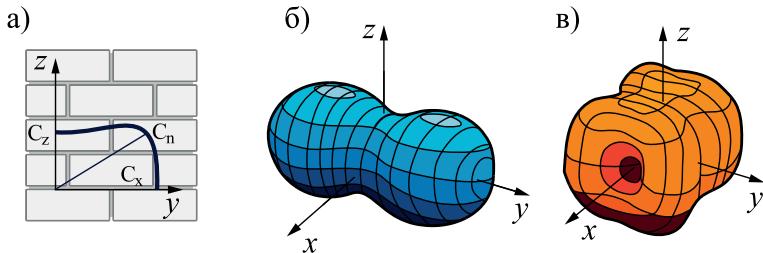


Рис. 1. а) и б) схема распределения начальных сцеплений в осях анизотропии; в) схема распределения значений функции разрушения на площадках в осях анизотропии

Приводим (6) к функции вида:

$$c(\mathbf{n}) = c_o(1 + \Omega_{ij} n_i n_j), \quad (7)$$

где: c_o – обобщенный изотропный параметр прочности, Ω_{ij} – параметр, характеризующий отклонение характеристики прочности от изотропного значения в зависимости от координат \mathbf{n} в базисе осей анизотропии.

Принимаем $C_o = \min(C_x, C_y, C_z)$, Ω_{ii} – матрица 3x3, однозначно определяемая исходя из \mathbf{n} . Для моделирования удобно предположить, что собственные значения матрицы соответствуют C_x, C_y, C_z , тогда:

$$\Omega_{ii} = \frac{C_i - C_0}{C_0}.$$

В итоге данная матрица приобретает вид:

$$\Omega = \begin{pmatrix} \Omega_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & \Omega_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \Omega_{zz} \end{pmatrix}.$$

Можно убедиться, что Ω_{ij} – представляют собой координаты тензора прочности второго ранга. Таким образом, определены предельные характеристики на каждой возможной площадке в зависимости от её ориентации, определяемой \mathbf{n} , в базисе анизотропии.

Исходя из (5) – (7) функция нахождения критической площадки будет:

$$\max_{\mathbf{n}} F = \max_{\mathbf{n}} [t^s(\mathbf{n}) - \mu t^n(\mathbf{n}) - c(\mathbf{n})] = 0, \quad (8)$$

тогда решение (8) можно искать методом множителей Лагранжа, учитывая (3), (4) и, что $\mathbf{n} \cdot \mathbf{n} = 1$:

$$\begin{aligned}
 G = & \sigma_{km}\sigma_{kp}n_l n_p - \sigma_{jm}\sigma_{kp}n_j n_k n_m n_p - \\
 & - m_0^2(1 + \Omega_{pj}^m n_p n_j)(1 + \Omega_{mk}^m n_m n_k) \sigma_{rs}\sigma_{tq}n_l n_s n_t n_q - \\
 & - \lambda(n_k n_k - 1), \\
 \frac{\partial G}{\partial n_i} = & (\sigma_{kp}\sigma_{ki} - 2c_0^2\Omega_{ip})n_p - \\
 & - 2(\sigma_{ij}\sigma_{kp} + c_0^2\Omega_{ij}\Omega_{kp})n_k n_p n_j - \lambda n_i = 0.
 \end{aligned}$$

В случае, если необходимо учитывать анизотропию прочности в зависимости от направления действия касательных напряжений t^s на площадке, то следует расширить матрицу Ω (7) до четвёртого ранга, а закон распределения предельных характеристик прочности искать в виде:

$$c(\mathbf{n}, t^s) = c_o(1 + \Omega_{ijkl}n_i n_j t_k^s t_l^s),$$

где: Ω_{ijkl} – матрица, представляющая тензор прочности 4-го ранга.

Аналогично решается задача для ограничения нормального растягивающего напряжения на площадке.

Если предположить, что возможные критические площадки дискретно распределены в пространстве, можно задаться определенным их набором и решить задачу прочности кладки перебором по всему массиву площадок. Такой прием отчасти применялся в [9], но только для одной площадки, проходящей вдоль неперевязанного шва кладки плоского напряженного состояния.

В качестве закона перехода из системы координат с осями, направленными вдоль осей анизотропии, в систему координат с осями, направленными вдоль осей главных напряжений (рис. 1), используется матрица вида h_{ij} ($i = x, y, z$; $j = 1, 2, 3$). Это позволяет построить поверхность, изображающую множество предельно допустимых напряжений в ходе деформационного расчета (рис. 2).

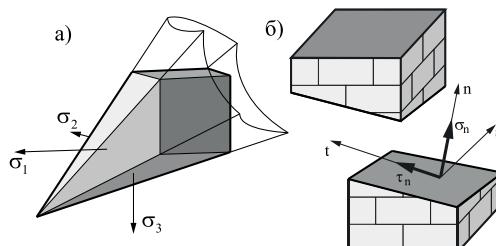


Рис. 2. а) типичная предельная поверхность прочности в пространстве главных напряжений; б) система координат в плоскости трещины

Результаты и проблематика

Зная критическую площадку, можно принять, что в её плоскости будет происходить трещинообразование, тогда, в соответствии с концепцией полосы размазанных трещин [10], при формировании матрицы жесткости необходимо понизить значения соответствующих элементов в ней. Для этого определяется критическая площадка разрушения и базис, определяющий деформационные параметры в плоскости трещины (рис. 2б). Далее декомпозируются приращения относительных деформаций $\Delta\boldsymbol{\varepsilon}$ на деформации в трещиноватой кладке $\Delta\boldsymbol{\varepsilon}^{cr}$ и упругой части $\Delta\boldsymbol{\varepsilon}^{co}$:

$$\Delta\boldsymbol{\varepsilon} = \Delta\boldsymbol{\varepsilon}^{cr} + \Delta\boldsymbol{\varepsilon}^{co}.$$

Связь между приращением напряжений и деформаций решается через определение соответствующих характеристик в плоскости трещины:

$$\Delta\boldsymbol{\sigma} = [D^{co} - D^{co}N[D^{cr} + N^T D^{co}N]^{-1}N^T D^{co}] \Delta\boldsymbol{\varepsilon},$$

где: D^{cr} и D^{co} – матрицы жесткости трещиноватой и упругой части кладки, N – матрица, определяющая связь тензора напряжений в точке с компонентами напряжений в плоскости трещин.

$$D^{cr} = \begin{bmatrix} D_n^{cr} & 0 & 0 \\ 0 & D_t^{cr} & 0 \\ 0 & 0 & D_s^{cr} \end{bmatrix}.$$

Заключение

Предложенным способом нахождения критической площадки можно описать сдвиговые механизмы разрушения каменной кладки в процессе расчета деформационной модели. Такие режимы моделирования напряженно-деформированного состояния соответствуют работе опорных участков каменных сводов и арок, стен нижних этажей многоэтажных зданий при интенсивной ветровой или сейсмической нагрузке, а также местам сопряжений каменных стен с перекрытиями или поперечными стенами, воспринимающими значительные горизонтальные усилия.

Рассмотрен вариант использования механизма нахождения направления критической площадки для описания процесса трещинообразования. Развитие представленной модели актуально в парадигме моделирования каменной кладки методом одиночной или много направленной трещины.

Список литературы

1. Dhanasekar, M., Page, A., Kleeman, P. The failure of brick masonry under biaxial stresses / M. Dhanasekar, A. Page, P. Kleeman // Proceedings of the Institution of Civil Engineers. – 1985. – Vol. 79, No. 2. – P. 295–313.
2. Berto, L., Saetta, A., Scotta, R., Vitaliani, R. An orthotropic damage model for masonry structures / L. Berto, A. Saetta, R. Scotta, R. Vitaliani // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 2002. – Vol. 55, № 2. – P. 127–157.

3. Syrmakezis, C. A., Asteris, P. G. Masonry Failure Criterion under Biaxial Stress State / C. A. Syrmakezis, P. G. Asteris // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2001. – Vol. 13, № 1. – P. 58–64.
4. Bilko, P., Małyszko, L. An Orthotropic Elastic-Plastic Constitutive Model for Masonry Walls / P. Bilko, L. Małyszko // Materials. – 2020. – Vol. 13, № 18. – P. 4064.
5. Ganz, H. R. Mauerwerksscheiben unter normalkraft und schub: PhD Thesis / H. R. Ganz. – ETH Zurich, 1985.
6. Lishak, V. I., Yagust, V. I., Yankelevsky, D. Z. 2-D Orthotropic failure criteria for masonry / V. I. Lishak, V. I. Yagust, D. Z. Yankelevsky // Engineering Structures. – 2012. – Vol. 36. – P. 360–371.
7. Pietruszczak, S., Mroz, Z. On failure criteria for anisotropic cohesive-frictional materials / S. Pietruszczak, Z. Mroz // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. – 2001. – Vol. 25, № 5. – P. 509–524.
8. Гениев, Г. А. Вопросы прочности и пластичности анизотропных материалов / Г. А. Гениев, А. С. Курбатов, Ф. А. Самедов. – 1993.
9. Sousamli, M., Messali, F., Rots, J. G. A total-strain based orthotropic continuum model for the cyclic nonlinear behavior of unreinforced brick masonry structures / M. Sousamli, F. Messali, J. G. Rots // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 2022. – Vol. 123. No. 8. – P. 1813–1840.
10. Borst, R. D., Remmers, J. J. C., Needleman, A., Abellán, M. Discrete vs smeared crack models for concrete fracture: bridging the gap / R. D. Borst, J. J. C. Remmers, A. Needleman, M. Abellán // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. – 2004. – Vol. 28. No. 7-8. – P. 583–607.

Смагин Илья Васильевич – аспирант кафедры «Теории сооружений и технической механики», Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, г. Нижний Новгород, Россия. i13vs@ya.ru

Ilya V. Smagin – postgraduate student of the Department of “Theory of Structures and Technical Mechanics”, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia. i13vs@ya.ru

РАЗДЕЛ 2. МЕХАНИКА НЕСУЩИХ СИСТЕМ

УДК 624

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УЗЛОВ СТАЛЬНОЙ РАМЫ

*A.Г. Николаева
Н.В. Иванова
С.В. Солин*

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

Аннотация: рассмотрены вопросы моделирования трехмерных узлов опирания истыковки элементов стальной плоской рамы в рамках выполнения лабораторных работ по дисциплине «Компьютерное моделирование узлов строительных конструкций» для обучающихся по специальности 08.05.01 – Строительство уникальных зданий и сооружений.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, трехмерные узлы, податливость соединений.

COMPUTER SIMULATION OF STEEL FRAME COMPONENTS

Abstract: the issues of modeling three-dimensional nodes of support and joining of elements of a steel flat frame are considered in the framework of laboratory work on the discipline “Computer modeling of building structures” for students specializing in 08.05.01 – Construction of unique buildings and structures.

Keywords: computer modeling, three-dimensional nodes, pliability of joints.

Введение.

При выполнении компьютерных расчетов стержневых систем, соединение элементов считается по умолчанию жестким, но на практике податливость деталей узлов опирания или стыка стержневых элементов может существенно повлиять на значение внутренних усилий в элементах. В Лире-Сапфир и во многих других программах есть расчеты узлов, но при этом не учитывается де-

формативность, податливость элементов конструкции узла, они считаются абсолютно жесткими. Если рассмотреть результаты расчета стержневой рамы и рамы с включением узлов опирания и сопряжения конструкций, созданных из пластинчатых элементов, то будет наблюдаться большая разница между этими результатами. Усилия, полученные в первом и втором вариантах рам, могут отличаться до 2–4 раз и даже менять знак [1–2].

Материал и методы исследований.

Обучающимся по специальности 08.05.01 – Строительство уникальных зданий и сооружений, была введена лабораторная работа по дисциплине «Компьютерное моделирование узлов строительных конструкций» по указанной проблематике. Было предложено рассмотреть напряженно–деформированное состояние элементов плоской рамы в двух вариантах. В классическом, стержневом варианте, и с «врезанными» в стержневую модель трехмерными узлами из пластинчатых элементов, созданных в программе Лира-Сапфир (см. рис. 1, для второго варианта рамы на схеме присутствует только базы колонн). Второй вариант рамы дает возможность увидеть деформированную схему самой рамы и ее элементов в целом, с учетом совместной работы конструкций. А также распределение напряжений во всех элементах узла, усилия в болтах, распределение напряжений в сварных швах, распределение и значение давления опорной плиты на фундамент и пр. При этом, если действующие напряжения в местах концентрации будут превышать R_y , то можно перейти к нелинейным диаграммам примененных сталей в соответствии с [1–7].

По результатам расчета обоих вариантов проводилось мини-исследование НДС рамы с формулировкой выводов.

Предварительно была построена и рассчитана модель плоской рамы, подобраны сечения элементов и рассчитаны узлы стыка ригеля и колонны, и базы колонны. Затем, на основе результатов расчета узла были собраны пластинчатые модели базы колонны и стыка ригеля с колонной и интегрированы в стержневую модель (пока только базы колонн, см. рис. 2).

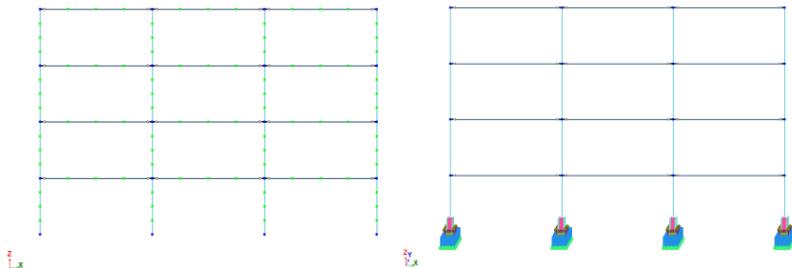


Рис. 1. Расчетные схемы рам

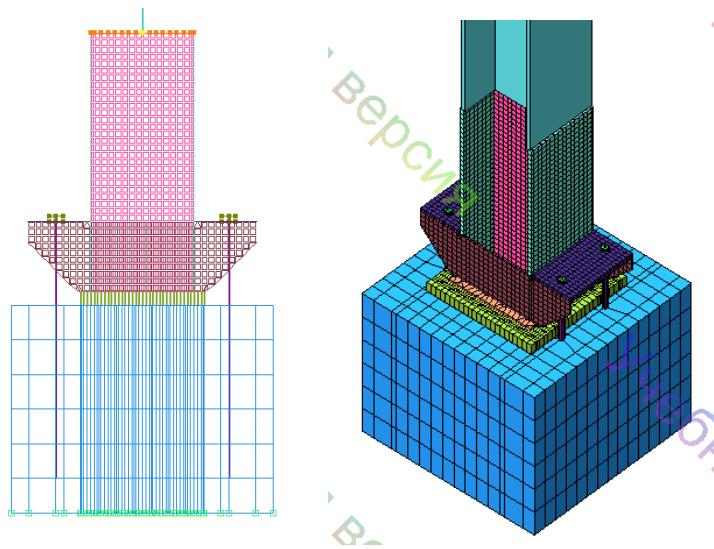


Рис. 2. Врезанный узел базы колонн

При моделировании узла базы колонны были применены элементы, моделирующие односторонние упругие связи, которыми смоделирована бетонная подливка под опорную плиту колонны, в расчетную схему были введены КЭ51 с заданной жесткостью на сжатие и сдвиг.

Результаты и проблематика.

Результаты расчета рам показали, что действительно наблюдается расхождение значений усилий в точке примыкания 3D-узла (см. рис.3). Если значение усилия M_y в обычной раме составляло $-0,593\text{kNm}$ (на уровне точки примыкания 3D-узла), то во второй

раме с внедренным 3D-узлом это значение составило уже +0,24. Значение изгибающего момента не только уменьшилось почти вдвое, но и поменяло знак. Причем суммарный момент в точке примыкания ригеля одинаков для обоих вариантов, хотя и наблюдается изменение положительной и отрицательной составляющей. Также меняется очертание эпюры поперечных усилий. Продольные усилия N и в первом и во втором вариантах рамы практически идентичны (см. рис. 4).

Также меняется картина горизонтальных деформаций. На рис. 5 приведены эпюры перемещений по местной оси $Z1$ для колонны крайнего ряда. Ясно видно, что характер перемещений в верхних этажах остался таким же, но меняются значения деформаций. Перемещения опорного узла (при наличии трехмерной модели) значительно отличаются, вследствие податливости узла.

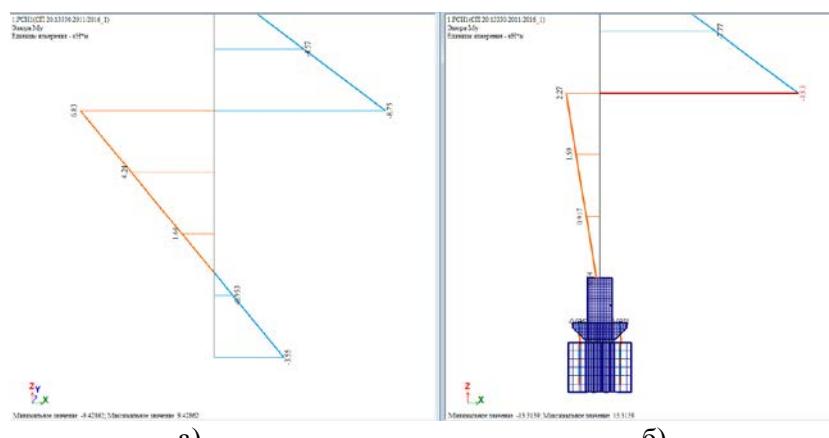


Рис. 3. Эпюры усилий My в крайней колонне: а) без внедрения узла, б) с внедренным объемным узлом базы колонны

1.PCH1(СП 20.13330.2011/2016_1)
Эпюра N
Единицы измерения - кН

1.PCH1(СП 20.13330.2011/2016_1)
Эпюра N
Единицы измерения - кН

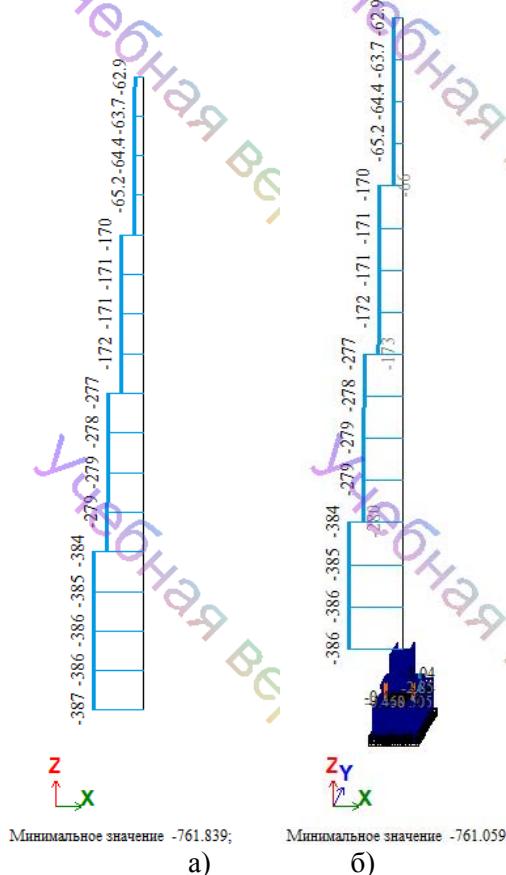


Рис. 4. Эпюры усилий N в крайней колонне: а) без внедрения узла, б) с внедренным объемным узлом базы колонны

1 РСН1(СП 20.13330.2011/2016_1)
Эпюра перемещений Z1
Единицы измерения - мм

1 РСН1(СП 20.13330.2011/2016_1)
Эпюра перемещений Z1
Единицы измерения - мм

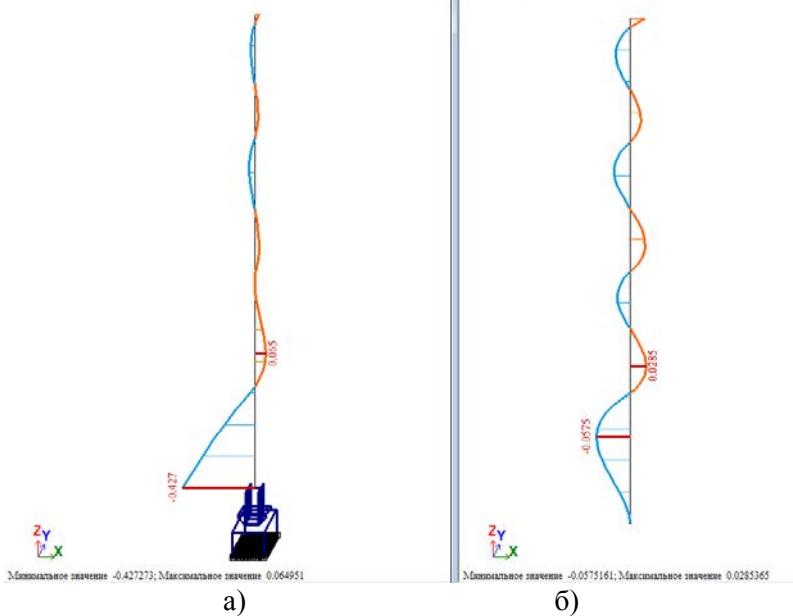


Рис. 5. Эпюры перемещений по оси Z1 (по глобальной оси X) в крайней колонне: а) с внедренным объемным узлом базы колонны, б) без внедрения узла

Заключение.

В результате численных экспериментов, осуществленных в лабораторных работах обучающимися, была подтверждена теория, предложенная Макеевым С. А., которая заключается в использовании трехмерных узлов стыков элементов при расчетах стержневых систем.

Список литературы

1. Введение. Жесткости/податливости стальных узлов, НДС элементов узлов, НДС элементов каркаса с учетом совместной работы конструкций и грунтов основания. – URL: <https://makeev.justclick.ru/01bppljyz> (дата обращения: 14.09.2025).
2. Анализ напряженно-деформированного состояния моделей узлов металлических конструкций в среде SCAD / А. А. Маляренко, А. А. Семенов, М. Н. Сафиуллин [и др.] // Строительная механика и расчет сооружений. – 2013. – № 3. – С. 47–56.
3. Анализ частоты собственных колебаний большепролетной фермы с фланцевыми соединениями / Т. Г. Рытова, Л. А. Максимова, А. Г. Nikolaeva [и др.] // Вестник ЧГПУ им. И. Я. Яковleva. Серия: Механика предельного состояния. – 2021. – № 1 (47). – С. 76–85.

4. Моделирование работы узлов металлических конструкций. Заметки эксперта ПК ЛИРА 10. – URL: <https://lira-soft.com/> (дата обращения: 14.09.2025).

5. Методы моделирования узлов строительных конструкций / А. Г. Николаева, Н. В. Иванова // Современные вопросы механики сплошных сред – 2021: сборник статей по материалам III Международной конференции (Чебоксары, 23–24 ноября 2021 года). – Чебоксары: Среда, 2021. – С. 187–193.

6. 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: Среда, 2019. – С. 175–180.

7. Интеграция САПР в образовательном процессе подготовки специалистов строительной области / Н. В. Иванова, А. Г. Николаева // Развитие современного образования: от теории к практике: материалы III Международной научно-практической конференции (Чебоксары, 23 декабря 2017 г.). – Чебоксары: Интерактив плюс, 2017.

Николаева Анастасия Георгиевна – старший преподаватель, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. nag_sf@mail.ru

Иванова Наталья Васильевна – старший преподаватель, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. sus-a@mail.ru

Солин Сергей Владимирович – страшний преподаватель кафедрой «Архитектуры и дизайна среды», Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. ssolin@yandex.ru

Anastasia G. Nikolaeva – senior lecturer, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. nag_sf@mail.ru

Natalia V. Ivanova – senior lecturer, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. sus-a@mail.ru

Sergey V. Solin – senior lecturer of the Department of Architecture and Environmental Design, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. ssolin@yandex.ru

УДК 624.01

ВЛИЯНИЕ НА НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЯ ВАРИАНТОВ СТАДИЙНОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ

*A.П. Прокопьев
Е.Г. Гоник*

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

Аннотация: исследование выполнено с целью определение влияния на несущие конструкции здания вариантов стадийности возведения.

Ключевые слова: несущие конструкции, проектирование, стадийность, нелинейное изменение.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE PROPORTIONAL LIMIT IN TORSION OF A THIN-WALLED CYLINDRICAL SHELL MADE OF ALUMINUM ALLOY

Abstract: the study was carried out in order to determine the impact of construction stages on the building's supporting structures.

Keywords: supporting structures, design, staging, nonlinear change.

Введение

В настоящее время в нормативных документах не существует строгих требований к расчетам с учетом стадийности возведения. Поэтому большинство расчетов строительных конструкций, зданий и сооружений проводятся без учета стадийности возведения, что может приводить к существенным погрешностям в результатах расчетов. В соответствии с требованиями ФЗ № 384 расчетные модели (в том числе расчетные схемы) строительных конструкций и оснований должны отражать действительные условия работы здания или сооружения.

Изменение параметров, определяющих напряженно-деформированное состояние основных несущих элементов, в процессе возведения и эксплуатации не может быть проигнорировано при анализе сложных многоэлементных систем, к кото-

рым можно отнести высотные здания. Это обстоятельство делает необходимым анализ работы конструктивной системы, структура, геометрические и жесткостные параметры которой меняются во времени и пространстве.

Целью исследований является определение влияния на несущие конструкции здания вариантов стадийности возведения

Материал и методы исследований

Традиционные методы расчета несущих конструкций предполагают использование сформированной мгновенно ненагруженной расчетной модели. При этом основные параметры расчетной модели: жесткостные, геометрические и т. д. принимаются постоянными, а также действует принцип суперпозиции в отношении нагрузок.

Задача исследования напряженно-деформированного состояния с учетом поэтапного изменения расчетных моделей является актуальной и требует реализации при проведении расчета конструкций сооружений и зданий. В случае, когда нагрузка к зданию прикладывается одномоментно, его напряженно-деформированное состояние может отличаться от ситуации, когда нагрузка прикладывается в процессе возведения, также при возведении нескольких несущих каркасов зданий нельзя допускать возведение несущих конструкции поочередно, комплексы из таких зданий, должны строиться членочным методом или методом возведение этажей через один. В противном случае неправильное возведение здания в комплексе связанных между собой стилобатной частью может привести к неправильному распределению нагрузок в конструкции или допускается полное обрушение каркаса с рядом стоящим возведенным зданием. Это происходит из-за изменения расчетной схемы здания при его деформировании в ходе возведения. Если изменения расчетной модели являются существенными, то задача должна решаться в генетически нелинейной постановке. Данный вид нелинейности является разновидностью геометрической нелинейности, возникающей в процессе возведения сооружения. Существующая практика расчетных обоснований конструктивных решений сооружений и зданий основывается на проведении статических расчетов в рамках процедуры одноэтапного расчета. При этом жесткостные и геометрические характеристики принимаются постоянными для всего расчетного процесса [2].

Величины и характер приложения статических нагрузок на модель принимаются неизменными при проведении расчета. При расчете без учета стадийности возведения в колоннах верхних этажей зданий и сооружений могут возникать достаточно большие растягивающие усилия, наблюдаются характерные горизонтальные смещения этажей конструкции, т.е. отклонения от вертикали оси здания. Источниками перекосов могут являться локально расположенные жесткие узлы лестнично-лифтовых блоков (нерегулярность жесткостей здания в плане) и неравномерные деформации основания сооружения. Данное явление объясняется не учетом стадийности возведения конструкций, считается, что здание загружается одномоментно, а это не верно.

Особенности расчетов несущих конструкций здания от выбора вариантов стадийности загружений.

Сложившаяся практика за время развития истории расчетного обоснования конструктивных решений зданий и сооружений базируется на выполнении статических расчетов в условиях неизменных основных параметров расчетной модели: набор элементов модели соответствует полной проектной расчетной схеме, геометрические и жесткостные характеристики постоянны в рамках процедуры одноэтапного расчета, модель внешних связей несущих конструкций с внешней средой и параметры каждого связевого элемента принимаются постоянными.

Нагрузки на модель также принимаются неизменными. Более того, в рамках концепции «суперпозиции» нагрузки, сгруппированные в загружения, действуют независимо на исходную (недеформированную) расчетную схему. Очевидно, что приведенные принципы традиционного расчетного обоснования основаны на существенных упрощениях реальной практики как строительного, так и эксплуатационного периодов существования конструкции, т. е. жизненного цикла сооружения. Анализ простейших конструктивных схем показывает, что неучет истории формирования НДС конструкции может привести к искажению результатов расчетного прогноза. Доказано что процессы, происходящие на стадии возведения сооружения, существенным образом влияют на формирование НДС рамно-связевых каркасов. Расчеты показывают значение учета процессов монтажа сооружения в расчетах, говоря о том, что на стадиях возведения усилия в некоторых элементах могут значи-

тельно превосходить соответствующие усилия на эксплуатационной стадии, а также высказывают принципиальное положение о необходимости учета изменения механических свойств материалов конструкций в течение жизненного цикла здания. За рубежом учету изменений параметров конструкций в процессе возведения посвящен ряд исследований. Так, в работах анализируется процесс деформации колонн многоэтажных и высотных железобетонных зданий в режиме возведения и обосновывается необходимость учитывать изменения исходных размеров элементов несущих конструкций в расчетном обосновании. Так же представлены результаты поэтапного расчета деформаций консольных частей поперечного сечения несущих конструкций, формирующихся при последовательном монтаже, в сопоставлении с данными мониторинга натурных мостовых конструкций, что свидетельствует о существенном повышении точности расчетного прогноза при использовании расчетной технологии, позволяющей отслеживать многоэтапное формирование НДС конструкции [3].

Особенностям моделирования НДС с учетом изменения их параметров обязательный этап для современного строительства, так как результаты которой свидетельствуют о необходимости отслеживания в рамках расчетной технологии поэтапного изменения характеристик элементов конструктивной системы. предложены некоторые подходы к численному моделированию процесса поэтапного изменения элементов расчетной модели конструкций, учитывающие процесс монтажа

Результаты и проблематика

Анализ различных видов изменения расчетной схемы несущих конструкций в течение жизненного цикла сооружения показывает, что можно выделить как минимум четыре основных режима работы конструкции.

1. Режим возведения здания.
2. Режим основного эксплуатационного периода.
3. Режимы особых условий эксплуатационного периода, которых также может быть несколько: случаи сейсмических и других аварийных воздействий на здание (ветровые воздействия в виде смерча, урагана и др.).

4. Случаи изменения физико-механических свойств грунтового основания (обводнение грунтов, возникновение карстово-суффозионных явлений, просадочности грунтов и т. п.).

Каждый из таких режимов может состоять из нескольких этапов. В многоэтапном режиме возведения существенные особенности в процесс формирования и перераспределения усилий (напряжений) в системе несущих конструкций вносят элементы повышенной жесткости. Результаты исследования этого явления, в которой на специально разработанных тестовых примерах и на примерах расчетов реальных объектов показаны эффекты влияния жестких конструкций здания на распределение усилий в несущей системе сооружения. В отдельных случаях (для зданий повышенной этажности с устройством в средней и верхней зонах жестких этажей противопожарных убежищ) расчет по традиционной технологии приводит к нарастанию отклонения от логичного и ожидаемого результата вплоть до возникновения «растянутых» колонн. Учет многоэтапного замыкания системы несущих конструкций в режиме возведения сооружения приводит к результатам, хорошо согласующимся с инженерной практикой – в вертикальных несущих конструкциях многоэтажных зданий под нагрузками собственного веса усилий растяжения не возникает.

Режим основного эксплуатационного периода может быть охарактеризован как режим с полностью готовой системой несущих конструкций, геометрические и жесткостные параметры которой соответствуют проектному решению (с учетом корректировок, вносимых на этапе возведения конструкции). Модель воздействия определяется действующими нормами.

Однако модель внешних связей существенным образом зависит от вида воздействия: для длительно действующих нагрузок деформационные свойства внешних связей здания с основанием определяются модулем деформации грунтов, для кратковременных воздействий (например, ветровых) – модулем упругости грунтов. Хорошо известно, что величины модулей деформации и упругости грунтов различаются в 5 и более раз. Особенности формирования и изменения модели внешних связей в основной эксплуатационный период. Показано, что в рамках традиционной расчетной технологии (т. е. при неизменных параметрах расчетной модели) результаты расчета и деформаций системы несущих

конструкций и параметров отклика сооружения на динамические воздействия имеют радикальные отличия от результатов расчета несущих систем с учетом детализации внешних связей на различных этапах работы сооружения.

Инженерная практика показывает, что реальные условия участка строительства могут определять существенно более сложные ситуации, в рамках которых происходит радикальное изменение роли конструктивного элемента, входящего в состав системы несущих конструкций сооружения. Например, сваи, выступающие в режиме основного эксплуатационного периода в качестве элементов внешних связей и обеспечивающие передачу нагрузок от здания на основание, могут (в случае формирования оползневого давления, т. е. в особом режиме эксплуатационного периода) выполнять функцию нагружочного элемента и передавать на систему несущих конструкций здания нагружочный эффект от воспринимаемого сваями давления грунта. Существующими традиционными методами выполнить расчет, адекватно отражающий столь существенное изменение расчетной модели, не представляется возможным.

Физически нелинейный характер работы основного материала строительных конструкций – железобетона – также генерирует процесс изменения расчетной схемы конструкции вследствие изменения приведенной жесткости железобетонного конструктивного элемента (формирование зон трещинообразования, реализация в конструкции явлений ползучести и т. п.). Анализу физической нелинейности железобетона посвящены многочисленные работы таких авторов, как О. Я. Берг, В. М. Бондаренко, А. А. Гвоздев, Н. И. Карпенко и др., по результатам исследований которых в действующие нормы внесены положения по редуцированию начального модуля упругости бетона. Очевидно, что необходимо учитывать изменение жесткости отдельных элементов железобетонной конструкции в процессе нагружения или во времени при моделировании ее работы [4].

Метод наращивания предусматривает установку монтируемого элемента строго в проектное положение с компенсацией тем или иным способом деформации нижерасположенных конструкций. Напомним, что нагрузки от собственного веса для железобетонных конструкций (в отличие от стальных) являются весьма зна-

чимыми и составляют основную долю в общей величине нагрузок для зданий жилого и общественного назначения. Под действием нагрузок от смонтированных элементов происходит их деформирование, что требует корректировки геометрических размеров вертикальных конструкций для обеспечения установки последних в проектное положение (рис. 1).

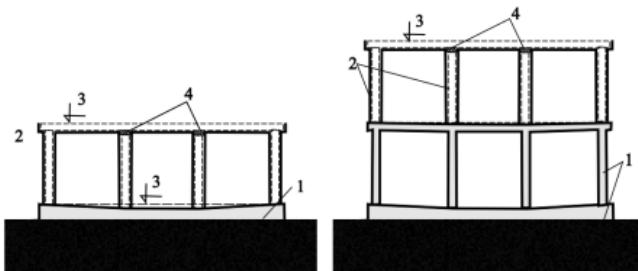


Рис. 1. Схема изменения расчетной модели в процессе возведения: 1 – первая стадия возведения здания, 2 – вторая стадия возведения здания, 3 – проектная отметка возведения конструкции

Необходимо отметить, что приведенный на рисунке 1 пример технологии поэтапного наращивания здания приводит не только к приращению длины элементов конструкции в вертикальной плоскости, но и к горизонтальному смещению ярусов конструкции, т. е. отклонению оси здания от вертикали. Причиной перекосов могут быть и нерегулярность жесткостей здания в плане (локально расположенные жесткие узлы лестнично-лифтовых блоков), и неравномерные деформации основания сооружения. Компенсировать горизонтальные смещения ярусов, расположенных ниже уровня монтажа соответствующего этапа, практически невозможно, но учитывать их в расчете сооружения совершенно необходимо. Расчеты деформаций несущих конструкций в традиционной расчетной технологии формируют накопление ошибки, связанной с неизменяемыми геометрическими параметрами модели. При этом величина накопленной ошибки может существенно превысить приемлемые пределы и привести к недопустимому искажению расчетного деформированного состояния модели здания. Наибольшее значение учет изменения геометрии элементов системы несущих конструкций имеет для расчетного обоснования

многоэтажных и высотных зданий с нерегулярным распределением жесткостей в плане и по вертикали.

Заключение

Задача исследования напряженно-деформированного состояния с учетом поэтапного изменения расчетных моделей является актуальной и требует реализации при проведении расчета конструкций сооружений и зданий. В случае, когда нагрузка к зданию прикладывается одномоментно, его напряженно-деформированное состояние может отличаться от ситуации, когда нагрузка прикладывается в процессе возведения. Изменение параметров, определяющих напряженно-деформированное состояние основных несущих элементов, в процессе возведения и эксплуатации не может быть проигнорировано при анализе сложных многоэлементных систем, к которым можно отнести высотные здания.

Список литературы

1. Тур, В. Новое в строительстве высотных зданий из железобетона / В. Тур, М. Марковский, А. Щербач // Архитектура и строительство: жизненный цикл. – 2008. – № 2. – С. 72–81.
2. Генералов, В. П. Особенности проектирования высотных зданий: учебно-методическое пособие / В. П. Генералов; Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – 2009. – 105 с.
3. Теличенко, В. И. Технология возведения зданий и сооружений / В. И. Теличенко, А. А. Лапидус. – Москва: Высшая школа, 2001. – 248 с.
4. Кабанцев, О. В. Учет изменения жесткостей элементов в процессе монтажа и эксплуатации / О. В. Кабанцев, А. В. Перельмутер // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 1 (53). – С. 6–14.
5. Перельмутер, А. В. Анализ конструкций с изменяющейся расчетной схемой / А. В. Перельмутер, О. В. Кабанцев. – Москва: АСВ, 2015. – 148 с.

Прокопьев Арсентий Павлович – аспирант кафедры строительных конструкций, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. senya25031@mail.ru

Гоник Екатерина Григорьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. katya.gonik@mail.ru

Arsentiy P. Prokopiev – postgraduate student Department of Building Structures, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. senya25031@mail.ru

Ekaterina G. Gonik – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Building Structures, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. katya.gonik@mail.ru

УДК 539.3

ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ В ТУРКМЕНИСТАНЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

**Н. Раджапбаев
Н.Г. Русинова**

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

Аннотация: исследование выполнено с целью выявления проблем водоснабжения и водоотведения в Туркменистане. Водоснабжение и водоотведение – это важнейшие составляющие инженерной инфраструктуры современного государства. Без надежного доступа к чистой воде и безопасного отвода сточных вод невозможно устойчивое развитие городов, промышленности, сельского хозяйства и повышение качества жизни населения. В работе выявлены источники водоснабжения, основные очистные сооружения для подготовки питьевой воды и для очистки сточных вод. Определены задачи и перспективы развития инженерных сооружений.

Ключевые слова: водоснабжение, водоотведение, Каракумский канал, централизованные системы, очистные сооружения, станция биологической очистки.

WATER SUPPLY AND WASTEWATER DISTRIBUTION IN TURKMENISTAN: CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Abstract: the study was conducted to identify the problems of water supply and sanitation in Turkmenistan. Water supply and sanitation are essential components of the engineering infrastructure of a modern state. Without reliable access to clean water and safe wastewater disposal, sustainable development of cities, industry, agriculture, and

improving the quality of life for the population are impossible. The study identified the sources of water supply, the main treatment facilities for drinking water preparation, and wastewater treatment. It also identified the challenges and prospects for the development of engineering facilities.

Keywords: water supply, wastewater disposal, Karakum Canal, centralized systems, treatment facilities, biological treatment station.

Введение

Водоснабжение и водоотведение – это важнейшие составляющие инженерной инфраструктуры современного государства. Без надежного доступа к чистой воде и безопасного отвода сточных вод невозможно устойчивое развитие городов, промышленности, сельского хозяйства и повышение качества жизни населения. Не секрет, что многие государства в современном мире ощущают острую нехватку питьевой воды [2].

Для Туркменистана, находящегося в зоне резко континентального засушливого климата, вопросы рационального использования воды приобретают особое стратегическое значение [1]. Ограниченностъ водных ресурсов, высокая испаряемость, неравномерное распределение населения и хозяйственной деятельности по территории страны требуют комплексного подхода к организации водоснабжения и водоотведения. Туркменистан – государство Центральной Азии с общей площадью около 491 тыс. кв. км. Большая часть территории покрыта пустынями, главным образом Каракумами. Климат здесь резко континентальный, с жарким летом и холодной зимой, низким количеством осадков и высокой испаряемостью.

Основным источником пресной воды является река Амударья, которая протекает по северной границе страны. Дополнительными источниками служат реки Мургаб, Теджен и малые горные реки Копетдага. Огромную роль играет Каракумский канал – крупнейший искусственный водовод протяжённостью более 1300 км, построенный в советский период. Он транспортирует воду Амударьи вглубь пустыни, обеспечивая орошение сельхозугодий, водоснабжение городов и поселков.

В стране создан ряд водохранилищ (Копетдагское, Хаузханское, Сарыкамышское), которые выполняют регулирующую и накопительную функции. Однако водные ресурсы Туркменистана

ограничены и зависят от стока рек, формирующегося в соседних государствах, что накладывает определенные риски и обязательства по международному водопользованию.

Развитие данных систем в Туркменистане проходит несколько этапов: от строительства первых водоводов и канализационных сетей в советский период до масштабной модернизации инфраструктуры в независимой республике. Современные программы направлены на улучшение качества питьевой воды, снижение потерь при транспортировке и внедрение современных технологий очистки сточных вод.

Целью исследований является изучение проблем водоснабжения и водоотведения в Туркменистане.

Материал и методы исследований

Для работы над темой использовались различные источники: публицистическая и специальная литература, статьи в научных изданиях и периодической печати, интернет-ресурсы, в т. ч. официальные сайты. Исследование проведено с применением сравнительно-исторического метода и метода системного анализа, что позволило обобщить данные источников и сгруппировать разнообразные суждения и оценки.

Система водоснабжения Туркменистана включает несколько ключевых звеньев:

- забор воды из поверхностных и подземных источников;
- предварительная очистка и обеззараживание воды;
- транспортировка по магистральным водоводам и насосным станциям;
- распределение по городским и сельским сетям.

Городское водоснабжение. В крупных городах (Ашхабад, Туркменабат, Мары, Дашогуз) работают централизованные системы с многозонным регулированием давления. В последние годы модернизированы водоочистные станции, внедрены системы автоматизированного контроля качества воды.

Сельское водоснабжение. Сельские поселения в силу удаленности часто обеспечиваются водой через локальные водозаборы и насосные станции, либо с помощью цистерн. Государственные программы предусматривают строительство новых водопроводов и артезианских скважин, чтобы повысить охват населения качественной питьевой водой.

Станции очистки воды в Туркменистане используют классические методы (отстаивание, фильтрация, хлорирование) и постепенно внедряют современные технологии – ультрафиолетовое обеззараживание, мембранные фильтрации. В Ашхабаде, например, действуют новые комплексы, обеспечивающие соответствие питьевой воды санитарным нормам.

Система водоотведения предназначена для сбора, отвода и очистки сточных вод. В Туркменистане в крупных городах функционируют централизованные канализационные сети. Сточные воды по коллекторам поступают на очистные сооружения, где проходят механическую, биологическую и частично химическую обработку.

Городское водоотведение. В Ашхабаде построены современные очистные сооружения с биофильтрами и аэротенками, позволяющие очищать миллионы кубометров сточных вод в год (рис. 1). В Туркменабате, Мары и Дашогузе также действуют станции механико-биологической очистки.



Рис. 1. Биологические очистные сооружения в Ашхабаде

Сельское водоотведение. В сельских поселениях канализация чаще всего отсутствует. Население пользуется выгребными ямами, септиками или локальными установками биологической очистки. Государство реализует pilotные проекты по внедрению недорогих локальных очистных станций.

Ашхабадские очистные сооружения «Bagtyýarlyk» – современный объект, введённый в эксплуатацию 22 мая 2024 года

(рис. 2). Мощность сооружений составляет 150 000 кубометров воды в сутки. Источником воды служит водохранилище объемом около 1 млн. м³ на правом берегу реки Каракум, откуда вода поступает через насосную станцию первого подъема [4].

Процесс очистки включает последовательные стадии: удаление механических примесей, коагулация и флокуляция с применением сульфата алюминия и полиэлектролита, фильтрацию через двуслойные фильтры (антрацит + кварцевый песок), и финальное обеззараживание гипохлоритом натрия. После очистки вода поступает в резервуары чистой воды и далее распределяется по сети. Также часть очищенной воды может быть использована для озеленения и ирригации. Проект выполнен с участием зарубежных специализированных компаний, что позволило применить современные технологии.

Помимо «Bagtyýarlyk», в Ашхабаде действует комплекс КОС-300, рассчитанный теоретически на производительность до около 3,5 м³/с (более 300 тыс. м³/сутки), однако на текущий момент функционирует в более низком режиме (~1 м³/с). Отработанная вода с КОС-300 направляется через дренажные системы и коллектора, в том числе в озеро «Алтын Асыр», что служит элементом системы управления стоками и экологической инфраструктуры города [3].



Рис. 2. Ашхабадские очистные сооружения «Bagtyýarlyk»

Результаты и проблематика

Несмотря на позитивные изменения, отрасль сталкивается с рядом проблем:

- ограниченность водных ресурсов и зависимость от соседних государств;
- высокий уровень потерь воды в изношенных сетях;
- недостаточная обеспеченность сельской местности канализацией;
- устаревшее оборудование и технологии на многих объектах;
- загрязнение поверхностных вод из-за сброса недостаточно очищенных сточных вод.

Экологические вызовы усиливаются ростом населения, развитием промышленности и сельского хозяйства. Повышается нагрузка на реки и водохранилища, возрастают риски засоления и деградации почв при орошении [7; 8].

Правительство Туркменистана принимает меры по улучшению ситуации:

- строительство новых водоочистных и канализационных станций в Ашхабаде, Туркменабате, Дашогузе;
- реконструкция Каракумского канала, снижение потерь при транспортировке;
- внедрение технологий капельного орошения и водосбережения;
- разработка нормативно-правовой базы для эффективного водопользования;
- привлечение международного опыта и инвестиций.

Перспективным направлением является повторное использование очищенных сточных вод, применение современных мембранных технологий, а также цифровизация учета и контроля водопотребления [5; 6].

Заключение

Системы водоснабжения и водоотведения Туркменистана являются жизненно важной частью инфраструктуры страны. В условиях ограниченных водных ресурсов и засушливого климата они требуют особого внимания со стороны государства, инвестиций в модернизацию и внедрения новых технологий.

Развитие этих систем позволит повысить уровень жизни населения, улучшить санитарно-эпидемиологическую обстановку,

обеспечить устойчивое развитие промышленности и сельского хозяйства, а также сохранить природные ресурсы для будущих поколений.

Список литературы

1. Агаджанов, А. М. Инженерное водоснабжение и водоотведение в условиях засушливого климата / А. М. Агаджанов. – Ашхабад: ТуркменНИИпроект, 2019.
2. Амаша, Л. С. Обзор водных ресурсов в Израиле / Л. С. Амаша, А. М. М. Аль-Хайми, Н. Г. Русинова // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 55-летию ЧГУ им. И. Н. Ульянова. – Чебоксары: Среда, 2022. – С. 13–20.
3. Ашыров, С. Р. Современные технологии очистки сточных вод в условиях Туркменистана / С. Р. Ашыров // Вестник Технологического университета Туркменистана. – 2021. – № 3.
4. Официальные материалы и отчёты о состоянии водных ресурсов / Государственный комитет Туркменистана по водному хозяйству. – Ашхабад, 2023.
5. Программа развития систем водоснабжения и канализации на 2021–2030 гг. / Министерство коммунального хозяйства Туркменистана. – Ашхабад, 2021.
6. Проблемы рационального водопользования в странах Центральной Азии / Центрально-Азиатский институт водных ресурсов. – Алматы, 2020.
7. Агентство «Туркменинформ». – URL: <https://turkmeninform.com> (дата обращения: 12.09.2025).
8. В Ашхабаде введено в строй новое водоочистное сооружение. – URL: <https://www.infoabad.com/3892-v-ashhabade-vvedeno-v-stroi-novoe-vodoochistnoe-sooruzhenie.html> (дата обращения: 12.09.2025).

Раджапбаев Нурбек – студент строительного факультета, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия.

Русинова Надежда Германовна – старший преподаватель кафедры теплотехники и гидравлики, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. rusinovang@mail.ru

Nurbek Rajapbayev – student of the Faculty of Civil Engineering Chuvash State University, Cheboksary, Russia. rusinovang@mail.ru

Nadezhda G. Rusinova – senior lecturer, Department of Heat Engineering and Hydraulics, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. rusinovang@mail.ru

УДК 627.81.09(470.344-25)

ПРОБЛЕМЫ ЧЕБОКСАРСКОГО ГИДРОУЗЛА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

*Н.Г. Русланова
Т.В. Щенникова
Н.А. Федоров*

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

Аннотация: история создания и развития Чебоксарского гидроузла неизменно вызывает интерес у исследователей. Водохранилище много лет находится на пониженной отметке. Такое состояние ведет к многочисленным проблемам. Актуальность исследования заключается в том, что в настоящее время проблема водохранилища затрагивает интересы населения трех регионов. В 2010-е гг. была выполнена Программа комплексного обследования зоны Чебоксарского водохранилища. Обследование выявило ряд проблем, связанных с эксплуатацией водохранилища и состоянием инженерной защиты. Чебоксарский гидроузел в настоящее время эксплуатируется на непроектной отметке, в результате чего станция не выдает электрическую энергию, необходимую для экономического развития регионов. Кроме того, происходит разрушение объектов инженерной защиты, подтопляются территории и населенные пункты, прогрессируют эрозивные процессы, ухудшается качество воды. Энергетики предлагают решить эту проблему путем поднятия уровня воды в водохранилище до проектной отметки. Однако не все согласны с этим решением.

Ключевые слова: Чебоксарский гидроузел, проект, история строительства, зона затопления, инженерная защита, Программа комплексного исследования.

PROBLEMS OF THE CHEBOKSAR HYDROELECTRIC FACILITY AT THE PRESENT STAGE

Abstract: the history of the Cheboksary hydroelectric complex's creation and development has always been of interest to researchers. The reservoir has been at a reduced level for many years. This condition

leads to numerous problems. The relevance of the study lies in the fact that currently the reservoir problem affects the interests of the population of three regions. In the 2010s, a comprehensive survey program was carried out in the Cheboksary reservoir area. The survey revealed a number of problems related to the operation of the reservoir and the state of engineering protection. The Cheboksary hydroelectric complex is currently operating at a non-design level, which means that the station is not producing the amount of electricity necessary for the economic development of the regions. In addition, the destruction of engineering protection facilities is occurring, and areas and settlements are being flooded, erosion processes are progressing, and the quality of water is deteriorating. The energy sector is proposing to solve this problem by raising the water level in the reservoir to the design level.

Keywords: Cheboksar hydroelectric power plant, project, construction history, flooding zone, engineering protection, comprehensive examination program.

Введение

В настоящее время река Волга представляет собой систему инженерных сооружений. Практически весь сток воды регулируется человеком. До создания системы водохранилищ река в разные годы весной разливалась и подтопляла города и населенные пункты.

Водохранилище возникло в 1981 г. в результате строительства Чебоксарской ГЭС. Это была восьмая станция на Волге по времени строительства и пятая по течению реки. Проектное задание было разработано в 1968 г. Всесоюзным ордена Ленина проектно-изыскательским и научно-исследовательским институтом «Гидропроект» имени С. Я. Жука г. Куйбышев [3]. Особое внимание в документе уделялось водохранилищу, так как сооружение гидроузла на равнинной местности привело к затоплению огромных территорий. По проекту площадь водохранилища составляла 2 190 кв. км, объем 13,85 куб. км, длина 341 км. Сюда входили пойменные земельные угодья, населенные пункты, предприятия, различные природные объекты. Были подготовлены мероприятия по переселению населения из зоны затопления, переносу строений, а также инженерная защита городов и сельских поселений, лесосводка и санитарная очистка.

При достаточно широком круге источников о Чебоксарской ГЭС необходимо отметить, что исторический аспект становления и развития станции представлен незначительно. В историографии проблемы следует выделить два периода. Первый период охватывает конец 1960-х – начало 1990-х гг. Историография этого периода носит в основном описательно-публицистический характер. Например, такие авторы, как Ю. А. Князев, И. Ф. Риманов, А. Г. Юдковский, осветили процесс становления гидроузла, сделав акцент на положительных сторонах строительства [8; 12]. Кроме того, многим трудам присуща ведомственная направленность, публицистический характер и слабая документальная база. Второй период историографии охватывает 1990–2010-е г. Он включает в себя статьи периодической печати, а также публикации ученых о развитии ГЭС. Основной проблемой в этот период становится вопрос поднятия уровня водохранилища. В статьях многих авторов присутствует критическая точка зрения на состояние гидроузла. Такие авторы, как А. В. Захаров, И. А. Алексеев, Е. А. Бурдин в своих работах исследуют влияние гидростроительства на социально-экологическую сферу региона [1; 2]. По результатам анализа специальной литературы было выявлено отсутствие в отечественной историографии комплексных исследований по истории строительства гидроэлектростанции.

Цель исследования – рассмотреть проблемы Чебоксарского гидроузла в свете экономического развития регионов на современном этапе.

Материал и методы исследований

Для работы над темой использовались различные источники: архивные документы, публицистическая литература, статьи в научных изданиях и периодической печати. Исследование проведено с применением сравнительно-исторического метода и метода системного анализа, что позволило обобщить данные источников и сгруппировать разнородные суждения и оценки.

Результаты и проблематика

Для определения предела пропорциональности при кручении тонкостенной цилиндрической оболочки из алюминиевого сплава

В зону влияния Чебоксарского водохранилища попали территории Чувашской и Марийской АССР, Горьковской области. Так,

в Чувашской Республике оказались в зоне затопления Чебоксарский, Моргаушский и Ядринский районы, в Марийской АССР – Горномарийский, Кильмарский и Юринский районы, в Горьковской области – Кстовский, Лысковский, Великовский, Фокинский, Курмышский районы.

Для снижения отрицательного влияния создаваемого водохранилища в проекте предусматривались значительные средства по защите объектов народного хозяйства от затопления, подтопления и берегообрушения. Основная роль здесь отводилась инженерной защите. Инженерная защита – это комплекс сооружений, обеспечивающих защиту города, села или сельскохозяйственной низины от воздействия водохранилища, уровень которого находится выше отметок земли данного защищаемого пункта. В комплекс входят: земляные дамбы обвалования территории, бетонные крепления этих дамб, берегов, откосов, устройство каналов, системы дренажей для сбора профильтровавшейся через дамбы воды и отвода ее к насосным станциям, насосные станции для откачки этой воды и др.

В Чувашии проектом предусматривалась инженерная защита городов Чебоксары, Ядрина и поселка Сосновка. В Чебоксарах в инженерную защиту входило укрепление берегов Волги на Западном (4,8 км) и Восточном (1 км) участках, а также акватория реки Чебоксарки. В Горьковской области защите подлежали с. Михайловское, г. Бор, в Марийской АССР рабочий поселок Юрино и другие населенные пункты. Таким образом, гидротехнические сооружения необходимо было построить в 7 городах и 16 селах. Также защите подлежали восемь сельскохозяйственных низин: Кстовская низина (1 865 га сельскохозяйственных угодий), Лысковская (1 587 га), Великовская (1 162 га), Фокинская (4 664 га), Курмышская (3 055 га), Юринская (3 100 га), Озеро-Руткинская (3 230 га), низина у г. Ядрин [6].

Основные работы по инженерной защите выполняли Управление строительством «Чебоксаргэсстрой» и субподрядные организации. Для контроля и организации подготовки зоны затопления при администрации организовывались специальные отделы [4; 5].

Чебоксарская ГЭС начала свою работу 31 декабря 1980 г. В этот день был произведен пуск первого гидроагрегата. Отметка

водохранилища тогда составляла 61,0 м. В апреле 1981 г. уровень был повышен до промежуточной отметки 63 м, вместо проектной 68 м. Более 40 лет водохранилище эксплуатируется на пониженной отметке. Специалисты называют несколько причин невыхода станции на проектную отметку. Одна из основных – это неполная готовность зоны затопления [13]. В связи с этим возникают такие проблемы, как ухудшение экологического состояния водохранилища, отсутствие регулирующей емкости в период половодья, разрушение инженерной защиты населенных пунктов и др.

Руководство ПАО «РусГидро» предлагало решить проблемы поднятием уровня водохранилища до проектной отметки. Так, «... в 2008 г. Президент Российской Федерации Медведев Д. А. подписал поручение Правительству в части, касающейся поднятия уровня Чебоксарского водохранилища до отметки нормального подпорного уровня 68 метров» [15]. Для исполнения поручения с 2011 по 2013 г. ОАО «Инженерный центр энергетики Поволжья» г. Самара совместно с Минприроды реализовали Программу комплексного обследования зоны Чебоксарского водохранилища. Анализ источников показал, что в 2013 г. завершена работа над проектной документацией «Строительство Чебоксарской ГЭС на реке Волге» в части, касающейся поднятия уровня Чебоксарского водохранилища до отметки 68 м. В рамках работы реализована Программа комплексного обследования зоны Чебоксарского водохранилища, выполнена аэрофотосъемка M1:10 000, 1:20 000, проведены натурные обследования сельхозназин и другие мероприятия [16].

По материалам оценки воздействия на окружающую среду Чебоксарского водохранилища в 2013 г. проведены общественные обсуждения.

В таблице 1 представлены основные показатели водохранилища при отметке подпорного уровня (ПУ) 63 и 68 м [17]. Наиболее интересные цифры здесь – полезная регулируемая емкость 5,4 куб. км. Увеличение средней глубины до 5,9 м даст возможность проходить судам класса «река–море». Уменьшение площади мелководий до 20,7% улучшит качество воды.

Таблица 1

Основные параметры Чебоксарского водохранилища
с ПУ 63,0 м и ПУ 68 [16]

Основные параметры	ПУ 63,0 м	ПУ 68,0 м
Площадь зеркала, кв. км	1337	2228
Полная емкость, куб. км	4,60	12,65
Полезная (регулирующая емкость), куб. км	—	5,40
Длина водохранилища по р. Волга от Чебоксарской ГЭС, км	226	335
То же по р. Ока от устья, км	—	104
То же по р. Сура, км	123	176
То же по р. Ветлуга от устья, км	83	142
Средняя глубина, м	4,3	5,9
Площади с глубинами менее 2,0 м, % (кв. км)	421	461
Площади с глубинами менее 2,0 м относительно площади зеркала, %	31,5	20,7
Протяженность судового хода с глубиной более 4 м, км	274	335

Надо отметить, что и Министерство природных ресурсов Российской Федерации под руководством Ю. Трутнева поддержало проект. Главным аргументом было то, что из-за мелководий страдает качество воды. Проводимые ранее исследования показали, что содержание некоторых элементов, таких как никель, кадмий, медь, превышает ПДК в несколько раз. Снижение процента мелководий позволит решить данную проблему. Необходимо рассчитать все затраты и проверить экономическую эффективность инвестиций. Кроме того, стоит вопрос о безопасности населения и территорий, которые подтопляются недостроенной ГЭС [11].

Однако общественность Нижегородской области и Республики Марий Эл не устраивает повышение уровня водохранилища. Дополнительное подтопление территорий приведет к другим экологическим последствиям. Например, пострадают уникальные природные и архитектурные объекты, такие как Марийская священная роща Арпынгель, пойменный лес с колонией серых цапель, Макарьевский монастырь, замок Шереметьева и др. [7]. Большие проблемы подъем уровня воды создаст для Нижнего Новгорода и Дзержинска. Так, в работе С. В. Корощенко приводится оценка экономической эффективности гидроэнергетических проектов

России на примере Чебоксарской ГЭС. Автор пишет о необходимых финансовых вложениях при подъеме водохранилища на проектную отметку 68 м. «Величина затрат в ценах IV квартала 2006 г. составила около 86 млрд. руб. Но в этой сумме не была учтена основная издержка – это стоимость земли. Затоплению подлежит около 3076 тыс. га. В соответствии с Правилами проведения государственной оценки земель, утвержденных Постановлением правительства РФ от 8 апреля 2000 г. № 316, кадастровая стоимость затопляемых земель в ценах на I квартал 2012 г. составила более 107 млрд. руб.» [9]. Как видим, стоимость затопляемых земель больше, чем стоимость затрат на подготовку зоны водохранилища до нормального подпорного уровня (НПУ) 68 м. Если соотнести суммарные вложения и получение прибыли от увеличения НПУ, то выявляется крайне низкая эффективность строительства Чебоксарской ГЭС: ниже средних показателей по отрасли, более чем в 7 раз по мощности и более чем в 9,5 раз по выработке электроэнергии. Поэтому подъем уровня Чебоксарского водохранилища становится экономически нецелесообразным.

Об огромном ущербе, вызванном подтоплением урбанизированных территорий, прежде всего, территории Нижнего Новгорода и Дзержинска, заявлял в 2010 г. и.о. директора департамента лесного хозяйства Нижегородской области Юрий Гагарин: «Здесь в зоне опасного подтопления окажутся и селитебные территории, и крупнейшие промышленные предприятия, в том числе федерального значения, ОАО «ГАЗ», «Красное Сормово», «Сокол», ФКП «Завод им. Я. М. Свердлова», все дзержинские химпредприятия, международный аэропорт «Стригино», скоростная железнодорожная магистраль федерального значения, автомагистраль М-7 «Волга», нижегородский метрополитен. Фактически из-за подтопления основная часть промышленного потенциала Нижегородской области окажется под угрозой разрушения» [10]. Больше всего в Нижнем Новгороде при подъеме до 68 м пострадает от подтопления заречная часть города. Как известно, от подтопления разрушаются фундаменты и подвалы домов, инженерные системы. По данным Верхне-Волжского бассейнового водного управления зимами, отличающимися от тепелями, уровни в Волге у Нижнего Новгорода стоят выше отметки 68,00 м. Увеличения подтопления

заречной части города никто не замечает. В последние годы такое подтопление происходит каждую зиму [14, с. 121].

Таким образом, несмотря на многие положительные заключения, Проект был отклонен экологической экспертизой и общественностью.

Однако необходимо отметить, что для принятия решения о сохранении отметки 63 м в качестве постоянного уровня, в настоящее время отсутствует достоверная информация о полной стоимости затрат по обеспечению надежной и безопасной эксплуатации Чебоксарской ГЭС и водохранилища.

Для определения полной стоимости этих затрат Правительством Российской Федерации дано поручение в адрес Минэкономразвития и ПАО «РусГидро» (1 апреля 2016 г. № ЮТ-П9-1820) провести работы по технико-экономической оценке затрат для эксплуатации объекта при отметке 63 м. В настоящее время Аналитическим центром при Правительстве Российской Федерации ведутся мероприятия по разработке технико-экономической оценки варианта завершения строительства Чебоксарской ГЭС, в частности реконструкции инженерной защиты [16]. Кроме того, реализуются проекты по улучшению экологического состояния водохранилища, по сокращению сброса неочищенных загрязненных вод в водохранилище. Например, АО «Водоканал» г. Чебоксары в 2016 г. по программе «Реформа ЖКХ России» реализовал уникальный проект «Комплекс по переработке осадка промывных вод». Ввод в эксплуатацию комплекса по обработке осадка позволил решить экологические проблемы, а именно снизить загрязнение водоисточника, повысить качество исходной воды в районе водозабора. В настоящее время выполняются мероприятия проекта «Развитие систем водоснабжения и водоотведения в городах Российской Федерации», в котором участвуют муниципальные организации городов и поселков, находящихся в акватории р. Волги. Кроме того, в рамках Федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы» была осуществлена реконструкция инженерной защиты Озеро-Руткинской низины в Республике Марий-Эл.

Заключение

Чебоксарская ГЭС начала выдавать электрическую энергию в 1981 г. на пониженной отметке 61 м. Весной того же года во вре-

мя паводка отметку подняли до 63 м. На этом уровне водохранилища ГЭС работает уже 43 года. Пониженный уровень воды отрицательно сказывается на работе гидроагрегатов. Механизмы изнашиваются быстрее. Станция работает только на 60% своей мощности. Она не выдает запланированную и экологически чистую энергию. Руководство ПАО «РусГидро» неоднократно пытались решить эту проблему на всех уровнях власти. Однако местные органы власти Нижегородской области и Марийской АССР, учитывая общественное мнение и результат экологических экспертиз, не позволяют ГЭС выйти на проектную отметку. В результате происходит разрушение объектов инженерной защиты, подтапливаются территории и населенные пункты, прогрессируют эрозивные процессы, ухудшается качество воды. Для решения проблем нужны грамотные обоснованные проекты и материальные ресурсы для восстановления инженерной защиты. Для улучшения экологического состояния водохранилища и снижения его негативного влияния на окружающую среду существуют различные федеральные программы, а участие муниципальных организаций в программах дает положительный эффект.

Список литературы

1. Алексеев, И. А. Социально-экологические проблемы Чебоксарского водохранилища / И. А. Алексеев, А. В. Захаров // Известия РАН. Серия географическая. – 2012. – № 5. – С. 90–101.
2. Бурдин, Е. А. Гидростроительство в России: от Самарского Волгостроя к Большой Волге (1930–1980 гг.) / Е. А. Бурдин. – Ульяновск: УлГПУ, 2010. – 222 с.
3. Государственный архив современной истории Чувашской Республики. Ф. 3211. Оп. 1. Д. 8. Л. 15–16.
4. Государственный исторический архив Чувашской Республики. Ф. 2659. Оп. 1. Д. 1. Л. 19.
5. Государственный архив Республики Марий Эл. Ф. Р-192. Оп. 1. Д. 1.
6. Егоров, С. П. Чебоксарская гидростанция: отдельные страницы из истории строительства 1968–1981 / С. П. Егоров. – Новочебоксарск, 2020. – 81 с.
7. Каюмов, А. А. Нижегородская область (Чебоксарское водохранилище) / А. А. Каюмов. – Москва: Лесная страна, 2011. – 32 с.
8. Князев, Ю. А. Зарево над Волгой. Хроника 125 дней Всесоюзной ударной стройки – Чебоксарской ГЭС / Ю. А. Князев. – Чебоксары: Чувашкнигоиздат, 1981. – 112 с.
9. Корощенко, С. В. Оценка эколого-экономической эффективности проектов в гидроэнергетической отрасли России: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / С. В. Корощенко. – Москва, 2012. – 215 с.

10. Нижегородское правительство: увеличение выработки энергии на Чебоксарской ГЭС с помощью уровня воды опасно и неэффективно // ИА Регнум. – URL: <https://regnum.ru/news/1347060> (дата обращения: 12.04.2024).
11. Резюкова, О. Б. Вопрос рублем / О. Б. Резюкова // Российская газета. – 2006. – № 293 (28 дек.).
12. Риманов, И. Ф. Чебоксарская ГЭС / И. Ф. Риманов, А. Г. Юдковский. – Чебоксары: Чувашкнигоиздат, 1979. – 112 с.
13. Русинова, Н. Г. Проблемы подготовки зоны затопления Чебоксарского гидроузла / Н. Г. Русинова // Восточно-Европейский научный вестник. – 2022. – Том 18. № 1. – С. 42–44.
14. Соболь, С. В. Водохранилища в окружающей среде: в 2 кн. Кн. 2 / С. В. Соболь; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2022. – 406 с.
15. Советская Чувашия. – 2009. – № 104 (2 июня).
16. Отчеты по реализации // ИЦЭ Поволжья. – URL: <http://projct68.ntc-volga.ru> (дата обращения: 10.04.2024).
17. Проект завершения строительства Чебоксарского гидроузла // РусГидро. Чебоксарская ГЭС. – URL: <https://cheges.rushydro.ru/press/multimedia/otmetka-68> (дата обращения: 18.09.2024).

Русинова Надежда Германовна – старший преподаватель кафедры теплотехники и гидравлики, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия.
rusinovang@mail.ru

Щенникова Татьяна Владимировна – старший преподаватель кафедры теплотехники и гидравлики, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, Чебоксары, Россия.
shchenn@mail.ru

Федоров Николай Анфимович – старший преподаватель кафедры теплотехники и гидравлики, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, Чебоксары, Россия.
niknadin@yandex.ru

Nadezhda G. Rusinova – senior lecturer, Department of Heat Engineering and Hydraulics, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. rusinovang@mail.ru

Tatiana V. Schennikova – senior lecturer, Department of Heat Engineering and Hydraulics, Chuvash State University, Cheboksary Russia. shchenn@mail.ru

Nikolay A. Fedorov – senior lecturer, Department of Heat Engineering and Hydraulics, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. niknadin@yandex.ru

УДК 69.04

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НЕСОВЕРШЕНСТВ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ КИРПИЧНОЙ СТЕНЫ

Л.А. Сакмарова

Е.Г. Гоник

М.А. Бахмисова

Д.А. Мусорин

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

Аннотация: в процессе строительства и эксплуатации стен могут возникать различные дефекты, такие как неполное заполнение швов, неправильный выбор строительных материалов, а также ошибки в технологии возведения. Эти факторы могут существенно снизить прочностные характеристики стен и повлиять на их долговечность. В статье рассматриваются основные типы технологических дефектов, их воздействие на структурную целостность стен, а также предлагаются методы для их минимизации и диагностики в процессе строительства. Приводятся примеры из практики, результаты расчетов и испытаний, а также рекомендации для улучшения качества строительных работ.

Ключевые слова: технологические дефекты, кирпичная стена, несущая способность, прочностные характеристики, строительные материалы, долговечность, диагностика дефектов, технология строительства, строительные ошибки, улучшение качества.

THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL IMPERFECTIONS ON THE BEARING CAPACITY OF A BRICK WALL

Abstract: various defects may occur during the construction and operation of walls, such as incomplete filling of seams, incorrect choice of building materials, as well as errors in construction technology. These factors can significantly reduce the strength characteristics of walls and affect their durability. The article discusses the main types of technological defects, their impact on the structural integrity

of walls, and suggests methods for minimizing and diagnosing them during construction. Practical examples, calculation and test results, as well as recommendations for improving the quality of construction work are provided.

Keywords: technological defects, brick wall, bearing capacity, strength characteristics, building materials, durability, defect diagnosis, construction technology, construction errors, quality improvement.

Введение

Введение более строгих стандартов теплоизоляции ограждающих конструкций зданий в 1990-х годах привело к значительным изменениям в проектировании наружных стен. Монолитные каркасные конструкции возводились с многослойными наружными стенами, не несущими конструктивную нагрузку, поэтажно.

Использование наружных несущих кирпичных стен, особенно многослойных, наряду с ненесущими наружными стенами, украшенными лицевым кирпичом, является распространенным архитектурным приемом, придающим эстетическую привлекательность историческим зданиям и памятникам архитектуры как в городской, так и в сельской местности. Нельзя игнорировать этот факт.

При проектировании ограждающих конструкций специалисты должны оценивать несущую способность и устойчивость наружных стен. Они также должны оценивать и анализировать техническое состояние существующих ограждающих конструкций. Большинство научных статей, посвященных проектированию, расчету и оценке несущих наружных стен зданий, посвящены следующим ключевым аспектам: выбору конструктивных решений стен; применению и использованию инновационных строительных технологий и материалов; техническим характеристикам этих материалов; оценке энергоэффективности данных решений. Наше исследование отечественной и зарубежной технологической и научной литературы подтверждает это утверждение.

Материал и методы исследований

Температурные деформации и напряжения в кладке могут привести к снижению ее прочности и трещиностойкости. Это может привести к образованию трещин в кладке, потере ее несущей способности и другим нежелательным последствиям [2].

Анализ основных методов изучения температурных воздействий на кирпичную кладку показал, что в настоящее время прово-

дится недостаточное количество натурных испытаний на реальных эксплуатируемых объектах со стенами с жесткими связями. Проводимые натурные исследования наружных стен в основном ограничиваются использованием тепловизионной съемки. Целью тепловизионной съемки является определение температуры в критических, дефектных местах, где возможны теплопотери, построение температурных полей поверхности и на основании показателей, разработка ремонтных мероприятий и рекомендаций.

Результаты и проблематика

Рассмотрим, комплексное исследование, классификацию и оценку нескольких вариантов многослойных наружных стен. В работах рассматриваются инновационные варианты строительства наружных стен с большим количеством слоев. На основе этих документов разработаны строительные нормы и правила, которые содержат всесторонний анализ многослойных стенных конструкций, оценивают их преимущества и недостатки, а также устанавливают критерии теплосопротивления, структурной целостности, долговечности и огнестойкости. Это особенно важно для несущих многослойных кирпичных стен и ненесущих наружных стен с облицовочным кирпичным слоем, поскольку многочисленные недавние исследования были сосредоточены на оценке влияния различных факторов окружающей среды на их долговечность. Обследования показывают, что техническое состояние кирпичных стен, поврежденных внешними дефектами поверхности, может быть крайне неудовлетворительным. Отделочный слой лицевого кирпича толщиной 120 мм оказался одним из нескольких слоёв многослойной стены, получивших повреждения в результате воздействия влаги и последующего теплового воздействия (рисунок 1).



Рис. 1. Дефекты наружного слоя кирпичной кладки

Согласно СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции» [3], класс морозостойкости стеновой конструкции определяется предполагаемым сроком службы и конструктивным исполнением. Наружные трёхслойные стены, включающие хорошо утеплённое ядро и лицевой слой кладки толщиной 120 мм, должны иметь класс морозостойкости F25 при сроке службы 50 лет и F50 при сроке службы 100 лет. Кладочный материал сплошной кирпичной стены обладает большей стойкостью к зимним циклам замораживания-оттаивания, чем лицевой слой многослойной стены толщиной 120 мм. Это обусловлено наличием утеплителя за наружным слоем многослойной стены. Кирпичная кладка разрушается при намокании из-за охлаждения. Правила [3] рекомендуют использовать кладочные растворы с классом прочности на сжатие M75-M100 и запрещают использование углублённых растворных швов в пустотелой кирпичной кладке. Для пустотелой кирпичной кладки допускается лицевой слой толщиной до 120 мм при толщине наружной стены не менее 20 мм.

Основная роль лицевого слоя в многослойной стене – защита последующего слоя теплоизоляции от влаги, снижающей её теплотехнические характеристики. В настоящее время для устройства фасадного слоя, применяется клинкерный кирпич, производимый по ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия». Этот кирпич обладает высокой прочностью и минимальным водопоглощением. На наружной поверхности стен наблюдаются выветривание, неравномерная укладка кирпича и углублённые растворные швы (рис. 1). Целью ряда исследований является повышение эффективности и экономичности многослойных наружных стен за счёт применения современных строительных технологий и материалов. Методы повышения энергоэффективности многослойных наружных стен подробно описаны в источниках.

Исследования включают в себя изучение напряжённо-деформированного состояния и прочности каменной кладки, методик и результатов оценки технического состояния ограждающих конструкций, а также рекомендации по усилению каменных зданий. Каменные стены, в том числе многослойные, должны соответствовать нормам СП 15.13330 [3] для оценки их несущей способности. Для расчета прочности многослойных наружных кирпичных

стен требуется сжатый расчетный раздел. В этом разделе прочностные характеристики кладки на разных уровнях корректируются в соответствии с прочностью кирпичной кладки несущего слоя с учетом вклада других слоев в несущую способность стены.

При расчете многослойных кирпичных стен необходимо определить геометрические параметры как всего расчетного сечения, так и его сжатой зоны. Для выполнения этого вывода все компоненты сжатой зоны в сжатом расчетном сечении должны обладать равными статическими моментами относительно оси вертикальной силы N в расчетном поперечном сечении многослойной кирпичной стены. Расчет прочности современных многослойных несущих стен требует использования как тавровых, так и двутавровых сечений. В данном исследовании рекомендуется использовать программное обеспечение для оценки внецентренного сжатия кирпичной стены двутаврового сечения. Кроме того, автор рекомендует включить в этот раздел исследование распределения напряжений и соответствующий анализ. На рисунке 2 показан внешний вид современной школы (а) и архитектурный проект многослойных наружных несущих каменных стен школы (б).

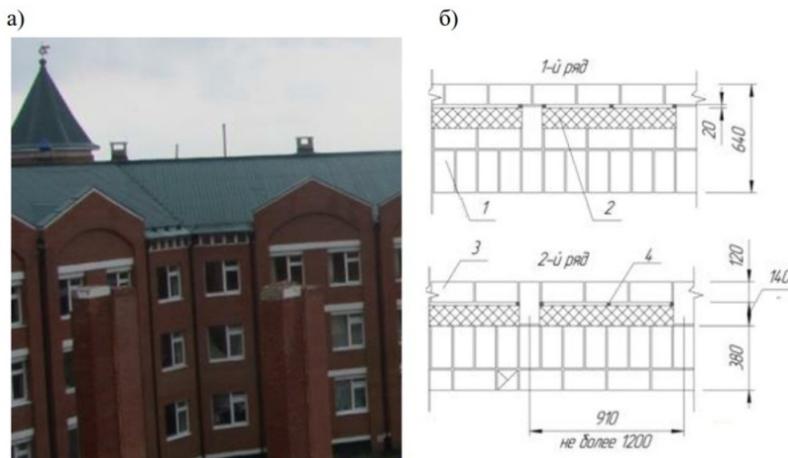


Рис. 2. Вид фасада школы а) конструктивное решение наружных несущих кирпичных стен здания; б) 1 – несущая часть стены, 2 – плитный утеплитель, 3 – облицовочный слой, 4 – фиксаторы плит утеплителя в проектном положении

Для многослойной кирпичной стены школьного здания применена колодезная кладка. В образованные при выполнении колодезной кладки полости укладывается плитный утеплитель. Внутренний несущий слой многослойной стены выполнен из керамического пустотелого кирпича пластического прессования (условное обозначение КР-р-пу250x120x65/1НФ/125/25/ ГОСТ530-2012).

Наружный облицовочный слой и диафрагма колодезной кладки стены выполнены из лицевого пустотелого керамического кирпича пластического прессования (условное обозначение КР-кл-пу250x120x65/1НФ/100/25/ГОСТ530-2012). Кирпичная кладка из пустотелого кирпича выполнена на строительном растворе М100 с подвижностью ПК2 по ГОСТ 28013-98.

Оценка несущей способности многослойных несущих стен выполняется в соответствии с рекомендациями СП 15.13330.2020 [3] и связана с формированием расчетного сечения и определением геометрических характеристик, как всего расчетного сечения, так и его сжатой части.

На рисунке 3 представлены двутавровое геометрическое и расчетное приведенное поперечное сечение рассматриваемого участка наружной стены шириной $b=910$ мм, конструктивное решение которой приведено на рисунке 2.

Возможное изменение размеров рассматриваемого участка стены при формировании расчетного приведенного сечения из геометрического определяется необходимостью учета различных прочностных характеристик R , а также коэффициентов использования m облицовочного, несущего слоев и диафрагмы кирпичной кладки.

Приведенная ширина b_{red} облицовочного слоя и диафрагмы расчетного сечения определяется в соответствии с [4] при фактической ширине, соответственно $b=910$ мм и $b=120$ мм, по формуле:

$$\begin{cases} b_{red} = b \frac{m_i R_i}{m R} = 910 \times \frac{1 \times 1 \times 8}{0,9 \times 2} = 910 \text{мм} \\ b_{red} = b \frac{m_i R_i}{m R} = 120 \times \frac{1 \times 1 \times 8}{0,9 \times 2} = 120 \text{мм} \end{cases} \quad (1)$$

Результаты вычисления показывают, что для рассматриваемого сечения размеры геометрического и расчетного сечения совпадают.

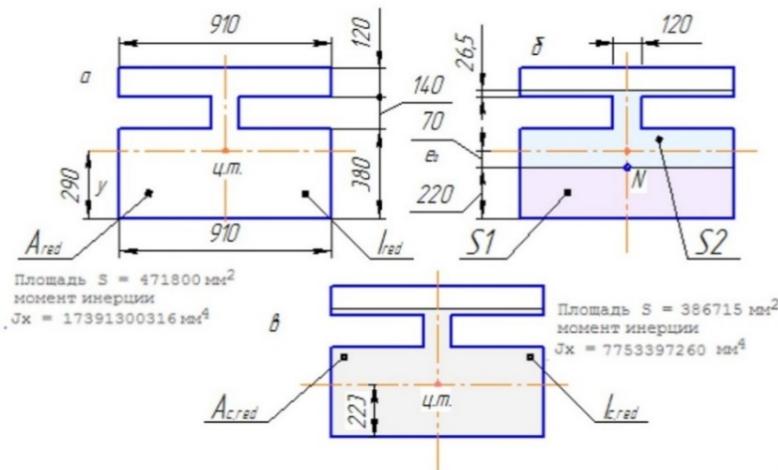


Рис. 3. Геометрические размеры расчетного приведенного сечения и положение центра тяжести (а) расположение оси приложения вертикального усилия N с геометрическими размерами двух составных частей сжатой площади приведенного сечения (б) общая площадь сжатой части расчетного сечения (в)

Приведенная площадь расчетного сечения A_{red} вычисляется через составные части сечения – площадь наружного слоя $A_{\text{red},\text{nc}}$, площадь внутреннего слоя $A_{\text{red},\text{hc}}$, площадь диафрагмы $A_{\text{red},\text{d}}$ – по формуле:

$$A_g = 0,346 + 0,109 + 0,017 = 0,472 \quad (2)$$

В поперечном сечении рассматриваемого участка стены действуют продольное усилие $N=300$ кН и изгибающий момент $M=21$ кНм. Эксцентриситет приложения усилий $e_0=M/N=21/300=0,07$ м.

Для выполнения расчета несущей способности поперечного сечения участка кирпичной стены необходимо определить геометрические характеристики всего приведенного сечения стены A_{red} и I_{red} , а также его сжатой части $A_{c,\text{red}}$ и $I_{c,\text{red}}$.

Расчет внецентренно сжатой многослойной кирпичной стены, приведенным расчетном сечением которой является двутавровое сечение, сопряжен с довольно трудоемкими вычислениями геометрических характеристик как всего расчетного сечения, так и его сжатой части.

Для определения положения центра тяжести и геометрических характеристик сечений предлагается использовать графический редактор КОМПАС и программу Конструктор сечения ПК ЛИРА-САПР, которая также позволяет получить картины распределения и величины вертикальных напряжений по расчетному сечению кирпичной кладки с двутавровым поперечным сечением.

Заключение

Многослойные стены с жесткими связями – это ограждающие конструкции, состоящие из двух или более слоев, соединенных между собой жесткими связями. Лицевой слой, как правило, выполняется из кирпича, а внутренний слой – из теплоизоляционного материала, либо кирпича, совмещающего в себе показатели по энергоэффективности и теплофизике, близкими к теплоизоляционному материалу.

Сезонные изменения температуры могут оказывать значительное влияние на деформации объектов, это линейные деформации, т. е. изменение размеров объекта в одном направлении (удлинение или укорочение), угловые деформации: изменение формы объекта (изгиб, кручение) и объемные деформации (изменение объема объекта).

При проектировании стены необходимо учитывать возможные перепады температур и влажность и не допускать опускания температуры внутри конструкционного слоя стены для того, чтобы не достигалась точка росы.

Натурные исследования являются важной частью процесса проектирования и строительства многоэтажных каменных зданий с наружными многослойными стенами на жестких связях. Они позволяют получить информацию о реальном поведении здания под воздействием различных нагрузок и факторов окружающей среды, которую невозможно получить с помощью теоретических расчетов или численных моделей. Методы проведения натурных исследований зависят от вида исследований и конкретных задач, которые необходимо решить.

Список литературы

1. Гликин, С. М. Современные ограждающие конструкции и энергоэффективность зданий / С. М. Гликин. – Москва: ГУП ЦПП, 2003. – 157 с.
2. Сакмарова, Л. А. Научное исследование и устойчивость многослойных наружных стен с жесткими связями / Л. А. Сакмарова, Е. Г. Гоник, М. А. Бахмисова // Инновационные технологии в инженерных системах: сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции (Чебоксары, 23–24 апреля 2024 года). – Чебоксары: Среда, 2024. – С. 189–196.

3. СП 15.13330.2020. Каменные и армокаменные конструкции. – Взамен СНиП II-22-81.

4. Распределение температурных полей в ограждающих конструкциях из объемной кладки / А. Г. Николаева, Н. В. Иванова, М. А. Бахмисова [и др.] // Инновационные технологии в инженерных системах: сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции (Чебоксары, 23–24 апреля 2024 года). – Чебоксары: Среда, 2024. – С. 182–188.

5. Сакмарова, Л. А. Устойчивость многослойной ограждающей конструкции при силовых и температурных воздействиях / Л. А. Сакмарова, Е. Г. Гоник, М. А. Бахмисова // Современные вопросы механики сплошных сред – 2023: сборник статей по материалам IV Международной конференции (Чебоксары, 12 декабря 2023 года). – Чебоксары: Среда, 2023. – С. 64–71.

6. Малахова, А. Н. Дефекты наружных кирпичных стен зданий, достраиваемых после длительного перерыва / А. Н. Малахова, А. С. Балакшин // Вестник МГСУ. – 2011. – № 8. – С. 140–145.

7. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81). – Москва: ВДПП Госстроя СССР, 1989. – 154 с.

8. Умникова, Н. П. Долговечность трехслойных стен с облицовкой из кирпича с высоким уровнем тепловой защиты / Н. П. Умникова // Вестник МГСУ. – 2013. – № 1. – С. 91–100.

Сакмарова Лариса Алексеевна – заведующий кафедрой «Архитектуры и дизайна среды», кандидат педагогических наук, доцент, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. lara.sakmarova@mail.ru

Гоник Екатерина Григорьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительных конструкций», Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. katya.gonik@mail.ru

Бахмисова Мария Алексеевна – старший преподаватель кафедры «Архитектуры и дизайна среды», кандидат педагогических наук, доцент, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. masha_a94@mail.ru

Мусорин Даниил Анатольевич – студент аспирант 1 курса кафедры «Строительных конструкций», Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия.

Larisa A. Sakmarova – head of the Department of “Architecture and Environmental Design”, PhD, associate professor, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. lara.sakmarova@mail.ru

Ekaterina G. Gonik – PhD, associate professor of the Department of “Building Structures”, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. katya.gonik@mail.ru

Maria A. Bakhmisova – senior lecturer of the Department of Architecture and Environmental Design, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. masha_a94@mail.ru

Daniil A. Musorin – first-year postgraduate student of the Department of Building Structures, Chuvash State University, Cheboksary, Russia.

УДК 624.154.5

УСТРОЙСТВО ГРУНТОВЫХ АНКЕРОВ В КАЧЕСТВЕ ЗАГЛУБЛЕННЫХ УДЕРЖИВАЮЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

P.A. Сметанкин

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

Аннотация: статья посвящена актуальной проблеме обеспечения устойчивости ограждающих конструкций глубоких котлованов в сложных инженерно-геологических условиях плотной городской застройки. На примере проекта устройства заглубленной части многоярусной автостоянки представлены результаты внедрения технологии устройства грунтовых анкеров. Особое внимание уделено применению электроразрядной скважинной тампонажной (ЭРСТ) технологии для формирования анкерного корня, которая позволяет за счет контролируемых электрических разрядов уплотнить окружающий грунт и увеличить диаметр корневой зоны, что существенно повышает несущую способность анкера. Предложенные конструктивные и технологические решения позволяют эффективно минимизировать риски, связанные с наличием слабых водонасыщенных грунтов и нестабильным гидрогеологическим режимом, обеспечивая надежность и безопасность производства работ.

Ключевые слова: грунтовый анкер, котлован, ЭРСТ-технология, ограждающие конструкции, городская застройка, подпорная стенка, цементация.

INSTALLATION OF GROUND ANCHORS AS RECESSED RETAINING BUILDING STRUCTURES

Abstract: the article is devoted to the urgent problem of ensuring the stability of enclosing structures of deep pits in difficult engineering and geological conditions of dense urban development. Using the example of a project for the construction of a buried part of a multi-level parking lot, the results of the introduction of technology for the installation of ground anchors are presented. Special attention is paid to the use of electric discharge borehole grouting (ERST) technology for the formation of an anchor root, which allows, due to controlled electric discharges, to compact the surrounding soil and increase the diameter of the root zone, which significantly increases the bearing capacity of the anchor. The proposed design and technological solutions make it possible to effectively minimize the risks associated with the presence of weak water-saturated soils and unstable hydrogeological regime, ensuring the reliability and safety of work.

Key words: ground anchor, excavation, ERST technology, enclosing structures, urban development, retaining wall, cementation.

Введение

Освоение подземных площадей в условиях плотной городской застройки является одним из важнейших и динамично развивающихся направлений в сфере промышленного и гражданского строительства. На сегодняшний день подземное пространство используется не только для размещения инженерных коммуникаций и объектов транспортной инфраструктуры, но и для строительства многоэтажных подземных автостоянок; заглубленных частей жилых или офисных зданий, общественно-бытовых комплексов, торговых предприятий, для строительства которых требуется устройство глубоких котлованов с ограждающими конструкциями [1–9]. Одним из методов крепления ограждающих конструкций глубоких котлованов являются грунтовые анкера. Разработанная технология устройства грунтовых анкеров для объектов капитального строительства была внедрена в практику при возведении заглубленной части многоярусной автостоянки закрытого

типа со встроенной трансформаторной подстанцией. Ее применение было обусловлено сложными инженерно-геологическими условиями площадки и стесненностью городского пространства, требующими обеспечения максимальной надежности ограждающих конструкций котлована

Материал и методы исследований

Исследования проводились на примере разработки проекта устройства ограждения котлована для многоярусной автостоянки закрытого типа со встроенными электротехническими помещениями. Геотехнические условия площадки характеризуются наличием слабых водонасыщенных грунтов с высоким уровнем подземных вод, что обусловило необходимость применения надежной и эффективной удерживающей конструкции глубокого котлована.

Результаты и проблематика

В результате анализа установлено, что геотехнические условия площадки характеризуются высокой сложностью (III категория), что является ключевым фактором, определившим выбор конструктивных решений устройства ограждения котлована.

Геологический разрез представлен чередованием 8 инженерно-геологических элементов (ИГЭ), включая просадочные суглинки и супеси, а также водонасыщенный пылеватый песок (ИГЭ-8) в основании (см. рис. 1).

Гидрогеологический режим отличается нестабильностью. Помимо локального горизонта грунтовых вод на глубине 18,7–20,8 м, выявлена высокая вероятность сезонного формирования «верховодки» в верхней части разреза. Наличие мягкотекучих суглинков (ИГЭ-3) и техногенных факторов (утечки из коммуникаций) создает риск подтопления котлована и снижения несущей способности грунтов в периоды снеготаяния и ливней.

Разработанные конструктивные и технологические решения представляют собой подпорную стенку из стальных труб диаметром 426 мм, закрепленную грунтовыми анкерами типа АГ-16/8 с расчетной нагрузкой до 16 тс, расположенными в 2 яруса под углом 30° (см. рис. 2). В качестве анкерной тяги используется стержневая арматура диаметром 36мм класса А500С (в пластмассовой оболочке диаметром не менее 63мм) и винтовая арматура диаметром 25 мм класса Ат800. Расчеты по прочности подпорных

стен производились в программных комплексах GeoWall и Wall3 по методу Блюма-Ломейера.

В качестве ключевого решения применена ЭРСТ-технология (электроразрядная скважинная тампонажная) устройства анкерного корня. Данная технология позволяет за счет серий контролируемых электрических разрядов (мощностью не менее 50 кДж) уплотнить окружающий грунт и увеличить диаметр корневой зоны со 150 мм до проектных 200 мм, что существенно повышает несущую способность анкера в слабых грунтах.

НН ИГЭ	Наименование ИГЭ	Характеристика физико-механических свойств грунтов									
		Нормативные				Расчетные характеристики					
		ρ г/см ³	C кН/а	φ град	E МПа	при $\alpha=0,85$		при $\alpha=0,95$		ρ' г/см ³	C' кН/а
1	Насыпной грунт	$R_0=64$ кПа									
2	Суглинок слабопросадочный полутвердый с прослойками тугопластичного и твердого	1,84	22 15	23 15	11,9 10,2	1,83	21 14	22 14	1,83	20 14	21 14
3	Суглинок непросадочный мягкопластичный	1,90	15	16	4,7	1,88	15	15	1,87	14	15
4	Супесь слабопросадочная твердая, с прослойками пластичной	1,84	19 12	26 19	17 14	1,82	19 11	26 18	1,81	18 11	25 18
5	Супесь непросадочная твердая, с прослойками пластичной	1,89	21 14	28 21	14,7 12,8	1,87	20 13	26 19	1,86	19 11	25 18
6	Суглинок полутвердый с прослойками тугопластичного и твердого	1,95	24	23	13,3	1,94	22	22	1,93	21	22
7	Глина твердая с прослойками полутвердой	1,90	76	27	22,4	1,88	71	26	1,87	68	25
8	Песок пылеватый, полимиктовый, средней степени водонасыщения, водонасыщенный	1,87	13	33	25,9	1,86	12	33	1,85	11	32

Рис. 1. Характеристика физико-механических свойств грунтов

Технологический цикл изготовления анкера начинается с формирования скважины шнековым бурением. Немедленно после бурения производится цементация скважины через бетонолитную трубу, опущенную до забоя, с промывкой раствором до прекращения всплытия частиц грунта. Раствор приготавливается непосредственно перед нагнетанием с использованием пневморастрового нагнетателя под давлением 0,5–5,0 МПа, при этом его объем должен превышать объем выбуренного грунта. Ключевой этап – электроразрядная обработка корневой зоны сериями не менее 13 разрядов на метровых уровнях, которая продолжается до до-

стижения «отказа», что обеспечивает увеличение расчетного диаметра корня со 150 до 200 мм. После этого в скважину плавно опускается очищенный анкерный каркас и фиксируется в проектном положении.

Перед натяжением должна быть достигнута прочность цементного камня не менее 20 МПа, контролируемая испытанием образцов-кубиков. Испытания включают контрольные (на каждом десятом анкере) и приемочные (на всех остальных рабочих анкерах). Процедура предусматривает ступенчатое нагружение с выдержкой каждой ступени до условной стабилизации деформаций (скорость перемещения $\leq 0,1\text{мм}/15\text{мин}$). Испытательная нагрузка составляет $P_i = 1,2*P_w$. По результатам испытаний уточняются блокировочная нагрузка и несущая способность анкеров, которая для приемочных элементов принимается по минимальному значению двух ближайших контрольных.

Важным требованием является запрет на последующие земляные работы до подтверждения достижения проектной прочности возведенных конструкций. Также критически важно исключить любые динамические и вибрационные воздействия на анкерное крепление в период его временной эксплуатации.

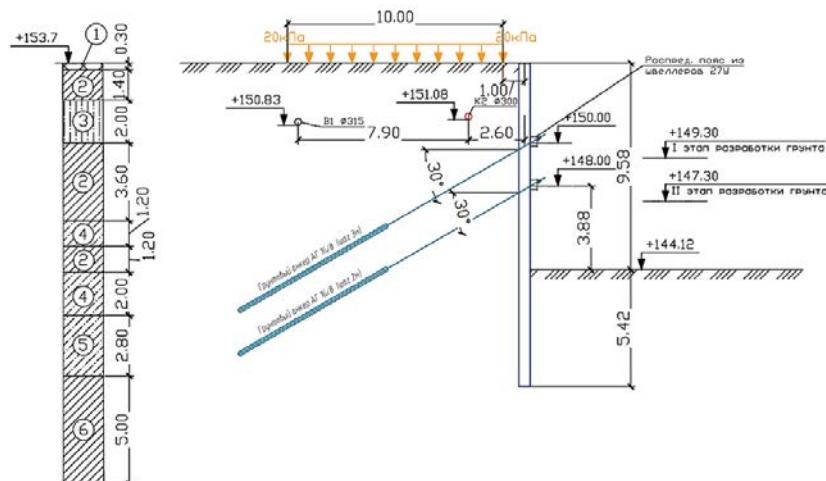


Рис. 2. Вертикальная привязка заглубленных строительных конструкций ограждения котлована

Заключение

Результатом работы стала комплексная проектная проработка, адекватно отвечающая на вызовы сложных инженерно-геологических условий. Ключевым достижением является интеграция современной ЭРСТ-технологии в традиционную схему анкерного крепления, подкрепленная многоступенчатой системой контроля. Данный подход позволяет минимизировать риски и обеспечить надежность и безопасность возведения заглубленной части объекта.

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. – Санкт-Петербург: Геореконструкция, 2010. – 551 с.
3. Deformations of the Retaining Structures Upon Deep Excavations in Moscow / V. A. Ilichev, P. A. Konovalov, N. S. Nikiforova [et al.] // Proceedings of Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering (New York, April 13–17, 2004). – 2004. – Р. 5–24.
4. Ilichev, V. A. Computing the evaluation of deformations of the buildings located near deep foundation tranches / V. A. Ilichev, N. S. Nikiforova, E. B. Koreneva // Proceedings of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering “Geotechnical Engineering in urban Environments” (Madrid, 24–27 September 2007). – Vol. 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 // Proceedings of the 7th International Symposium “Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground”(Rome, 16–18 May, 2011). – 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). – 2003.
7. Pivar, J. Stone columns – determination of the soil improvement factor / J. Pivar // Slovak Journal of Civil Engineering. – 2011. – Vol. XIX. No. 3. – P. 17–21.
8. Соколов, Н. С. Технологические приемы устройства буроинъекционных свай с многоместными уширениями / Н. С. Соколов // Жилищное строительство. – 2016. – № 10. – С. 54.
9. 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.

Сметанкин Роман Андреевич – инженер, НПФ «ФОРСТ», магистрант, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия. smetankin-roma@mail.ru

Roman A. Smetankin – engineer, NPF FORST, undergraduate, Cheboksary State University, Cheboksary, Russia. smetankin-roma@mail.ru

УДК 621.6.072

ОСНОВАНИЕ ФУНДАМЕНТА ПОВЫШЕННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

Н.С. Соколов

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

Аннотация: возведение фундаментов с повышенными значениями несущей способности является актуальной задачей современного геотехнического строительства. Особенno оно востребовано при строительстве объектов в стесненных условиях и сооружений повышенной этажности. В строительной практике часто случаи, когда использование буронабивных свай по технико-экономическим соображениям не целесообразно. Буроинъекционные сваи-ЭРТ с многоместными уширениями в этом случае оказываются максимально востребованы.

Ключевые слова: несущая способность, буронабивная свая, ростверк, сваи-ЭРТ, многоместные уширения, инъекции.

FOUNDATION BASE OF INCREASED BEARING CAPACITY

Abstract: construction of foundations with increased bearing capacity values is a topical task of modern geotechnical construction. It is especially in demand when constructing objects in cramped conditions and high-rise buildings. In construction practice, there are often cases when the use of bored piles is not advisable for technical and economic reasons. Bored injection piles-EDT with multi-location widenings are in maximum demand in this case.

Keywords: bearing capacity, bored pile, grillage, EDT piles, multiple widenings, injections.

Введение

Широко востребовано возведение фундаментов с повышенными значениями несущей способности при строительстве объектов в стесненных условиях, зданий повышенной этажности, а также при возведении промышленных и производственных сооружений особого назначения (например, цеха с тяжелым оборудованием). Для обеспечения стабильности и предотвращения деформаций таких сооружений в современном геотехническом строительстве существуют технологии устройства фундаментов повышенной несущей способности.

Материал и методы исследований

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

Возведение подземной части любого сооружения требует особыго внимания [1–6] со стороны геотехников. Любое внедрение в основание элементов в виде строительных конструкций, а также извлечение из него грунта изменяет сложившееся в течение длительного геологического периода напряженно-деформированное состояние основания (НДС). Также извлечение из него грунтов приводит к его разуплотнению. При этом, чем больше диаметр рабочего органа буровой установки, тем значительны негативные последствия на основание как следствие вынутого грунта из него. Для сведения отрицательных влияний к минимуму с целью восстановления существовавшего НДС при производстве буровых свай необходимо использовать технологии способствующие восстановлению структуры грунтов основания.

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

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

Инвестор всегда вкладывает денежные средства в наиболее экономичный и в то же время надежный тип фундамента. Таким образом, для случая свайного фундамента экономическая эффективность рассматривается совместно со стоимостью свайного поля и ростверков [7–13].

Результаты и проблематика

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

Определение несущей способности F_d производится по формуле (7.11) СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты»

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

где γ_c – коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый равным 1; R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа (tc/m^2), принимаемое по табл. 7.2 СП 24.13330.2021; A – площадь опирания сваи на грунт, м; u – наружный периметр поперечного сечения сваи, м; f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта основания по боковой поверхности сваи, кПа (tc/m^2), принимаемое по СП 24.13330.2021; h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м; γ_{cf} – коэффициент условий работы на боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения сваи на значения расчетного сопротивления грунта и принимаемые по табл. 7.4 свода правил СП 24.13330.2021; γ_{cR} – коэффициент условий работы под нижним концом сваи согласно табл. 7.4 СП 24.13330.2021.

По формуле (1) произведены расчеты несущей способности F_d по грунту различных типов буровых свай прорезающих теку-

чепластичный суглинок с $I_L = 0,9$, мягкопластичный суглинок с $I_L = 0,6$. Пята свай заделана в полутвердую глину. В качестве типов буровых свай использованы: 1) буроинъекционные сваи-ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) без уширений и с уширениями под пятой и вдоль ствола; 2) буронабивные сваи Ø 600, 800, 1000 мм, изготавливаемые в обсадных трубах, под защитой тиксотронной глины, а также укладываемые с помощью глубокой вибрации.

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

Примечания по столбцам: 5 – буроинъекционная свая-ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) без уширений; 6 – буроинъекционная свая-ЭРТ с уширениями под пятой; 7 – буроинъекционная свая-ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с уширениями под пятой и стволу; 8 – буроинъекционная свая-ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с уширениями под пятой и двумя уширениями вдоль ствола сваи; 9 – бурона-бивные сваи диаметром 600, 800, 1000 мм; 11 – коэффициенты γ_{cf} для буровых свай поз. 3 а табл. 7.6 СП 24.13330.2021; 12 – коэф-фициенты γ_{cf} для буровых свай поз. 3 б табл. 7.6 СП 24.13330.2021; 13 – коэффициенты γ_{cf} для буровых свай поз. 3 в табл. 7.6 СП 24.13330.2021.

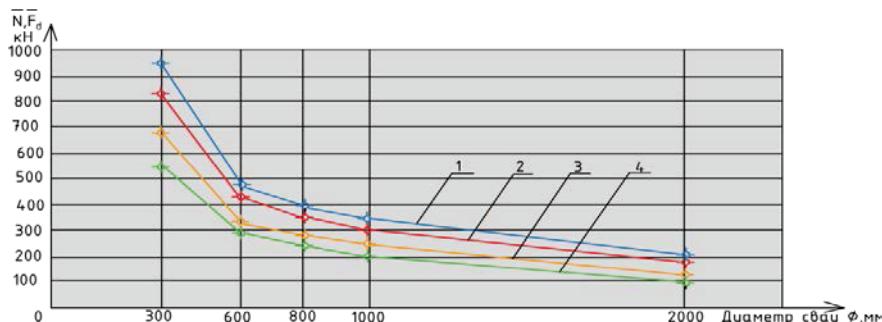


Рис. 2. Графики зависимости $f(\phi, \bar{N})$ и $f(\phi, \bar{F}_d)$,
где \bar{F}_d – удельная несущая способность [kH/m^3],
 \bar{N} – удельная расчетная нагрузка; 1 и 2 – графики $f(\phi, \bar{F}_d)$;
3 и 4 – графики $f(\phi, \bar{N})$. Примечания: 350-диаметр свай-ЭРТ:
600, 800, 1000, 2000 – диаметры буронабивных свай [мм]

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

Заключение

Внедрение в основание элементов в виде строительных конструкций изменяет напряженно-деформированное состояние основания, а извлечение из него грунтов приводит еще и к его разуплотнению. Для сведения отрицательных влияний к минимуму при производстве буровых свай необходимо использовать технологии способствующие восстановлению структуры грунтов основания. В данной статье рассмотрен пример и доказана эффективность буроинъекционных технологий.

Список литературы

1. Анализ расчетных предпосылок геотехнического прогноза нового строительства на окружающую застройку / А. З. Тер-Мартиросян, В. П. Кивлюк, И. О. Исаев [и др.] // Жилищное строительство. – 2022. – № 9. – С. 57–66. DOI 10.31659/0044-4472-2022-9-57-66. EDN NVNUNI
2. Мангушев, Р. А. Технологические осадки зданий и сооружений в зоне влияния подземного строительства / Р. А. Мангушев, Н. С. Никифорова. – Москва: АСВ, 2017. – 168 с.

3. Deformations of the Retaining Structures Upon Deep Excavations in Moscow / V. A. Ilichev, P. A. Konovalov, N. S. Nikiforova [et al.] // Proceedings of Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering (New York, April 13–17, 2004). – 2004. – P. 5–24.
4. Ilichev, V. A. Computing the evaluation of deformations of the buildings located near deep foundation trenches / V. A. Ilichev, N. S. Nikiforova, E. B. Koreneva // Proceedings of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering “Geotechnical Engineering in Urban Environments” (Madrid, 24–27 September 2007). – 2007. – Vol. 2. – P. 581–585.
5. Ильичев, В. А. Прогноз изменения температурного состояния основания здания в условиях потепления климата / В. А. Ильичев, Н. С. Никифорова, А. В. Коннов // Жилищное строительство. – 2021. – № 6. – С. 18–24. DOI 10.31659/0044-4472-2021-6-18-24. EDN ZKLMTB
6. Nikiforova, N. S. Geotechnical cut-off diaphragms for built-up area protection in urban underground development / N. S. Nikiforova, D. A. Vnukov // Proceedings of the 7th International Symposium “Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground” (Rome, 16–18 May, 2011). – 2011. – No. 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 // Proceedings of International Geotechnical Conference dedicated to the Year of Russia in Kazakhstan (Almaty, 23–25 September 2004). – 2004. – P. 338–342.
8. Соколов, Н. С. Практика строительства в особо стесненных условиях / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Жилищное строительство. – 2023. – № 9. – С. 41–47. DOI 10.31659/0044-4472-2023-9-41-47. EDN AZVVDS
9. Тер-Мартиросян, З. Г. Взаимодействие щебеночной сваи с окружающим грунтом и рострверком / З. Г. Тер-Мартиросян, А. З. Тер-Мартиросян, Г. О. Анжело // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2019. – № 3. – С. 2–6. – URL: <https://ofmg.ru/index.php/ofmg/article/view/6026> (дата обращения: 12.09.2025). EDN ZJHDYG
10. Pivar, J. Stone columns – determination of the soil improvement factor / J. Pivar // Slovak Journal of Civil Engineering. – 2011. – Vol. XIX. No. 3. – P. 17–21. DOI 10.2478/v10189-011-0014-z
11. Тер-Мартиросян, З. Г. Теоретические основы прогноза расширения диаметра лидирующей скважины щебеночной буронабивной сваи в водонасыщенном грунте / А. З. Тер-Мартиросян, Г. О. Анжело, М. Т. Чан // Жилищное строительство. – 2024. – № 9. – С. 14–21. DOI 10.31659/0044-4472-2024-9-14-21
12. Соколов, Н. С. Сваи повышенной несущей способности / Н. С. Соколов, С. С. Викторова, Т. Г. Федорова // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы VIII Всероссийской (II Международной) конференции (Чебоксары, 20–21 ноября 2014 года). – Чебоксары: Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, 2014. – С. 411–415. EDN UMHMPD
13. 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. – Чебоксары: Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, 2014. – С. 415–420.

Соколов Николай Сергеевич – заведующий кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», кандидат технических наук, доцент, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, директор ООО НПФ «ФОРСТ», г. Чебоксары, Россия. ns_sokolov@mail.ru, forstnfpf@mail.ru

Nikolay S. Sokolov – head of the department of «Construction technologies, geotechnics and construction economics», PhD, associate professor, Chuvash State University, Director of NPF “FORST” LLC, Cheboksary, Russia. ns_sokolov@mail.ru, forstnfpf@mail.ru

УДК 624

СЛУЧАЙ ИЗ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ВОДОВОДЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

H.C. Соколов

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

Аннотация: проблемы освоения подземного пространства в стесненных условиях существующих производств является сложной геотехнической задачей и требует специфического подхода. При этом наличие слабых инженерно-геологических элементов существенно усугубляет проведение геотехнических работ. Повышения несущей способности основания фундаментов всегда находится под пристальным вниманием геотехников, проектировщиков и строителей. Использование буроинъекционных свай устраиваемых с использованием нестандартных физических процессов в большинстве случаях успешно решает многие сложные и нетипичные геотехнические проблемы. Статья является обзорной.

Ключевые слова: геотехническое строительство, электро-гидравлика, монолитный железобетонный ростверк, буроинъекционные сваи ЭРТ, стесненные геотехнические условия.

A CASE FROM GEOTECHNICAL PRACTICE OF RECOVERING AN EMERGENCY SITUATION ON A HIGH-PRESSURE WATER PIPELINE

Abstract: the problems of underground space development in the cramped conditions of existing production facilities are a complex geotechnical task and require a specific approach. At the same time, the presence of weak engineering and geological elements significantly complicates the implementation of geotechnical works. Increasing the bearing capacity of foundations is always under the close attention of geotechnicians, designers and builders. The use of borehole injection piles arranged using non-standard physical processes in most cases successfully solves many complex and atypical geotechnical problems. The article is a review article.

Keywords: geotechnical construction, electrohydraulics, monolithic reinforced concrete grillwork, drill-injection piles of the EDT, constrained geotechnical conditions.

Введение

Проблема безаварийной эксплуатации линейных сооружений [1–12] на сжимаемых основаниях является актуальной задачей обслуживающих организаций. Для линейных напорных объектов водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения, относящихся к категории КС-3 она приобретает особую актуальность. Соответствующие службы, ответственные за их техническое состояние обязаны регулярно мониторить их деформации. Из геотехнической практики эксплуатации таких ответственных сооружений зачастую наблюдаются сверхнормативные деформации оснований фундаментов воспринимающих расчетные нагрузки от них. При этом такие деформации усугубляются благодаря наличию в основаниях слабых инженерно-геологических элементов, а также деформаций специальных земляных сооружений типа грунтовых дамб, запруд или других гидротехнических объектов.

Материал и методы исследований

В настоящей статье описан уникальный случай восстановления после возникшей аварийной ситуации на участке деформированной грунтовой дамбы в результате обвала грунтовой массы, являвшейся основанием городских магистральных напорных городских трубопроводов водоснабжения из насосной станции. Ис-

пользование свай ЭРТ устраиваемых с помощью электроразрядной технологии позволило решить проблему с аварийным случаем, а именно предотвратить дальнейшее разрушение грунтовой насыпи и обеспечить гарантированную безопасную эксплуатацию всей напорной водопроводной системы.

Качественное строительство объектов геотехнического строительства предполагает надежную эксплуатацию всего здания или сооружения, а также линейных объектов в конечном итоге на весь срок их службы. При этом согласно действующим нормативным документам предполагается надлежащий мониторинг технического состояния, как самих объектов, так и оснований и фундаментов, воспринимающих нагрузки от них за весь период их службы.

Рассмотренные в статье работы проводились по восстановлению возникшей аварийной ситуации на участке напорных водопроводов диаметрами 800,0-1200,0 мм, снабжающих питьевой водой от насосной станции потребителей г. Чебоксары. В качестве основания служила грунтовая дамба (см. рис. 1 и 2), заполненная песчаным грунтом овраг глубиной более 20,0 метров. В результате аварийного выброса напорной воды в одном из восьми трубопроводов произошло обрушение песчаной дамбы с последующим зависанием линейных сооружений.

Результаты и проблематика

Решением противоаварийной комиссией было принято заключение об устройстве заглубленных железобетонных конструкций с использованием свай ЭРТ монолитных железобетонных ростверков как фундаментов под напорные трубопроводы по всей длине грунтовой дамбы (см. рис. 3 и 4). Фактическое исполнение глубоких опор – свай ЭРТ и монолитных железобетонных ростверков приведены в нижеприведенных фотографиях (см. рис. 4, 5).

В качестве основания опор водопропускных труб (водоводов) принят фундамент – монолитный железобетонный ростверк (рис. 4), опирающийся на оголовки железобетонных свай ЭРТ, изготавливаемые по электроразрядной свайной технологии (геотехническая технология ЭРТ). Устройство свайных оснований с использованием свай ЭРТ (рис. 4, 5) выполняется с уровня планировки. Сущность электроразрядной свайной технологии заключается в том, что грунт стенок и забоя скважины, заполненной мелкозернистым бетоном, обрабатывается серией высоковольтных

электрических разрядов. При этом возникает электрогидравлический эффект, в результате которого формируется свая ЭРТ, одновременно цементирующего окружающий массив грунта как вокруг ствола так и под нижним ее концом. Первоначальный диаметр скважины принят $d_c=300,0 \text{ мм}$ по диаметру бурового инструмента, техническое название которому забурник. В результате электрогидравлической обработки расчетной серией разрядов диаметр свай должен быть увеличен в соответствии с Техническими Рекомендациями по применению свай ЭРТ ТР50-180-06 до D_{kyi} . Окружающие сваю грунты уплотняются, снижается их пористость в результате процесса проникновения цементного молока в грунт стенок и забоя буровых скважин в зоне воздействия ударного импульса. При этом армирование свай ЭРТ производится пространственными сварными арматурными каркасами длиной $l=3,9 \text{ м}$, $l=2,9 \text{ м}$, состоящие из шести стержней рабочей арматуры $\varnothing=20,0 \text{ мм}$ класса А500, располагающихся равномерно по контуру сваи ЭРТ с расстоянием между отдельными стержнями не менее одного диаметра стержня. Поперечная арматура каркасов выполнена виде круглых сварных хомутов $\varnothing=10,0 \text{ мм}$ класса А240 (1,5 витка) шагом $t=150,0 \text{ мм}$ в виде круга $\varnothing=200 \text{ мм}$, хомутов из труб $\varnothing=219 \text{ мм}$ $t=7,0 \text{ мм}$ длиной $l=30,0 \text{ мм}$ с шагом $t=1,5 \text{ м}$, обеспечивающих жесткость каркасов при транспортировке и монтаже пространственных армокаркасов свай, а также выполняющих функцию поперечного армирования свай. После установки арматурного каркаса в скважину, его следует приподнять над забоем скважины, согласно листам армирования свай. Для обеспечения защитного слоя из бетона, а также отцентрированного расположения каркасов свай в скважине, на каркасы устанавливают фиксаторы $\varnothing=8,0 \text{ мм}$ А240 $l=170,0 \text{ мм}$ шагом $t=1,0-2,0 \text{ м}$.

Для конкретного типа грунтовых условий данной строительной площадки допускается применить последовательность выполнения свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ):

1. Бурение грунта с применением проходных шнеков с выполнением затирки стенок скважины при обратном вращении буровой колонны.
2. Установка пространственных арматурных каркасов.
3. Заполнение скважин мелкозернистым бетоном.

4. Формирование тела свай с помощью разрядно-импульсной установки – генератора импульсной установки (ГИТ). Бурение скважин выполняется передвижной установкой УБГ-СГ «БЕРКУТ», а заполнение ее осуществляется мелкозернистой бетонной смесью.

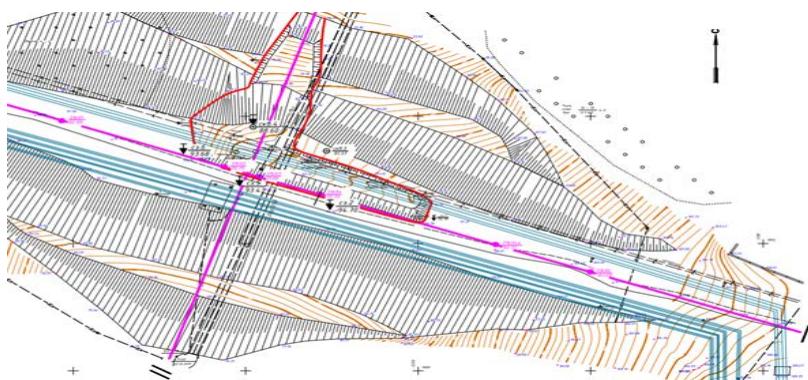


Рис. 1. Выкопировка из генплана магистральных трубопроводов высокого давления над дамбой

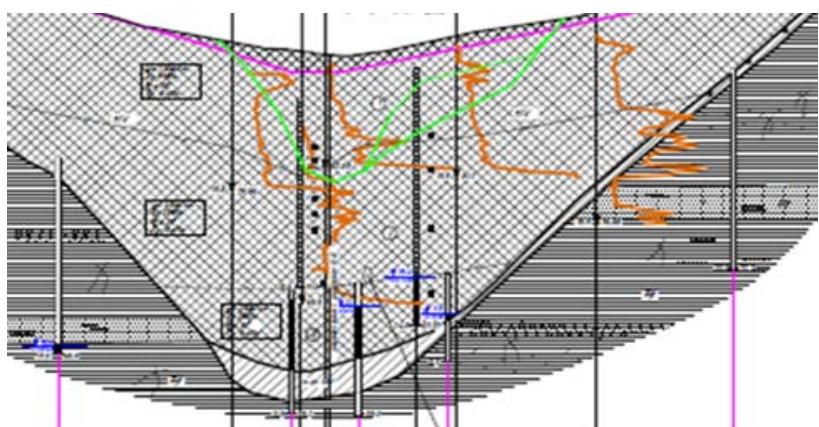


Рис. 2. Поперечный инженерно-геологический разрез дамбы

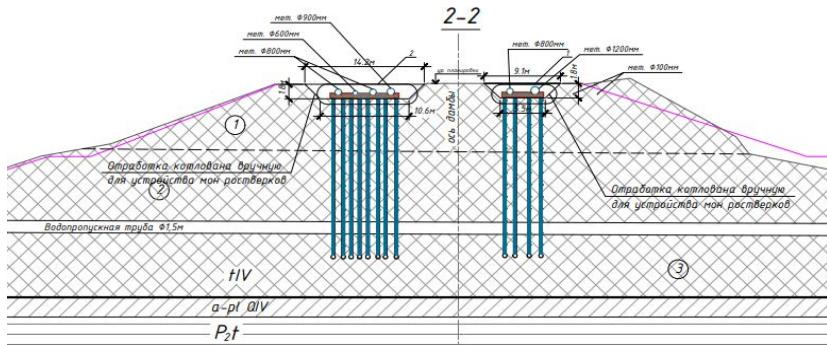


Рис. 3. Поперечный разрез дамбы с указанием опор трубопроводов – свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

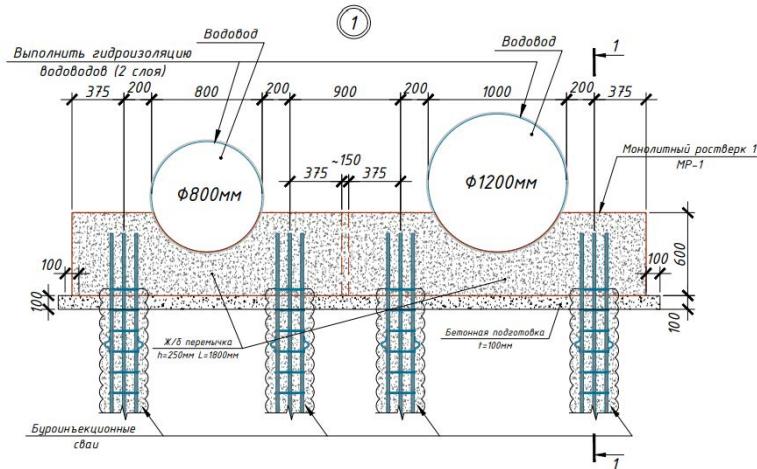


Рис. 4. Фрагмент участка монолитного железобетонного ростверка как опоры под высоконапорные магистральные трубы



Рис. 5. Фрагмент устройства монолитного железобетонного ростверка (поз. 1) на стадии армирования под магистральные высоконапорные трубопроводы (поз. 2)

Заключение

Использование буриоинъекционных свай ЭРТ устраиваемых с помощью электроразрядной технологии позволяет решить многие проблемы связанные с последствиями, возникающими после аварийных ситуаций на объектах строительства, а именно предотвратить дальнейшее разрушение грунтовой насыпи и обеспечить гарантированную безопасную эксплуатацию всей напорной водопроводной системы на рассматриваемом в статье объекте – деформированной грунтовой дамбы.

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. Hassiotis, S. Design method for stabilisation of slopes with piles / S. Hassiotis, J. L. Chamcau, M. Gunaratne // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. – 1997. – Vol. 123. No. 4. – P. 314–323.
3. Lee, J. H. Determination of pile base resistance in sands / J. H. Lee, R. Salgado // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. – 1999. – Vol. 125. No. 8. – P. 673–683.
4. Mandolini, A. Pile foundations: experimental investigations, analysis and design / A. Mandolini, G. Russo, C. Viggiani // Ground Engineering. – 2005. – Vol. 38. No. 9. – P. 34–38.

5. Nikiforova, N. S. Geotechnical cut-off diaphragms for built-up area protection in urban underground development / N. S. Nikiforova, D. A. Vnukov // Proceedings of the 7th International Symposium “Geotechnical aspects of underground construction in soft ground” (Rom, 16–18 May, 2011). – 2011. – No. 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. – 2003.

7. 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). – 2007. – Vol. 2. – P. 683–688.

8. Соколов, Н. С. Технологические приемы устройства буроинъекционных свай с многоместными уширениями / Н. С. Соколов // Жилищное строительство. – 2016. – № 10. – С. 54–57.

9. Соколов, Н. С. Несоответствия в надежной эксплуатации объекта культурного наследия – Чувашского драматического театра им. К. В. Иванова / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Жилищное строительство. – 2023. – № 4. – С. 70–75.

10. Соколов, Н. С. Определение несущей способности буроинъекционных свай-РИТ со сформированными «подпятниками» / Н. С. Соколов // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы I Международной (VII Всероссийской) конференции (Чебоксары, 14–15 ноября 2012 года). – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, 2012. – С. 289–292.

11. Соколов, Н. С. Об ошибочном способе устройства буроинъекционных свай с использованием электроразрядной технологии / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Жилищное строительство. – 2016. – № 11. – С. 20–28.

12. Пат. 2250957 С2 Российская Федерация, МПК E02D 5/34, E02D 5/44. Способ изготовления набивной сваи: № 2003121751/03: заявл. 14.07.2003: опубл. 27.04.2005 / В. Ю. Таврин, Н. С. Соколов, В. А. Абрамушкин; заявитель ООО «Научно-производственная фирма ФОРСТ».

Соколов Николай Сергеевич – заведующий кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», кандидат технических наук, доцент, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, директор ООО НПФ «FORST», г. Чебоксары, Россия. ns_sokolov@mail.ru, forstnfpf@mail.ru

Nikolay S. Sokolov – head of the department of «Construction technologies, geotechnics and construction economics», PhD, associate professor, Chuvash State University, Director of NPF “FORST” LLC, Cheboksary, Russia. ns_sokolov@mail.ru, forstnfpf@mail.ru

УДК 624.1

ПРАКТИКА УСИЛЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВОГО СКЛОНА ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ОБЪЕКТОВ

H.C. Соколов

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

Аннотация: строительство объектов различного назначения на пересеченных территориях в стесненных условиях городской застройки для строителей является основной проблемой, связанной с решением геотехнических задач обеспечения, как самого склона, так и зданий и сооружений окружающей застройки в зоне геотехнического влияния. Возникают вопросы с необходимостью разработки заглубленных удерживающих конструкций. В статье рассмотрен случай из геотехнической практики устройства удерживающих конструкций с использованием буронабивных свай диаметрами 600 мм и 800 мм и грунтовых анкеров устраиваемых по электроразрядной технологии (анкера ЭРТ).

Ключевые слова: геотехническое строительство, электро-гидравлика, монолитный железобетонный ростверк, буронабивные сваи, особо стесненные геотехнические условия, грунтовые анкера ЭРТ.

PRACTICE OF STRENGTHENING AN UNSTABLE SLOPE DURING THE CONSTRUCTION OF OBJECTS

Abstract: the construction of objects for various purposes on rugged territories in cramped conditions of urban development for builders is the main problem associated with solving geotechnical problems of providing both the slope itself and the buildings and structures of the surrounding development in the zone of geotechnical influence. There are questions about the need to develop buried retaining structures. The article examines a case from geotechnical practice of constructing retaining structures using bored piles with diameters of 600 mm and 800 mm and ground anchors installed using electric discharge technology (EDT anchors).

Keywords: *geotechnical construction, electrohydraulics, monolithic reinforced concrete grillage, bored piles, particularly constrained geotechnical conditions, EDT ground anchors.*

Введение

Строительство заглубленных объектов в особо стесненных условиях на неустойчивых склонах от инженеров-геотехников [1–7] специфического подхода, которые должны проявить изобретательность и смекалку в использовании современных геотехнических технологий, обеспечивающих безопасную эксплуатацию объектов существующей застройки, как во время строительства, так и за время эксплуатации вновь возводимых зданий и сооружений [11–15].

Материал и методы исследований

Исходными данными для разработки проекта устройства удерживающих конструкций явились: 1. Проектная документация «Комплексная застройка ЖК «Дубрава парк» город Чебоксары» (финансирование затрат на инженерные сети и коммуникации по водоснабжению, водоотведению, электроснабжению и теплоснабжению, газоснабжению, дороги комплексной застройки ЖК «Дубрава парк» город Чебоксары). Улично-дорожные сети микрорайона «Дубрава парк» г.Чебоксары» шифр ГК №24/10-2022, выполненная ООО «СИТИСТРИПРОЕКТ» в. 2023г.; 2. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий на объекте: «Земельный участок с кадастровым номером 21:01:010902:156, расположен по адресу: Чувашская Республика – Чувашия, Чебоксарский городской округ, г.Чебоксары», выполненный ООО «ГИИЗ» в 2021г., шифр 10309-ИГИ; 3. Определение устойчивости подпорных стен комплексной застройки микрорайона «Дубрава парк» г. Чебоксары». Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий для подготовки проектной документации, шифр 5570-ИГИ, выполненный ЗАО «Институт «Чувашгипроводхоз» в 2023г.; 4. Технический отчет «Освидетельствование технического состояния строительных конструкций гаражного комплекса и жилого дома №25 к.1 по адресу б-р А.Миттова, попадающих в зону влияния нового строительства объекта «Жилой комплекс «Дубрава», шифр ТО-09/23, выполненный ООО «ИЦ «ЭКСПЕРТ» в 2023г.

В геоморфологическом отношении на территории строительства выделены три района: 1) краевая часть приводораздельного плато (типы АI и АII) с отметками от 130,0 до 140,0 м, со слабым уклоном (до 4–5°) на ЮВ, к долине Сугутки, а в его составе – до

шести геоморфологических элементов: не менее трех фрагментов поверхностей выравнивания с аккумулятивными (А1) и денудационными (А2) участками и две погребенные балки с оврагами и ложбинами стока в их пределах; 2) пойменная аккумулятивная (ПТ) терраса шириной от 2,0–3,0 м до 15,0–20,0 м и узкое русло Сугутки с отметками от 104м до 98м, средний уклон поймы – 0,006; 3) оползневой (БIV-БV) левый склон долины между плато и поймой р.Сугутка. Он пологий волнисто-буристый с множеством извилистых ложбин стока на границах более двух десятков локальных оползней течения и скольжения с головными блоками Вр, Сб.

Результаты и проблематика

Конструктивные решения заглубленных железобетонных удерживающих конструкций, обоснованных на основании геотехнических расчетов устойчивости с учетом проектных нагрузок представляют.

1. Верхняя подпорная стенка (заглубленная железобетонная удерживающая конструкция) представляет собой гибкую заанкеренную стенку. Конструкция ограждения выполнена из буронабивных свай, закрепленные от горизонтального смещения грунтовыми анкерами, устраиваемы по электроразрядной технологии (анкера ЭРТ). По верху сваи объединяются монолитной железобетонной обвязочной балкой. Облицовка вертикальных поверхностей заглубленной конструкции выполнена в монолитном железобетонном исполнении. Сваи буронабивные назначены диаметрами 620 мм и 800 мм, длины 20,0 м, 18,0 м, 17,0 м и 12,0 м. Они выполняются под защитой обсадных труб. Длина корня грунтовых анкеров ЭРТ – 10,0 м. Предварительное натяжение осуществляется через стальной анкерный распределительный пояс. За облицовкой в межсвайном пространстве предусмотрен вертикальный дренаж, обеспечивающий отвод накопленных за стенкой грунтовых вод в дренажный коллектор, расположенный вдоль подпорной стенки. Отвод поверхностных вод осуществляется по железобетонным лоткам, расположенным вдоль обвязочной балки.

2. Нижняя подпорная стенка (заглубленная железобетонная удерживающая конструкция) представляют комплекс, состоящий из анкерных конструкций, уголковой железобетонной стенки и свайного основания. Сваи ограждения – буронабивные диаметром 620 мм длиной 13,0 м и 19,0 м, выполняются под защитой обсадных труб. Грунтовые анкера (анкера ЭРТ) диаметром 150 мм (диаметр по буровому инструменту) длиной корня – 10,0 м, вы-

полняются по электроразрядной технологии и предварительно напряженные, для обеспечения пропуска грунтовых вод на уровне плитной части (только на участках со свайным основанием) предусмотрен пластовый дренаж. Дренажный коллектор обеспечивает пропуск грунтовых вод с уровня стеновой части подпорки. Отвод поверхностных вод осуществляется по железобетонным лоткам, расположенным вдоль подпорной стенки.

Расчеты по прочности основания подпорных стен выполнены в программном комплексе GeoWall, основанного на методе Блюма-Ломейера (способ «упругой линии») и на методе Якоби (итерационный процесс).

Ниже на рис. 1–4 приведены инженерно-геологический разрез под дорогой с вертикальной привязкой заглубленных удерживающих конструкций, планы грунтовых анкеров верхнего пояса грунтовых анкеров, узлы крепления грунтовых анкеров верхнего и нижнего поясов к монолитной железобетонной уголковой подпорной стене, узел крепления бурованых свай к монолитной железобетонной уголковой подпорной стене, фрагмент устройства монолитной железобетонной забирки с указанием узла крепления грунтового анкера ЭРТ (РИТ).

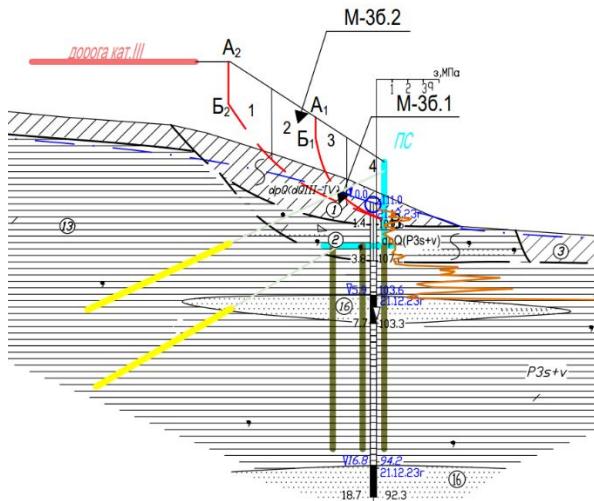


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез под дорогой с вертикальной привязкой заглубленных удерживающих конструкций

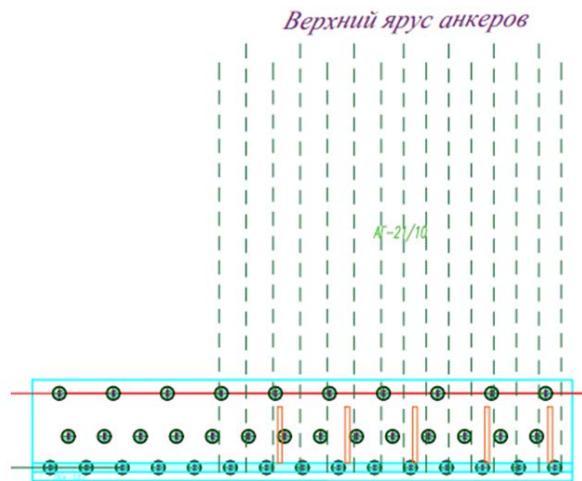


Рис. 2. Планы грунтовых анкеров верхнего пояса грунтовых анкеров

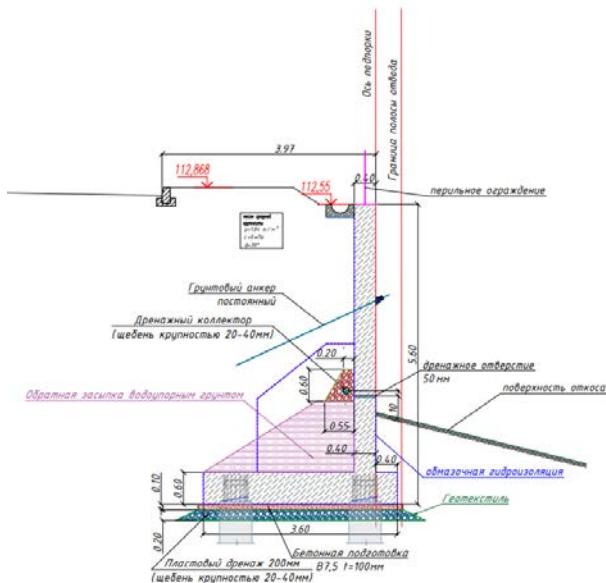


Рис. 3. Узел крепления буронабивных свай к монолитной железобетонной уголковой подпорной стене

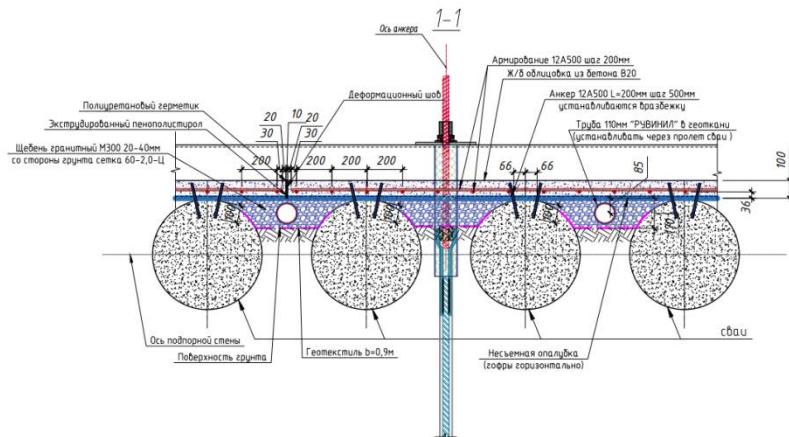


Рис. 4. Фрагмент устройства монолитной железобетонной забирки с указанием узла крепления грунтового анкера ЭРТ

Заключение

В статье представлены конструктивные решения заглубленных железобетонных удерживающих конструкций, обоснованных на основании геотехнических расчетов устойчивости с учетом проектных нагрузок. Расчеты по прочности основания подпорных стен выполнены в программном комплексе GeoWall.

Список литературы

1. Анализ расчетных предпосылок геотехнического прогноза нового строительства на окружающую застройку / А. З. Тер-Мартиросян, В. П. Кивлюк, И. О. Исаев [и др.] // Жилищное строительство. – 2022. – № 9. – С. 57–66. DOI 10.31659/0044-4472-2022-9-57-66
2. Мангушев, Р. А. Технологические осадки зданий и сооружений в зоне влияния подземного строительства / Р. А. Мангушев, Н. С. Никифорова. – Москва: АСБ, 2017. – 168 с.
3. Deformations of the retaining structures upon deep excavations in Moscow / V. A. Ilichev, P. A. Konovalov, N. S. Nikiforova [et al.] // Proceedings of Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering (New York, April 13–17, 2004). – 2004. – Р. 5–24.
4. Sokolov, N. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem / N. Sokolov, S. Ezhov, S. Ezhova // Journal of Applied Engineering Science. – 2017. – Vol. 15. No. 4. – P. 518–523. <https://doi.org/10.5937/jaes15-14719>
5. Nikiforova, N. S. Geotechnical cut-off diaphragms for built-up area protection in urban underground development / N. S. Nikiforova, D. A. Vnukov // Proceedings of the 7th International Symposium “Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground” (Rome, May 16–18, 2011). – 2011. – No. 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 // Proceedings of International Geotechnical Conference dedicated to the Year of Russia in Kazakhstan (Almaty, September 23–25, 2004). – 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. – 2003.
8. Соколов, Н. С. Технологические приемы устройства буроинъекционных свай с многоместными уширениями / Н. С. Соколов // Жилищное строительство. – 2016. – № 10. – С. 54–57.
9. Соколов, Н. С. Технология увеличения несущей способности основания / Н. С. Соколов // Строительные материалы. – 2019. – № 6. – С. 67–72. DOI <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-67-72>
10. 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.
11. Никонорова, И. В. Строительство и территориальное освоение оползнеопасных склонов Чебоксарского водохранилища / И. В. Никонорова, Н. С. Соколов // Жилищное строительство. – 2017. – № 9. – С. 13–19.
12. Соколов, Н. С. Технология устройства монолитного железобетонного ростверка в стесненных условиях функционирующего объекта / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Строительные материалы. – 2023. – № 7. – С. 12–16. DOI 10.31659/0585-430X-2023-815-7-12-16
13. Соколов, Н. С. Практика строительства в особо стесненных условиях / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Жилищное строительство. – 2023. – № 9. – С. 41–47. DOI 10.31659/0044-4472-2023-9-41-47
14. Соколов, Н. С. Геотехническая технология строительства инженерных сооружений / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Строительные материалы. – 2023. – № 11. – С. 52–55. DOI 10.31659/0585-430X-2023-819-11-52-55
15. Соколов, Н. С. Сваи повышенной несущей способности / Н. С. Соколов, С. С. Викторова, Т. Г. Федорова // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы VIII Всероссийской (II Международной) конференции (Чебоксары, 20–21 ноября 2014 года). – Чебоксары: Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, 2014. – С. 411–415.
16. 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 (Чебоксары, 20–21 ноября 2014 года). – Чебоксары: Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, 2014. – С. 415–420.
17. Соколов, Н. С. Мелкозернистый бетон как конструкционный строительный материал буроинъекционных свай ЭРТ / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Строительные материалы. – 2017. – № 5. – С. 16–19.
18. Пат. 161650 U1 Российская Федерация, МПК E02D 5/34, E02D 5/44. Устройство для камуфлетного уширения набивной конструкции в грунте: № 2015126316/03: заявл. 01.07.2015: опубл. 27.04.2016 / Н. С. Соколов, Х. А. Джантимиров, М. В. Кузьмин [и др.]; заявитель ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова».

Соколов Николай Сергеевич – заведующий кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», кандидат технических наук, доцент, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, директор ООО НПФ «ФОРСТ», г. Чебоксары, Россия. ns_sokolov@mail.ru, forstnppf@mail.ru

Nikolay S. Sokolov – head of the department of «Construction technologies, geotechnics and construction economics», PhD, associate professor, Chuvash State University, Director of NPF “FORST” LLC, Cheboksary, Russia. ns_sokolov@mail.ru, forstnppf@mail.ru

УДК 624.1

УСИЛЕНИЕ СЛАБОГО ОСНОВАНИЯ В ОСОБО СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Н.С. Соколов

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

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

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

STRENGTHENING A WEAK FOUNDATION IN PARTICULARLY CONSTRAINED CONDITIONS

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

Keywords: reconstruction, loads, zone of influence, electric discharge technology, EDT piles, bearing capacity.

Введение

В современных условиях актуальна реконструкция строительных объектов различного назначения с целью увеличения несущей способности оснований и фундаментов (например, в условиях износа, изменения нагрузок, назначения здания, а также при наличии деформаций). В статье рассмотрен случай реконструкции здания, в котором предполагалось изменение планировочной и конструктивной схемы и существенное увеличение нагрузок на фундаменты. Если до реконструкции здание было построено в каркасе, то после реконструкции все внешние нагрузки воспринимались свайно-плитным фундаментом. На объекте реконструкции были устроены противокарстовые буроинъекционные сваи.

Материал и методы исследований

Реконструируемое здание состоит из пяти блоков:

Блок №1 в осях «1-4+А-Г», размеры в осях 18,63x18,0м, трехэтажный, с подвалом, цокольным этажом и техническим чердаком. Конструктивная система – неполный каркас с железобетонными колоннами и ригелями с шарнирными узлами опирания ригелей, и наружные стены из каменной кладки. Перекрытия – сборные железобетонные плиты. Фундамент – железобетонная плита.

Блок №2 в осях «4-12÷А/1-В/1», размеры в осях 42,85x15,16 м, четырехэтажный, с подвалом, цокольным этажом и техническим чердаком Конструктивная система – стеновая с продольными несущими стенами из каменной кладки Перекрытия – сборные железобетонные плиты. Фундамент – железобетонная плита. Покрытие чердака и перекрытие четвертого этажа на данный момент полностью демонтированы.

Блок №3 (рис. 2) в осях «12-15÷А-К», размеры в осях 18,965x48,46 м. трехэтажный, с подвалом, цокольным этажом (частично, в осях «А-Е») и техническим чердаком. При реконструкции здания в соответствии архитектурными объемно-планировочными решениями предполагалось изменение планировочной и конструктивной схемы здания и существенное увеличение нагрузок на фундаменты.

В геоморфологическом отношении участок расположен в пределах древнеаллювиальной террасы Клязьмо-Яузского протока. Поверхность территории участка на период проведения изысканий (1947–1990 гг.) характеризовалась абсолютными отметками 149,80–151,35 м. По материалам ГБУ «Мостгоргеотрест» на период поведения изысканий геолого-литологическое строение участка на глубину пройденных скважин представляется в следующем виде: с поверхности до глубины 1,3–4,5 м участок покрыт техногенными грунтами ($t\text{-}Q_{IV}$), представленными песками, с включением строительного щебня, обломков кирпича, щепы древесины и шлака, слежавшимися, влажными. Под техногенными грунтами залегают верхнечетвертичные аллювиальные отложения ($a\text{-}Q_{III}^{IK-J}$) представленные в основном песками, реже суглинками, местами встречены прослои торфа. Пески желтые и желтовато-серые, мелкие, средней плотности, влажные и водонасыщенные Суглинки серые, иловатые, мягкотекучие. Мощность аллювиальных отложений составляет 1,5–2,7 м. В скважине №2 встречены моренные суглинки ($g\text{-}Q_{II}^d$). Суглинки коричневые, песчанистые, с тонкими прослойками водонасыщенного песка, с включениями гравия и гальки, мягкотекучие, мощностью 1,0 м.

Местами моренные суглинки размыты и аллювиальные отложения подстилаются флювиогляциальной толщей оксокоднепровского горизонта ($f\text{-}Q_{II}^{o-d}$), представленные супесями и песками: Супеси – темно-коричневые и черные, пылеватые, слю-

дистые, пластичные, местами текучие; Пески – желтые и коричневые, средней крупности, неоднородные, с гравием и щебнем кремнистых пород, средней плотности, водонасыщенные. Полная мощность флювиогляциальных отложений составляет 5,8–7,0 м., вскрытая мощность 4,7–5,8 м. Под толщей четвертичных отложений на глубине 10,3–10,5 м (абс. отм. 140,85–139,98) встречены отложения верхней юры представленные волжским (J_3v) и оксфордским (J_{3ox}) ярусами. Отложения волжского яруса представлены супесями черными, пылеватыми, слюдистыми с прослойями глауконитового песка, полутвердыми, мощностью 3,2 м. Отложения оксфордского яруса представлены глинами черными, пылеватыми, слюдистыми с крупными фосфоритами и включениями обломков фауны, мощностью 6,8–10,1 м. Каменноугольные отложения развиты на глубине 20,4–20,5 м (абс. отм. 129,88–130,85 м) и представлены подсвитами: – измайловской (C_3izm), мещеринской (C_3mse), перхуровской (C_3pr), неверовской (C_3nvr), ратмирской (C_3rt). Каменноугольная толща представлена известняками трещиноватыми, мергелями и мергелистыми глинами, доломитами. Вскрыта мощность каменноугольных отложений составляет 10,6–35,0 м. Последовательность залегания, мощность и характер распространения геологических слоев приведены на геологолитологическом разрезе (рис. 1).

Результаты и проблематика

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

Анализируя опыт устройства буровых (буроинъекционных) свай на рассматриваемом объекте использованы буроинъекционные сваи, выполняемые по электроразрядным технологиям – сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ). Эти сваи обладают максимальными значениями несущей способности на 1 м³ сваи и наиболее востребованы для работы в стесненных условиях [1–10].

На рис. 2 приведен план свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) и характерные сечения. В зависимости от нагрузок и инженерно-геологических разрезов в плане использованы сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) разной длины – от 13,0 м до 17,0 м. Армирование их приведено на рис. 2.

Вся технологическая цепь производства свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) на конкретном объекте ниже расписана в виде технологического регламента – алгоритма устройства буроинъекционных свай ЭРТ.



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

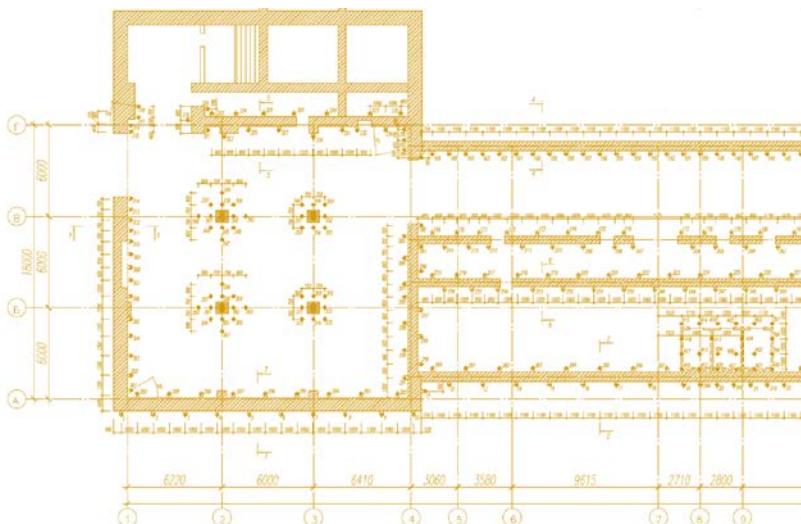


Рис. 2. Схема расположения свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)
усиления в осях (1–16)/(А–Г)

Заключение

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

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

Список 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. Родионов, В. Н. Основы геомеханики / В. Н. Родионов, И. А. Сизов, В. М. Цветков. – Москва: Недра, 1986. – 301 с.
3. Улицкий, В. М. Геотехническое сопровождение развития городов / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин, К. Г. Шашкин. – Санкт-Петербург: Геореконструкция, 2010. – 551 с.
4. Тер-Мартиросян, З. Г. Механика грунтов / З. Г. Тер-Мартиросян. – Москва: АСВ, 2009. – 550 с.

5. Ухов, С. Б. Механика грунтов, основания и фундамента / С. Б. Ухов. – Москва: Высшая школа, 2007. – 561 с.
6. Соколов, Н. С. Исследование и разработка устройства для изготовления буроинъекционных свай ЭРТ / Н. С. Соколов, С. С. Викторова // Строительство: Новые технологии – новое оборудование. – 2017. – № 12. – С. 37–42.
7. Sokolov, N. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem / N. Sokolov, S. Ezhov, S. Ezhova // Journal of Applied Engineering Science. – 2017. – Vol. 15. No. 4. – P. 518–523.
8. 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.
9. Никонорова, И. В. Строительство и территориальное освоение оползнеподаточных склонов Чебоксарского водохранилища / И. В. Никонорова, Н. С. Соколов // Жилищное строительство. – 2017. – № 9. – С. 13–19.
10. Соколов, Н. С. Технология устройства монолитного железобетонного ростверка в стесненных условиях функционирующего объекта / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Строительные материалы. – 2023. – № 7. – С. 12–16. DOI 10.31659/0585-430X-2023-815-7-12-16
11. Соколов, Н. С. Практика строительства в особо стесненных условиях / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Жилищное строительство. – 2023. – № 9. – С. 41–47. DOI 10.31659/0044-4472-2023-9-41-47
12. Соколов, Н. С. Геотехническая технология строительства инженерных сооружений / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Строительные материалы. – 2023. – № 11. – С. 52–55. DOI 10.31659/0585-430X-2023-819-11-52-55

Соколов Николай Сергеевич – заведующий кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», кандидат технических наук, доцент, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, директор ООО НПФ «FORST», г. Чебоксары, Россия. ns_sokolov@mail.ru, forstnppf@mail.ru

Nikolay S. Sokolov – head of the department of «Construction technologies, geotechnics and construction economics», PhD, associate professor, Chuvash State University, Director of NPF “FORST” LLC, Cheboksary, Russia. ns_sokolov@mail.ru, forstnppf@mail.ru

УДК 624.1

ГЕОТЕХНИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА УСИЛЕНИЯ СЛАБОГО ОСНОВАНИЯ

Н.С. Соколов

С.В. Сергеев

В.Ф. Богданов

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

Аннотация: проблемы освоения подземного пространства в стесненных условиях существующих производств является сложной геотехнической задачей и требует специфического подхода. При этом наличие слабых инженерно-геологических элементов существенно усложняет проведение геотехнических работ. Повышение несущей способности основания фундаментов всегда находится под пристальным вниманием геотехников, проектировщиков и строителей. Использование буроинъекционных свай устраиваемых с использованием нестандартных физических процессов в большинстве случаях успешно решает многие сложные и нетипичные геотехнические проблемы. Статья является обзорной.

Ключевые слова: геотехническое строительство, электро-гидравлика, монолитный железобетонный ростверк, буроинъекционные сваи ЭРТ, стесненные геотехнические условия.

GEOTECHNICAL PRACTICE OF STRENGTHENING WEAK FOUNDATIONS

Abstract: the problems of underground space development in the cramped conditions of existing industries are a complex geotechnical task and require a specific approach. At the same time, the presence of weak engineering and geological elements significantly complicates the implementation of geotechnical works. Increasing the bearing capabilities of the foundation base are always under close attention of geotechnicians, designers and builders. The use of bored piles installed using non-standard physical processes in most cases successfully solves many complex and non-standard geotechnical problems. The article is a review.

Keywords: *geotechnical construction, electrohydraulics, monolithic reinforced concrete grillage, bored injection piles EDT, constrained geotechnical conditions.*

Введение

Строительство зданий и сооружений на территориях, не приспособленных для возведения объектов без их предварительной предпроектной подготовки, приобретает в последнее время немаловажное актуальное значение. Часто строители пренебрегают понятиями устойчивость зданий и сооружений, надежность инженерно-геологических условий, что может привести к существенному удорожанию строительства.

Материал и методы исследований

Планируя строительство на неустойчивых основаниях, особенно на прислоненных склонах, они проектировщики и строители допускают больше всего ошибок, которые в конечном итоге приводят к существенному удорожанию объекта. Так, например, при возведении объектов на таких строительных площадках находящихся на территориях, не приспособленных для возведения объектов без их предварительной предпроектной подготовки необходимо учитывать как надежность склона, так и надежность самой насыпи отсыпанной на склоне на которой будет размещен объект. Можно с уверенностью сказать, что строители на таких неустойчивых площадках строят так же, как на равнинных территориях [1–13]. В этом и заключаются все беды, возникающие после окончания строительства и начала и в течение эксплуатации объектов возведенных на таких территориях.

Ниже рассматривается отрицательный опыт капитального строительства и эксплуатации автозаправочной станции «Лукойл», возведенного на неустойчивом прислоненном склоне. Для практикующих строителей это поучительный пример из разряда «как не надо строить».

В процессе строительства удерживающей подпорной стенки и возведения песчаной полунасыпи с размещением на ней здания операторной и инженерной инфраструктуры автозаправочной станции АЗС возникли деформации и осадки основания фундаментов этих объектов.

Для выявления причин возникших деформаций на площадке реконструируемой автозаправочной станции АЗС изыскательской организацией были выполнены инженерно-геологические работы на объекте.

Результаты и проблематика

Результатом проведенных изысканий явилось получение достоверных инженерно-геологических данных для определения причин деформации прислоненного откоса (полунасыпи) со строительной площадкой реконструируемой автозаправочной станции (АЗС), расположенной на оползневом склоне (прислоненном), и разработки технических рекомендаций по их предупреждению.

Необходимо особо отметить, что в качестве усиления оснований фундаментов зданий операторской и навеса использованы призматические забивные сваи (см. рис. 1). Причем уже погруженные сваи находятся в недоуплотненных насыпных грунтах (*они «висят» в насыпи, создавая дополнительные нагрузки и усугубляя работу основания*). Они вообще не участвуют в усилении основания, даже можно сказать препятствуют. Проектировщики допустили грубейшую ошибку, заключающуюся в том, что они в рабочих чертежах проекта не задельвая нижние концы свай в надежный инженерно-геологический элемент.

Следствием этого, происходит нестабилизирующийся процесс деформаций объектов АЗСэ 1. Сбор и анализ материалов ранее выполненных инженерных изысканийэ 2. Выявление и картирование местоположения участков распространения опасных инженерно-геологических процессов на территории изысканийэ 3. Изучение геолого-литологического строения территории изысканий. 4. Изучение гидрогеологических условий территории изысканий. 5. Изучение физико-механических свойств грунтов лабораторными и полевыми методами. 6. Определение наличия специфических грунтов и характеристик. 7. Оценка устойчивости склона для обоснования проектных решений поинженерной защите территории. 8. Расчет проектных оползневых давлений для проектирования противооползневых мероприятий (ПОМ).

Также дополнительно была разработана на абсолютной отметке 103,500 мдерживающая ограждающая противооползневая раскрепленная подпорная стена из двух рядов буроинъекционных свай ЭРТ с отметкой нижних концов 86,50 м и грунтовых анкеров ЭРТ длиной 20,0 м под углом 40,0 градусов (см. рис. 1). Буроинъекционные сваи ЭРТ по их верхам объединены уголковой монолитной железобетонной подпорной с контрфорсами монолитной железобетонной стеной, через которую пропущены грунтовые анкера ЭРТ. Именно эти противооползневые железобетонные конструкции служат для целей обеспечения запланированной

геометрии прислоненного откоса. Таким образом осуществление противоаварийных геотехнических мероприятий позволило стабилизировать и довести до минимальных значений деформации прислоненного склона. Результаты дальнейшего геотехнического мониторинга деформаций свидетельствуют о правильности принятого технического решения по стабилизации деформаций неустойчивого склона.

С целью стабилизации деформации вышеназванных объектов использованы сваи ЭРТ с заделкой нижних концом в неожимаемое надежное основание (поз. 2 на рис. 1). Сваи ЭРТ для объекта навеса устроены через монолитный железобетонный ростверк между существующими сваями. В связи со особой стесненностью выполнения работ по усилению основания фундаментов операторской было принято решение устройство консольной монолитной железобетонной балки, подводимой под подошву существующего монолитного железобетонного ростверка (см. рис. 2). При этом балки одновременно являлись ростверками над буроинъекционными сваями ЭРТ. Под все существующие монолитные железобетонные ростверки были подведены эти конструкции, благодаря чему осадки существующих фундаментов здания операторской стабилизировались.

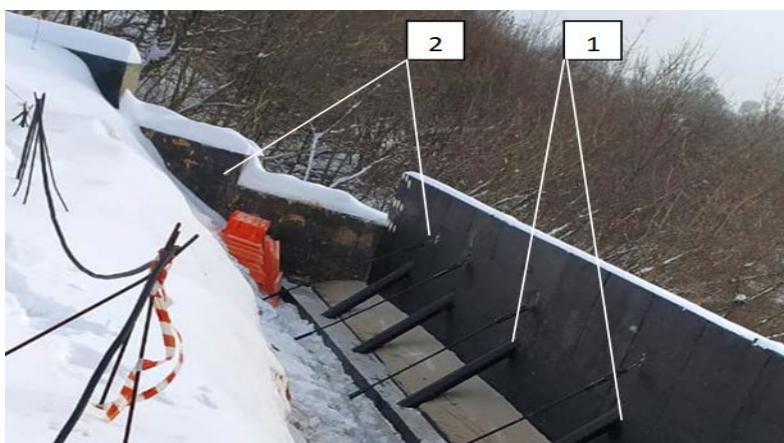


Рис. 1. Фотография анкерного крепления деформированного откоса на оползневом склоне на абсолютной отм. 94.60 м:
1 – грунтовый анкер ЭРТ; 2 – уголковые монолитные монолитные железобетонные уголковые подпорные стены

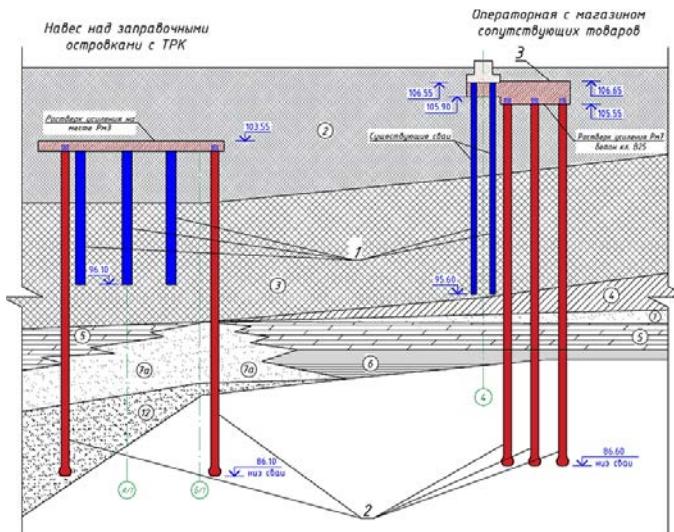


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез с вертикальной привязкой заглубленных удерживающих конструкций:
1 – существующие забивные сваи; 2 – сваи ЭРТ;
3 – подводимая монолитная железобетонные консольные балки под существующие монолитные железобетонные ростверки

Заключение

Практика показала, что объекты, построенные на поверхности прислоненного откоса, при недостаточном закреплении основания (забивные сваи не заделаны своими нижними концами в надежный слой) подвержены сильным деформациям, так несущая способность по грунту свай рассмотренных в статье оказалась нулевой. С целью стабилизации деформации на примере рассмотренных объектов использованы буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с заделкой нижних концов в несжимаемое надежное основание. Результаты дальнейшего геотехнического мониторинга деформаций свидетельствуют о правильности принятого решения по стабилизации.

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. – Санкт-Петербург: Геореконструкция, 2010. – 551 с.

3. Deformations of the Retaining Structures Upon Deep Excavations in Moscow / V. A. Ilichev, P. A. Konovalov, N. S. Nikiforova [et al.] // Proceedings of Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering (New York, April 13–17, 2004). – 2004. – P. 5–24.
4. Ilichev, V. A. Computing the evaluation of deformations of the buildings located near deep foundation tranches / V. A. Ilichev, N. S. Nikiforova, E. B. Koreneva // Proceedings of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering “Geotechnical Engineering in Urban Environments” (Madrid, Spain, 24–27 September 2007). – 2007. – Vol. 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 // Proceedings of the 7th International Symposium “Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground” (Rome, 16–18 May, 2011). – 2011. – No. 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 // Proceedings of International Geotechnical Conference dedicated to the Year of Russia in Kazakhstan (Almaty, 23–25 September 2004). – 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). – 2003.
8. Соколов, Н. С. Технологические приемы устройства буроинъекционных свай с многоместными уширениями / Н. С. Соколов // Жилищное строительство. – 2016. – № 10. – С. 54.
9. Соколов, Н. С. Несоответствия в надежной эксплуатации объекта культурного наследия – Чувашского драматического театра им. К. В. Иванова / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Жилищное строительство. – 2023. – № 4. – С. 70–75.
10. 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.
11. Пат. 2282936 C1 Российская Федерация, МПК H03K 3/53. Генератор импульсных токов: № 2005102864/09: заявл. 04.02.2005: опубл. 27.08.2006 / Ю. П. Пичугин, Н. С. Соколов; заявитель ООО «Научно-производственная фирма «ФОРСТ».
12. Пат. 2318960 C2 Российская Федерация, МПК E02D 5/34. Способ возведения набивной сваи: № 2005140716/03: заявл. 26.12.2005: опубл. 10.03.2008 / Н. С. Соколов, В. М. Рябинов, В. Ю. Таврин [и др.].
13. Соколов, Н. С. Определение несущей способности буроинъекционных свай-РИТ со сформированными «под пятниками» / Н. С. Соколов // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы I Международной (VII Всероссийской) конференции (Чебоксары, 14–15 ноября 2012 г.). – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, 2012. – С. 289–292.

Соколов Николай Сергеевич – заведующий кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», кандидат технических наук, доцент, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, директор ООО НПФ «FORST», г. Чебоксары, Россия. ns_sokolov@mail.ru, forstnppf@mail.ru

Сергеев Сергей Валентинович – доктор технических наук, профессор кафедры строительных технологий, геотехники и экономики строительства, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, Чебоксары, Россия. sergey.sergeev.v@mail.ru

Богданов Василий Филиппович – кандидат экономических наук, доцент кафедры строительных технологий, геотехники и экономики строительства, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. Basil1943@gmail.com

Nikolay S. Sokolov – head of the department of «Construction technologies, geotechnics and construction economics», PhD, associate professor, Chuvash State University, Director of NPF “FORST” LLC, Cheboksary, Russia. ns_sokolov@mail.ru, forstnppf@mail.ru

Sergey V. Sergeev – doctor of engineering, professor of the Department of “Construction technologies, geotechnics and construction economics”, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. sergey.sergeev.v@mail.ru

Vasily F. Bogdanov – Ph.D. in Economics, associate professor of the Department of Construction Technologies, Geotechnics and Construction Economics, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. Basil1943@gmail.com

УДК 624

ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАЙ ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

Н.С. Соколов

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

Аннотация: разработанная электроимпульсная установка (ЭИУ) обладает уникальностью и новизной в техническом решении для использования при устройстве буроинъекционных свай (свай ЭРТ). Установка ЭИУ позволяет изготавливать сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) повышенной несущей способности. Благодаря наличию высокоэнергетического емкостного накопителя с коммутатором подсоединенном к разряднику излучателя накопленной энергии ЭИУ представляет собой оригинальную электротехническую конструкцию. Он представляет собой уникальный высокопроизводительный агрегат для устройства свай повышенной несущей способности, а также цементации оснований. Устройство, не имея аналогов за рубежом, нашло в геотехническом строительстве широкое применение при возведении свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) в свайных полях, ограждении котлованов, цементации оснований и т. д.

Ключевые слова: энергоемкость, шаговое напряжение, блок синхронизации, буроинъекционная свая, электро-гидравлический удар, электроразрядная технология, свая ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ), подпятник.

ELECTRIC PULSE PILE DRIVING UNIT EDT (RIT, FORST, ERST)

Abstract: the developed electric pulse unit (EPU) offers a unique and innovative technical solution for use in the installation of bored-injection piles (EDT piles). The EPU allows for the production of EDT piles (RIT, FORST, ERST) with increased load-bearing capacity. Thanks to the presence of a high-energy capacitive storage device with a commutator connected to the discharger of the accumulated energy emitter, the EPU represents a unique electrical design. It is a unique,

high-performance unit for installing high-bearing-capacity piles and grouting foundations. Having no equivalent abroad, the device has found widespread use in geotechnical construction for installing EDT (RIT, FORST, ERST) piles in pile fields, enclosing excavations, grouting foundations, etc.

Key words: *energy capacity, step voltage, synchronization unit, bored injection pile, electro-hydraulic impact, electric discharge technology, EDT pile (RIT, FORST, ERST), heel.*

Введение

Обеспечение надежной эксплуатации подземной части зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях, является весьма актуальной задачей современного геотехнического строительства. В таких нестандартных условиях строительства наиболее приемлемыми заглубленными конструкциями являются буровые сваи, устраиваемые существующими в настоящее время геотехническими технологиями. Разработанная авторами статьи технология устройства буроинъекционных свай [1] широко внедрена в практику возведения подземных сооружений и искусственных оснований для объектов промышленного и гражданского назначения.

Материал и методы исследований

Рассматриваемое техническое решение, являясь уникальным для заглубленных сооружений, обеспечивает задачу создания условий безопасной и надежной эксплуатации свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) при использовании электроимпульсной установки.

Основным достижением разработанного устройства является повышение надежности работы устройства и электробезопасности во время работ по устройству буроинъекционных свай в свайных полях, ограждений котлованов, грунтовых анкеров, а также при цементации оснований. При его работе производится уменьшение рабочего напряжения накопителя для включения в действие излучателя разрядно-импульсной установки.

Возможностью для достижения такого результата является наличие в устройстве разрядной электроимпульсной установки. В ее составе имеется высокоэнергетический емкостный накопитель с коммутатором. Он подключен к разряднику. Дополнительный инициирующий электрод дислоцирован в разряднике и подсоединен через другой коммутатор к маломощному высоковольтному

источнику. Оба аппарата соединены последовательно через блок синхронизации. Устройство выполнено с возможностью одновременного срабатывания коммутаторов. Емкостный накопитель электроимпульсной установки изготовлен в низковольтном исполнении и присоединен с помощью низковольтного кабеля к излучателю.

Результаты и проблематика

Алгоритм функционирования электроимпульсной установки представляет собой следующую технологическую последовательность (см. рис. 1).

В предварительно изготовленную буровую скважину 1 заполняют мелкозернистым бетоном 2 и смонтированным армокаркасом погружается излучатель 3 с питающим низковольтным кабелем 7. Он подсоединен к емкостному накопителю энергии 5 разрядно-импульсной установки (РИУ).

Накопитель электрической энергии 5 заряжается до низкого напряжения порядка до 1000 В энергомостью около 20–50 кДж. В то же время производится зарядка маломощного высоковольтного источника 9 до напряжения 5–15 кВ от зарядно-выпрямительного устройства 8.

Далее осуществляется подача серии синхронных импульсов накопителей 5 и 9 через кабели 7 и 12 коммутаторы 6 и 10 на разрядник 3 и дополнительный инициирующий электрод 13. Синхронность срабатывания коммутаторов 6 и 10 обеспечивается за счет блока синхронизации 11. Производится серия низковольтных разрядов основного емкостного накопителя энергии 5 посредством при помощи пробоя инициирующего разряда емкостного накопителя 9 через электрод 13 в области формирования электрического разряда 14 разрядника 3. При этом только одновременная подача серии импульсов от накопителей 5 и 9 в разрядник 3 приводит к пробою разрядного промежутка. Это способствует появлению электрогидравлических ударов, которые оказывают воздействие на мелкозернистый бетон 2 и грунта стенок буровой скважины 1, увеличивая ее диаметр, уплотняя твердеющий материал 2 и образуя часть свай 15.

При подаче низкого напряжения, каким считают напряжение в диапазоне до 1000 В¹ [8; 9], на разрядник 3 электрического пробоя не произойдет, так как величины напряжения недостаточны для перекрытия промежутка даже при наличии квазипроводящей среды между электродами разрядника в виде «загрязнения» [1; 2].

Разработанная электроимпульсная установка (ЭИУ) широко используется при устройстве буроинъекционных свай. Особенно она эффективна для случая геотехнического строительства в стесненных условиях [3–7].

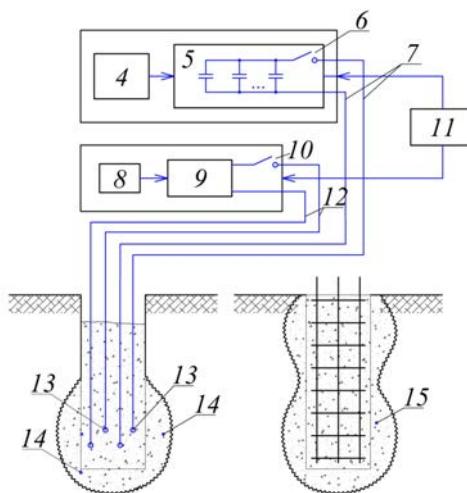


Рис. 1. Электроимпульсная установка
для изготовления набивной сваи

С помощью ЭИУ возможно создание буроинъекционной сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) повышенной несущей способности F_d .

Ниже приведен алгоритм определения F_d (см. табл. 1 и рис. 2).

Определение несущей способности свай с многоместными уширениями отличается от существующих (независимо от типов свай). Например, в СП 24.1330.2021 при определении несущей способности F_d висячих свай принимается, что включение грунта в совместную работу со сваей под нижним концом и по боковой поверхности свай проявляется одновременно.

По предлагаемому методу несущая способность свай с несколькими «подпятниками» реализовывается последовательно.

Сначала включается боковая поверхность свай над первым «подпятником», далее реализуется несущая способность основания «подпятника».

Затем боковая поверхность на следующем «подпятнике», который сразу же включается в работу и т. д. вплоть до самого последнего «подпятника».

Приведем алгоритм определения несущей способности свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с многоместными уширениями.

1. По инженерно-геологическому разрезу определяются длина сваи, отметки для устройства «подпятников» и диаметры уширений D_{ku} (см. рис. 2).

Таблица 1

		№ ИН	ЭГИ	Толщина слоев, м	$\gamma_l, \text{кН/м}^3$	c_l, kPa	$I_{l, ge}$	$h_i, \text{м}$	$z_i, \text{м}$	f_i, kPa	$f_i h_i, \text{кН/м}$
1	Суглинок	4,5	18,0	11,0	0,6	$\varphi_l, \text{град.}$	2,0	3,0	12	36,0	
2							2,5	5,3	16	40,0	
3	Пески мелкие средней плотности	4,6	6,9	-	0,3	$E_b, \text{МПа}$	2,0	7,5	43	86,0	
							2,6	9,8	46	120,0	
		18,6	-	29,0	-	$\varphi_l, \text{град.}$	2,0	12,1	48	96,0	
							2,0	14,1	50	100,0	
		26,0	-				1,9	16,0	51	97,0	

2. Вычисляется несущая способность сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) по боковой поверхности:

$$F_d = \gamma_c u \sum_{i=1}^u \gamma_{cf} f_i h_i, \quad (1)$$

где f_i – расчетное сопротивление по боковой поверхности; h_i – толщина i -го слоя; γ_c и γ_{cf} – соответственно коэффициенты условий работы СП 24.13330.2021.

3. На отметке каждого уширения определяется внешняя вертикальная сжимающая нагрузка:

$$N_{vi} = N - \sum_{i=0}^{di} f_i h_i - F_{ui}. \quad (2)$$

и внешний момент при эксцентричности e_r , угол наклона равнодействующей δ , коэффициенты $N_y; N_q; N_c$ в зависимости от φ_l и δ .

4. Вертикальная составляющая силы предельного сопротивления суммируется с силой сопротивления по боковой поверхности. Таким образом, несущая способность сваи на каждой отметке заложения «подпятника» определяется по формуле.

$$F_{di} = \gamma_c u \sum_0^{d_i^0} \gamma_{cf} f_i h_i + F_{ui}. \quad (3)$$

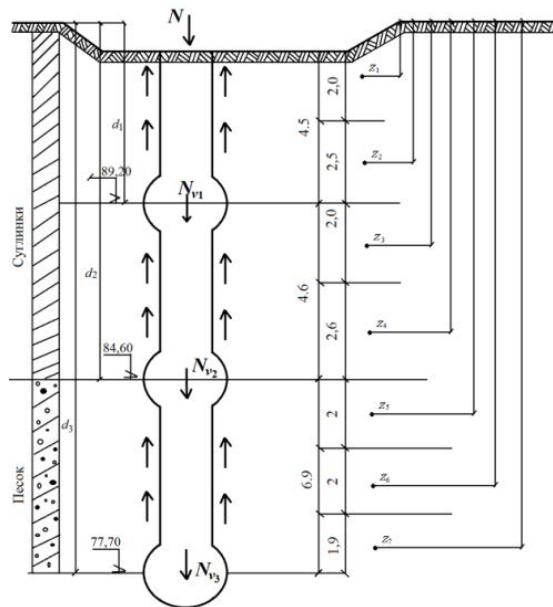


Рис. 2. Схема вертикальной привязки «подпятников» F_d для определения несущей способности по грунту

5. В качестве расчетной несущей способности сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) принимается минимальное значение F_{di} .

Заключение

Впервые разработанная электроимпульсная установка широко внедрена в геотехническую практику при устройстве буроинъекционных свай в свайных полях, ограждений котлованов, грунтовых анкеров, а также при цементации грунтовых оснований. Ее использование позволяет существенно облегчить работы в геотехниче-

ском строительстве, а также расширяет возможности освоения территорий считавшихся ранее непригодными для строительства.

Список литературы

1. Пат. 2250958 Российской Федерации, МПК Е02D 5/34. Устройство для изготавления набивной сваи / Н. С. Соколов, В. Ю. Таврин, В. А. Абрамушкин; патентообладатель ООО «Научно-производственная фирма «ФОРСТ». – № 2003121752/03; заявл. 14.07.2003; опубл. 27.04.2005, Бюл. № 12. – 3 с.
2. Пат. 2282936 Российской Федерации, МПК H03K 3/53. Генератор импульсных токов / Ю. П. Пичугин, Н. С. Соколов; патентообладатель ООО «Научно-производственная фирма «ФОРСТ». – № 2005102864; заявл. 04.02.2005; опубл. 27.08.2006, Бюл. № 24. – 4 с.
3. Соколов, Н. С. Об одном методе расчета несущей способности буроинъекционных свай-ЭРТ / Н. С. Соколов, В. М. Рябинов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2015. – № 1. – С. 10–13.
4. Соколов, Н. С. Об эффективности устройства буроинъекционных свай с многоместными уширениями с использованием электроразрядной технологии / Н. С. Соколов, В. М. Рябинов // Геотехника. – 2016. – № 2. – С. 28–34.
5. Соколов, Н. С. Метод расчета несущей способности буроинъекционных свай-РИТ с учетом «под пятников» / Н. С. Соколов // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы VIII всероссийской (II Международной) конференции НАСКР-2014 (Чебоксары, 20–21 ноября 2014 г.). – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014. – С. 407–411.
6. Соколов, Н. С. Мелкозернистый бетон как конструкционный строительный материал буроинъекционных свай ЭРТ / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Строительные материалы. – 2017. – № 5. – С. 16–20.
7. Буроинъекционная свая ЭРТ как заглубленная железобетонная конструкция / Н. С. Соколов, С. С. Викторова, Г. М. Смирнова, И. П. Федосеева // Строительные материалы. – 2017. – № 9.
8. Разевич, Д. В. Техника высоких напряжений / Д. В. Разевич. – 2-е изд. – Москва: Энергия, 1976. – 69 с.
9. Фрюнгель, Ф. Импульсная техника. Генерирование и применение разрядов, конденсаторов / Ф. Фрюнгель. – Москва: Энергия, 1965. – 488 с.

Соколов Николай Сергеевич – заведующий кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», кандидат технических наук, доцент, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, директор ООО НПФ «ФОРСТ», г. Чебоксары, Россия. ns_sokolov@mail.ru, forstnfpf@mail.ru

Nikolay S. Sokolov – head of the department of «Construction technologies, geotechnics and construction economics», PhD, associate professor, Chuvash State University, Director of NPF “FORST” LLC, Cheboksary, Russia. ns_sokolov@mail.ru, forstnfpf@mail.ru

УДК 624.154

ГЕОТЕХНИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА ВОЗВЕДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

H.C. Соколов

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

C.C. Викторова

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

O.P. Терехова

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

I.P. Федосеева

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

C.H. Соколов

ООО «Строитель Форст»
г. Чебоксары, Россия

A.H. Соколов

ООО НПФ «ФОРСТ»
г. Чебоксары, Россия

Аннотация: проблемы строительства в стесненных условиях действующих промышленных предприятий является важной геотехнической задачей, требующей от инженеров-строителей, особенно от специалистов геотехников специфического подхода. При этом наличие слабых инженерно-геологических элементов существенно усугубляет проведение геотехнических работ. Любое промышленное предприятие проводит обновление собственного производства, связанное с введением новых технологических линий или возведение дополнительных объектов. Использование буронабивных и буроинъекционных свай с совместным применением грунтовых анкеров устраиваемых с использованием не-

стандартных физических процессов в большинстве случаях успешно решает многие сложные и нетипичные геотехнические проблемы. Рассматриваемая статья является обзорной.

Ключевые слова: геотехническое строительство, электро-гидравлика, монолитный железобетонный ростверк, буронабивные сваи, особо стесненные геотехнические условия, грунтовые анкера ЭРТ.

GEOTECHNICAL PRACTICE OF CONSTRUCTION OF FACILITIES IN CONSTRAINED CONDITIONS

Abstract: the problems of construction in the cramped conditions of operating industrial enterprises are an important geotechnical task, requiring a specific approach from civil engineers, especially from geotechnical specialists. At the same time, the presence of weak engineering-geological elements significantly complicates the implementation of geotechnical works. Any industrial enterprise carries out an update of its own production, associated with the introduction of new technological lines or the construction of additional facilities. The use of bored and bored-injected piles with the combined use of soil anchors arranged using non-standard physical processes in most cases successfully solves many complex and atypical geotechnical problems. The article under consideration is a review.

Keywords: geotechnical engineering, electrohydraulics, monolithic reinforced concrete grillage, bored piles, particularly constrained geotechnical conditions, EDT ground anchors.

Введение

Строительство заглубленных объектов в особо стесненных условиях действующего промышленного производства требует от инженеров-геотехников [1–10] специфического подхода, которые должны проявить изобретательность и смекалку в использовании современных геотехнических технологий, обеспечивающих безопасную эксплуатацию объектов существующей застройки как во время строительства так и за время эксплуатации вновь возведенного здания или сооружения [11–15].

Материал и методы исследований

Рабочая документация «Комплекс по приему, хранению и отгрузке цемента, выполненный ООО «ПКФ» Технострой в 2016 г. предполагает возведение заглубленного инженерного сооружения

глубиной 8,0 м от уровня существующего рельефы в особо стесненных условиях промышленного производства железобетонных конструкций и изделий для объектов капитального строительства. Строительство заглубленного склада осуществляется на территории завода железобетонных конструкций ЖБК-1 по Лапсарскому проезду, 19 в гор. Чебоксары. На рис. 1 приведен план участка строительства, где в непосредственной близости от строительного котлована имеются с надземные силосные башни, цементный склад, существующая железнодорожная ветка, бетоносмесительный узел и другие строения.

Категория сложности инженерно-геологических изысканий согласно Техническому отчету, выполненный ООО «Изыскатель» в 2020 г., дог. №3064 ИГИ от 11.06.2020г. – вторая, установлено по совокупности факторов, оказывающих максимальное влияние на объемы и стоимость инженерных изысканий согласно приложения Г СП 47.13330.2016 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». II уровень». По геоморфологическому фактору участок изысканий находится в пределах одного геоморфологического элемента – I категория сложности, по геологическому фактору выделено не более четырех литологических слоев – II категория, по гидрогеологическому фактору выделен один выдержаный горизонт подземных вод – I категория, специфические грунты имеют ограниченное распространение и не оказывают существенного влияния на выбор проектных решений – II категория, опасные геологические и инженерно-геологические процессы имеют ограниченное распространение и не оказывают существенного влияния на выбор проектных решений – II категория; техногенные воздействия не оказывают существенного влияния на выбор проектных решений и проведений инженерно-геологических изысканий – II категория.

В инженерно-геологическом строении исследованного участка в процессе буровых, опытных и лабораторных исследований до разведенной глубины 10,2 м выделены (сверху-вниз): почвенно-растительный слой (pQ_{IV}), современные образования (tQ_{IV}) техногенный грунт, современные делювиальные образования (dQ_{IV}), верхнечетвертичные образования проблематичного генезиса (prQ_{III}), среднечетвертичные элювиально-делювиальные отложения (edQ_{II}) и

коренные отложения пермского возраста (P_3t), прикрыты сверху почвенно-растительным слоем мощностью до 0,4 м.

На период проведенных инженерно-геологических изысканий (июнь 2020 г.) исследуемый участок характеризуется наличием одного уровня подземных вод в пределах глубины бурения (8,0 м). Глубина установившегося уровня подземных вод от поверхности земли изменяется от 2,0 м до 4,1 м. Отметка установившегося уровня воды на исследуемой площадке составляет 182,67 – 184,94 м.

Водовмещающими грунтами являются лесовые верхнечетвертичные суглинки (ИГЭ №3). Водоупором являются нижележащие верхнепермские твердые глины (ИГЭ №5). Питание горизонта осуществляется преимущественно путем инфильтрации атмосферных осадков. Разгрузка осуществляется в долину р. Шалмас.

По химическому составу вода пресная, гидрокарбонатная магниево-кальциевая, жесткая, нейтральной реакции (6,20–7,20 мг/дм³) по pH, неагрессивные по агрессивной углекислоте к бетону нормальной проницаемости (W4) и среднеагрессивные к металлическим конструкциям.

При экстремальных природных ситуациях (обильные дожди, снеготаяние), а также при возможных утечках из водонесущих коммуникаций, возможно повышение уровня грунтовых вод на 1,0–1,5 м (184,17–186,44 м) и/или образование верховодки.

По условиям формирования и характеру распространения подземных вод участок изысканий относится к району II – Б1 потенциально подтопляемые в результате техногенных воздействий (согласно СП 11–105-97 «Часть 1. Инженерно-геологические изыскания», ч. II, приложению «И»).

Результаты и проблематика

Учитывая все вышеприведенные обстоятельства, включая инженерно-геологические и гидрогеологические условия, также наличие строений в непосредственной близости от строительного котлована в качестве наиболее оптимального варианта ограждения строительного котлована приняты буронабивные сваи диаметром 630,0 мм раскрепленные грунтовыми анкерами ЭРТ на двух уровнях. При этом буронабивные сваи приняты по схеме бурокасательных, объединенных поверху их монолитным железобетонным обвязочным поясом (см. рис. 3–5).

Ниже на рис. 1, 2 приведены схема вертикальной привязки заглубленных удерживающих конструкций строительного котлована, схема вертикальной привязки заглубленных удерживающих конструкций строительного котлована с указанием размещенного технологического оборудования.

План анкеров 1 яруса

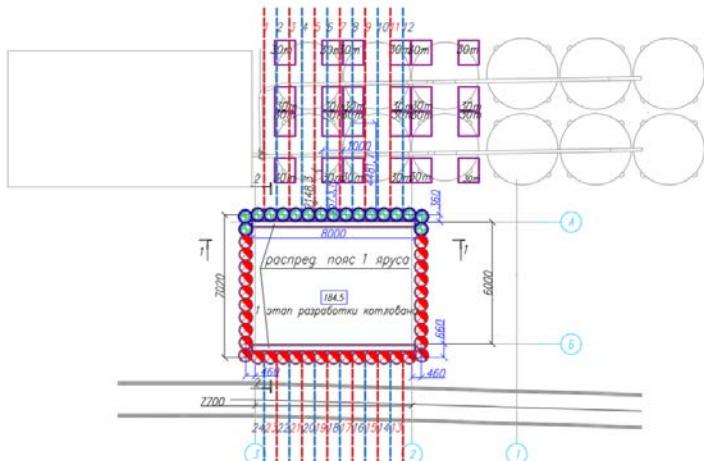


Рис. 1. План расстановки заглубленных удерживающих конструкций строительного котлована

2-2

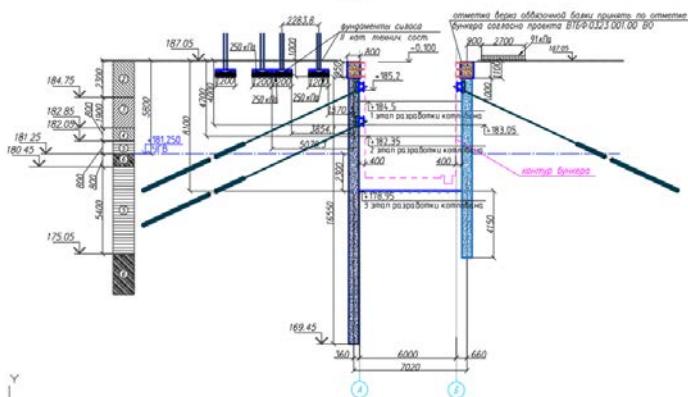


Рис. 2. Схема вертикальной привязки заглубленных удерживающих конструкций строительного котлована

Заключение

В общем итоге соблюдение последовательности устройства ограждения строительного котлована с использованием буровкаательных буронабивных свай диаметром 630,0 *мм* и грунтовых анкеров ЭРТ позволило устроить надежную подпорную стенку, обеспечивающую надежную эксплуатацию объектов существующей застройки.

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. – Санкт-Петербург: Геореконструкция, 2010. – 551 с.
3. Deformations of the Retaining Structures Upon Deep Excavations in Moscow / V. A. Ilichev, P. A. Konovalov, N. S. Nikiforova [et al.] // Proceedings of Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering (New York, April 13–17, 2004). – 2004. – Р. 5–24.
4. Ilichev, V. A. Computing the evaluation of deformations of the buildings located near deep foundation tranches / V. A. Ilichev, N. S. Nikiforova, E. B. Koreneva // Proceedings of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering “Geotechnical Engineering in urban Environments” (Madrid, Spain, 24–27 September 2007). – 2007. – Vol. 2. – Р. 581–585.
5. Ильичев, В. А. Прогноз изменения температурного состояния основания здания в условиях потепления климата / В. А. Ильичев, Н. С. Никифорова, А. В. Коннов // Жилищное строительство. – 2021. – № 6. – С. 18–24. DOI 10.31659/0044-4472-2021-6-18-24
6. Nikiforova, N. S. Geotechnical cut-off diaphragms for built-up area protection in urban underground development / N. S. Nikiforova, D. A. Vnukov // Proceedings of the 7th International Symposium “Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground” (Rome, 16–18 May, 2011). – 2011. – No. 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 // Proceedings of International Geotechnical Conference dedicated to the Year of Russia in Kazakhstan (Almaty, 23–25 September 2004). – 2004. – Р. 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). – 2003.
9. Тер-Мартиросян, З. Г. Взаимодействие щебеночной сваи с окружающим грунтом и ростверком / З. Г. Тер-Мартиросян, А. З. Тер-Мартиросян, Г. О. Анжело // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2019. – № 3. – С. 2–6.
10. Pivar, J. Stone columns – determination of the soil improvement factor / J. Pivar // Slovak Journal of Civil Engineering. – 2011. – Vol. XIX. No. 3. – Р. 17–21.

11. Соколов, Н. С. Технологические приемы устройства буроинъекционных свай с многоместными уширениями / Н. С. Соколов // Жилищное строительство. – 2016. – № 10. – С. 54–57.
12. Sokolov, N. S. Method of aligning the lurches of objects with large-sized foundations and increased loads on them / N. S. Sokolov, S. S. Viktorova // Periodico Tche Quimica. – 2018. – Vol. 15/ Special Issue 1. – P. 1–11.
13. 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.
14. Соколов, Н. С. Отрицательный опыт геотехнических расчетов и устройства удерживающих заглубленных конструкций / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Жилищное строительство. – 2023. – № 5. – С. 42–46.
15. Соколов, Н. С. Технология устройства монолитного железобетонного ростверка в стесненных условиях функционирующего объекта / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Строительные материалы. – 2023. – № 7. – С. 12–16.

Соколов Николай Сергеевич – заведующий кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», кандидат технических наук, доцент, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, директор ООО НПФ «ФОРСТ», г. Чебоксары, Россия. ns_sokolov@mail.ru, forstnfp@mail.ru

Викторова Светлана Станиславовна – старший преподаватель кафедры «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г.Чебоксары, Россия. lark102@rambler.ru

Терехова Ольга Павловна – доцент кафедры «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г.Чебоксары, Россия. top0707@mail.ru

Федосеева Ирина Петровна – старший преподаватель кафедры «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г.Чебоксары, Россия. sf1279@mail.ru

Соколов Сергей Николаевич – директор ООО «Строитель Форст», г. Чебоксары, Россия. forstnfp@mail.ru, sergeysnforst@mail.ru

Соколов Андрей Николаевич – директор по строительству ООО НПФ «ФОРСТ», г. Чебоксары, Россия. forstnfp@mail.ru

Nikolay S. Sokolov – head of the department of «Construction technologies, geotechnics and construction economics», PhD, associate professor, Chuvash State University, Director of NPF “FORST” LLC, Cheboksary, Russia. ns_sokolov@mail.ru, forstnlpf@mail.ru

Viktorova Svetlana Stanislavovna – senior lecturer of the department of “Construction technologies, geotechnics and construction economics”, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. lark102@rambler.ru

Terekhova Olga Pavlovna – associate professor of “Construction technologies, geotechnics and construction economics”, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. top0707@mail.ru

Fedoseeva Irina Petrovna – senior lecturer of the department of “Construction technologies, geotechnics and construction economics”, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. sf1279@mail.ru

Sokolov Sergey Nikolaevich – director of “Stroitel Forst” LLC, Cheboksary, Russia. forstnlpf@mail.ru, sergeysnforst@mail.ru

Sokolov Andrey Nikolaevich – director of construction NPF “FORST” LLC, Cheboksary, Russia. forstnlpf@mail.ru

УДК 621.6.072

ОШИБКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ВОЗВЕДЕНИИ ЗАГЛУБЛЕННЫХ УДЕРЖИВАЮЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Н.С. Соколов

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

П.Ю. Федоров

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

Р.А. Сметанкин

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

Аннотация: строительство объектов в особо стесненных условиях городской застройки требует специфического подхода от проектировщиков, геотехников и строителей. Здания и сооружения, попадающие в зону геотехнического влияния, должны быть надежно защищены специальными геотехническими заглубленными конструкциями от возможных деформаций их или частей, как следствие возведения объекта нового строительства. Также обязательны, согласно актуальным нормативным документам, организация и проведение геотехнического мониторинга деформаций. В рассматриваемой статье приводится один из геотехнических случаев, когда пренебрежение закономерностями геотехники приводят к нежелательным сверхнормативным деформациям объекта окружающей застройки.

Ключевые слова: осадочная марка, деформации, противофильтрационная завеса, подземные воды, усиление оснований, грунтоцементные сваи, уровень подземных вод (УПВ).

ERRORS IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF RESCUED RETAINING BUILDING STRUCTURES

Abstract: construction of facilities in particularly constrained urban environments requires a specific approach from designers, geotechnical engineers, and builders. Buildings and structures within the geotechnical influence zone must be reliably protected by special geotechnical buried structures against possible deformations or parts, as a consequence of the construction of a new building. Also mandatory, according to current regulatory documents, is the organization and implementation of geotechnical monitoring of deformations. This article presents one such geotechnical case, when disregard for geotechnical principles leads to undesirable, excessive deformations of the surrounding building.

Keywords: sedimentary mark, deformations, anti-seepage curtain, groundwater, foundation strengthening, soil-cement piles, groundwater level (GWL).

Введение

Строительство нового объекта в стесненных и особо стесненных условиях в исторических районах плотной городской застройки требует специального геотехнического подхода [1–7]. Любое неправильно принятое техническое решение может усугубить

бить состояние здания, находящегося в зоне геотехнического влияния [1–15].

Материал и методы исследований

В статье приводится отрицательный опыт геотехнического строительства, приведший к сверхнормативным деформациям объекта ОКН.

Рассматриваемое двухэтажное бескаркасное здание является объектом культурного наследия – памятником градостроительства и архитектуры регионального значения. Инженерно-геологическое строение площадки строительства восьмиэтажного офисного здания определено по двум техническим отчетам по результатам инженерно-геологических изысканий. Согласно исследованиям изыскателей выделены следующие шесть инженерно-геологических элементов – ИГЭ: ИГЭ №1 – насыпной грунт; ИГЭ №2 – суглинок слабопросадочный, полутвердый с прослойями твердого и тугопластичного; ИГЭ №3 – суглинок мягкопластичный, с прослойями текучепластичного, непросадочный; ИГЭ №4 – суглинок тугопластичный, с прослойями полутвердого, непросадочный; ИГЭ №5 – глина полутвердая, с прослойями твердой и тугопластичной; ИГЭ №6 – песок полимиктовый, пылеватый, с прослойями мелкого. Ниже на рис. 2 приведены напластования инженерно-геологических элементов.

Застраиваемый объект нового строительства представляет собой восьмиэтажное каркасное здание с монолитными железобетонными колоннами и перекрытиями, с двухэтажными подземными этажами с глубиной строительного котлована 11,0 м.

Строительство предполагается осуществлять в особо стесненных условиях городской застройки с наличием в зоне геотехнического влияния трех объектов культурного наследия. В наиболее уязвимом состоянии расположено двухэтажное бескаркасное здание, включенное в государственный реестр объектов культурного наследия регионального значения. Ниже на рис. 1 для наглядности приведена выкопировка из генплана строительства восьмиэтажного объекта общественного назначения.

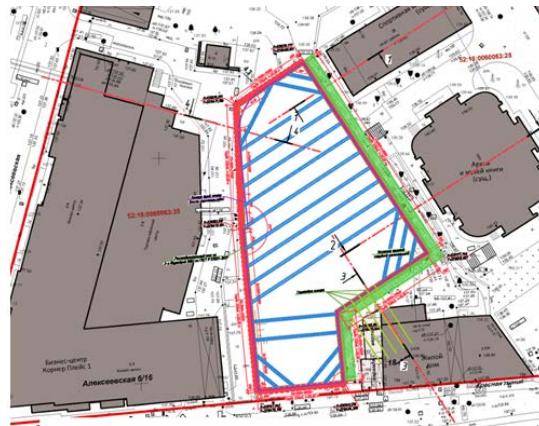


Рис. 1. Выкопировка из генплана строительства восьмиэтажного каркасного здания

Результаты и проблематика

При детальном изучении инженерно-геологического разреза основания обнаружено наличие уровня подземных вод на глубине от поверхности 6,0 метров и ИГЭ-6, т. е. фильтрационный поток размещен в полимиктовых, пылеватых песках. При этом отметка зеркала подземных вод находится на 5,0 метра выше отметки дна котлована (см. рис. 2).

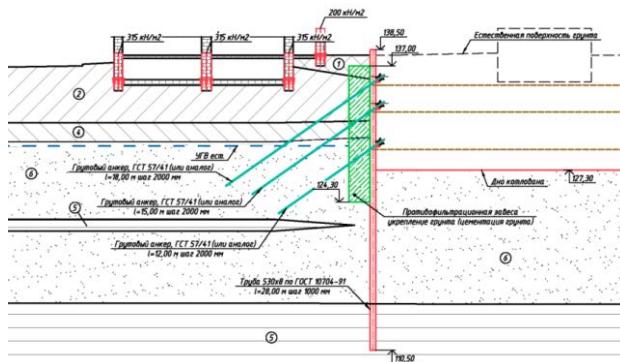


Рис. 2. Вертикальная привязка заглубленных строительных конструкций ограждения строительного котлована вблизи двухэтажного бескаркасного объекта ОКН регионального назначения

Проектной организацией было принято техническое решение по обеспечению устойчивости ограждения котлована. На рис. 4 приведена схема открытого строительного котлована глубиной 11,0 м вблизи двухэтажного здания ОКН (поз.1) с ограждением из стальных труб, заполненных бетоном (поз. 2), стальных горизонтальных распорок (поз. 3), стоек из стальных труб, заполненных бетоном (поз. 4), стальных распределительных поясов из швеллеров (поз. 5), стальных раскосов (поз. 6).

Необходимо отметить, что одним из основных требований инженеров-проектировщиков, разработчиков проектной документации особо выделено как обязательное ниже следующее условие: «*при выполнении работ по строительству здания следует вести геотехнический мониторинг деформаций зданий окружающей застройки в соответствии с требованиями (свод правил СП 22.13330.2016). При наблюдении в ходе мониторинга исследуемого здания деформаций оснований фундаментов свыше нормативных значений работы по возведению здания следует остановить до выяснения причин их вызвавших*».

С учетом требований проектировщиков заказчик попросил нас, специалистов кафедры строительных технологий, геотехники и экономики строительства Чувашского государственного университета заниматься обследованием технического состояния, разработкой рекомендаций по мероприятиям обеспечения объекта в условиях нового строительства и затем геотехническим мониторингом деформаций проблемного объекта ОКН, размещенного в зоне геотехнического влияния, а именно на расстоянии пяти метров от края котлована (см. рис. 4).

В результате технического обследования строительных конструкций объекта выявлены многочисленные деформационные трещины как внутри здания, так и на фасадах (см. рис. 3). Техническое состояние объекта согласно требований свода правил СП 22.13330.2016 Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений» оценивается как «ограниченно работоспособное». Благодаря этому обстоятельству частота геотехнического мониторинга назначена с еженедельным выездом на проблемный объект.

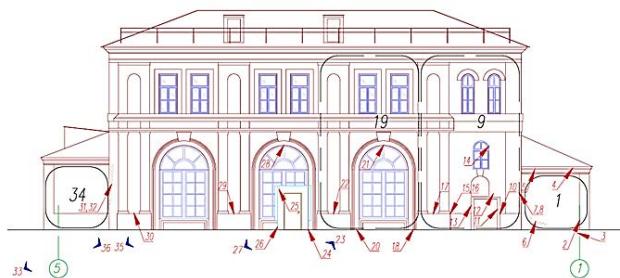


Рис. 3. Главный фасад двухэтажного объекта культурного наследия регионального значения с указанием характерных деформационных трещин (указаны места и размеры в мм)

Начало инженерных работ по геотехническому мониторингу совпало с началом геотехнических работ по устройству ограждения котлована. В рабочем проекте предусмотрено устройство ограждения котлована с использованием стальных труб. В нем также разработаны мероприятия связанные с устройством противофильтрационной завесы во избежание попадания подземных вод в случае открытия котлована на проектную отметку. Но в рабочем проекте была допущена **грубейшая ошибка**. Противофильтрационная стенка разработана по геотехнической технологии устройства грунтоцементных свай (GET 1) диаметром 600 мм. При этом сваи размещены в ленту в один ряд по буросекущейся схеме. При этом стенка выполнена по **несовершенной схеме**, что означает, что она не заделана в водонепроницаемый слой. В этом и заключается ошибка. Известно, что эффективность работы противофильтрационной стенки проявляется только при ее устройстве по **совершенной схеме**. При открытии котлована ниже отметки УПВ, вероятность попадания подземных вод в котлован очевидна, а при достижении проектной отметки дна котлована скорость вытекания воды увеличивается в разы под воздействием увеличенного гидравлического градиента напора. Это обстоятельство четко прослеживается на основе анализа графиков осадок деформационных марок M-4 и M-5 (см. рис. 5). С конца марта 2025 года скорости деформаций ускорились, то есть отметка котлована начала превышать отметку уровня подземных вод. При достижении проектной отметки дна котлована скорости деформации марок увеличились. Причиной этому стали суффозионные процессы в связи с разгрузкой фильтрационного потока в котлован.



Рис. 4. Схема открытого строительного котлована глубиной 11,0 м вблизи двухэтажного здания ОКН (поз.1) с ограждением из стальных труб, заполненных бетоном (поз. 2), распорок (поз. 3), стоек из стальных труб, заполненных бетоном (поз. 4), стальных распределительных поясов (поз. 5), стальных раскосов (поз. 6)

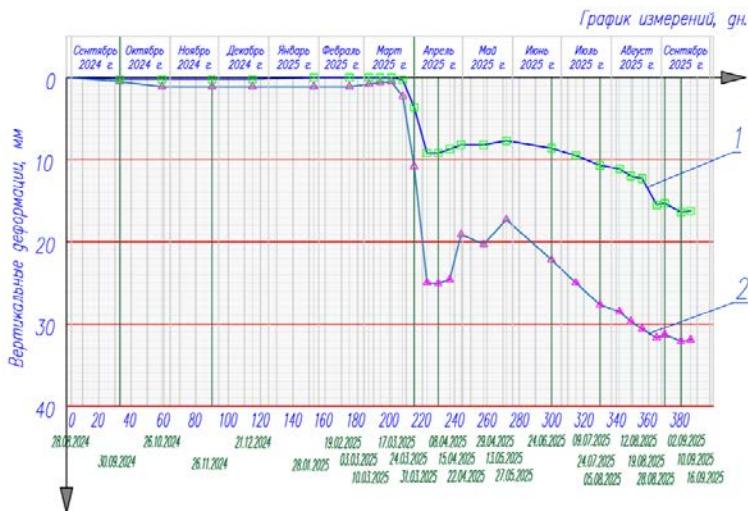


Рис. 5. Графики деформаций осадочных марок М-4 (поз. 1)
М-5 (поз. 2) двухэтажного бескаркасного объекта
культурного наследия (ОКН) регионального значения

Заключение

1. При строительстве объектов в особо стесненных условиях обязательно соблюдение геотехнических мероприятий, согласно требованиям нормативных документов, регламентирующих строительство объектов ниже нулевой отметки.

2. Особо следует обратить внимание проектировщикам, геотехникам, а также строителям на наличие уровней подземных вод в основании вновь возводимого объекта для целей разработки и осуществления специальных мероприятий по безаварийной эксплуатации объектов окружающей застройки в зоне влияния.

Список литературы

1. Анализ расчетных предпосылок геотехнического прогноза нового строительства на окружающую застройку / А. З. Тер-Мартиросян, В. П. Кивлюк, И. О. Исаев [и др.] // Жилищное строительство. – 2022. – № 9. – С. 57–66. DOI 10.31659/0044-4472-2022-9-57-66. EDN NVNUNI
2. Мангушев, Р. А. Технологические осадки зданий и сооружений в зоне влияния подземного строительства / Р. А. Мангушев, Н. С. Никифорова. – Москва: ACB, 2017. – 168 с.
3. Deformations of the Retaining Structures Upon Deep Excavations in Moscow / V. A. Ilichev, P. A. Konovalov, N. S. Nikiforova [et al.] // Proceedings of Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering (New York, April 13–17, 2004). – 2004. – P. 5–24.
4. Ilichev, V. A. Computing the evaluation of deformations of the buildings located near deep foundation tranches / V. A. Ilichev, N. S. Nikiforova, E. B. Koreneva // Proceedings of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering «Geotechnical Engineering in Urban Environments» (Madrid, Spain, September 24–27, 2007). – 2007. – Vol. 2. – P. 581–585.
5. Ильичев, В. А. Прогноз изменения температурного состояния основания здания в условиях потепления климата / В. А. Ильичев, Н. С. Никифорова, А. В. Коннов // Жилищное строительство. – 2021. – № 6. – С. 18–24. DOI 10.31659/0044-4472-2021-6-18-24. EDN ZKLMTB
6. Nikiforova, N. S. Geotechnical cut-off diaphragms for built-up area protection in urban underground development / N. S. Nikiforova, D. A. Vnukov // Proceedings of the 7th International Symposium «Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground» (Rome, Italy, May 16–18, 2011). – 2011. – No. 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 // Proceedings of International Geotechnical Conference dedicated to the Year of Russia in Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan, September 23–25, 2004). – 2004. – P. 338–342.
8. Соколов, Н. С. Практика строительства в особо стесненных условиях / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Жилищное строительство. – 2023. – № 9. – С. 41–47. DOI 10.31659/0044-4472-2023-9-41-47. EDN AZVVDS

9. Тер-Мартиросян, З. Г. Взаимодействие щебеночной сваи с окружающим грунтом и ростверком / З. Г. Тер-Мартиросян, А. З. Тер-Мартиросян, Г. О. Анжело // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2019. – № 3. – С. 2–6. – URL: <https://ofmg.ru/index.php/ofmg/article/view/6026> (дата обращения: 12.09.2025). EDN ZJHDYG
10. Pivar, J. Stone columns – determination of the soil improvement factor / J. Pivar // Slovak Journal of Civil Engineering. – 2011. – Vol. XIX. No. 3. – P. 17–21. <https://doi.org/10.2478/v10189-011-0014-z>.
11. Тер-Мартиросян, З. Г. Теоретические основы прогноза расширения диаметра лидирующей скважины щебеночной буронабивной сваи в водонасыщенном грунте / А. З. Тер-Мартиросян, Г. О. Анжело, М. Т. Чан // Жилищное строительство. – 2024. – № 9. – С. 14–21. DOI 10.31659/0044-4472-2024-9-14-21. EDN AQPQUV
12. Соколов, Н. С. Сваи повышенной несущей способности / Н. С. Соколов, С. С. Викторова, Т. Г. Федорова // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы VIII Всероссийской (II Международной) конференции (Чебоксары, 20–21 ноября 2014 года). – Чебоксары: Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, 2014. – С. 411–415. EDN UMNHMPD
13. 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. – Чебоксары: Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, 2014. – С. 415–420.
14. Соколов, Н. С. Мелкозернистый бетон как конструкционный строительный материал буроинъекционных свай ЭРТ / Н. С. Соколов, С. Н. Соколов, А. Н. Соколов // Строительные материалы. – 2017. – № 5. – С. 16–19. DOI 10.31659/0585-430X-2017-748-5-16-19. EDN YQGACB
15. Соколов, Н. С. Практика геотехнического строительства в стесненных условиях городской застройки / Н. С. Соколов // Строительные материалы. – 2025. – № 5. – С. 20–26. DOI 10.31659/0585-430X-2025-835-5-20-26

Соколов Николай Сергеевич – заведующий кафедрой «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», кандидат технических наук, доцент, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, директор ООО НПФ «ФОРСТ», г. Чебоксары, Россия. ns_sokolov@mail.ru, forstnfpf@mail.ru

Федоров Павел Юрьевич – старший преподаватель «Строительных технологий, геотехники и экономики строительства», Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова г. Чебоксары, Россия. pavel-fyodorov@mail.ru

Сметанкин Роман Андреевич – инженер, магистрант, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. smetankin-roma@mail.ru

Nikolay S. Sokolov – head of the department of «Construction technologies, geotechnics and construction economics», PhD, associate professor, Chuvash State University, Director of NPF “FORST” LLC, Cheboksary, Russia. ns_sokolov@mail.ru, forstnlpf@mail.ru

Pavel Y. Fedorov – senior teacher of “Construction technologies, geotechnics and construction economics”, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. pavel-fyodorov@mail.ru

Roman A. Smetankin – engineer, undergraduate, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. smetankin-roma@mail.ru

УДК 502.175:628.52(470.344-21)

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ
ПАРАМЕТРОВ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК ОТБОРА
ПРОБ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ**

В.А. Творогов

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

г. Чебоксары, Россия

А.Г. Варламов

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

г. Чебоксары, Россия

М.С. Тойлыбаев

Казахский национальный аграрный университет
г. Алматы, Республика Казахстан

Аннотация: исследования выполнены с целью определения параметров расположения точек отбора проб в системе вентиляции на одном из промышленных объектов Чувашской Республики с последующим заключением о соответствии их требованиям ГОСТ 17.2.4.06-90.

Ключевые слова: система вентиляции, ядро потока, ламинарный и турбулентный режимы течения, вторичное течение, зона отрыва, стационарный источник выбросов.

RESEARCH ON JUSTIFYING THE LOCATION PARAMETERS OF INDUSTRIAL EMISSIONS SAMPLING POINTS

Abstract: *the studies were conducted to determine the location parameters of the sampling points in the ventilation system at one of the industrial facilities in the Chuvash Republic, followed by a conclusion on their compliance with the requirements of GOST 17.2.4.06-90.*

Keywords: *ventilation system, flow core, laminar and turbulent flow regimes, secondary flow, separation zone, stationary emission source.*

Введение

Состояние окружающей среды ее качество, можно описать совокупностью показателей, состоящих из физических, химических и биологических параметров, которые в свою очередь зависят от многих факторов.

Поэтому экологический контроль за промышленными выбросами и охрана окружающей среды имеет важное народнохозяйственное значение.

Объектом исследования являются система вентиляции на производственной территории.

Цель работы – исследования по обоснованию параметров расположения точек отбора проб с последующим заключением о соответствии их требованиям ГОСТ 17.2.4.06-90.

Материал и методы исследований

В процессе работы проводились теоретические исследования движения газов в криволинейных каналах с использованием методов теоретической механики и механики жидкости и газов, практические исследования по определению режима движения воздуха в каналах, проведен подробный анализ документов, в которых регламентируются требования по установке отверстий для отбора проб в воздуховодах [1–8], исследованы местоположения существующих отверстий для отбора проб с целью определения соответствия требованиям нормативных документов и в частности ГОСТ 17.2.4.06-90, составлен основной вывод по работе с рекомендациями.

Вопросы, связанные улучшением экологического состояния путем снижения промышленных выбросов с применением технических устройств, а также повышения эффективности энергоза-

трат на создание оптимальных условий для обслуживающего персонала, нами рассмотрены в работах [9–21].

Результаты и проблематика

При движении газов, жидкости в криволинейных каналах возникают сложные динамические явления. Для объяснения процессов происходящих в коленах, осуществляющих поворот потока на 90° , рассмотрим течение газа по каналу постоянного круглого и прямоугольного сечений соответственно, рис. 1.

В связи с тем, что частицы движутся по криволинейным траекториям, наблюдается различие давлений на внешней (вогнутой) и внутренней (выпуклой) стенках канала. Под действием центробежной силы $F_c = mv^2/R$ ядро потока прижимается к внешней стенке, что приводит увеличению давления вдоль линии A–B в сравнении с давлением p_1 входящего потока, а вдоль линии $A_1–B_1$ – падает, (см. рис. 1). За поворотом давление на внутренней стенке возрастает, а на внешней падает и на некотором удалении от поворота выравнивается с давлением основного потока.

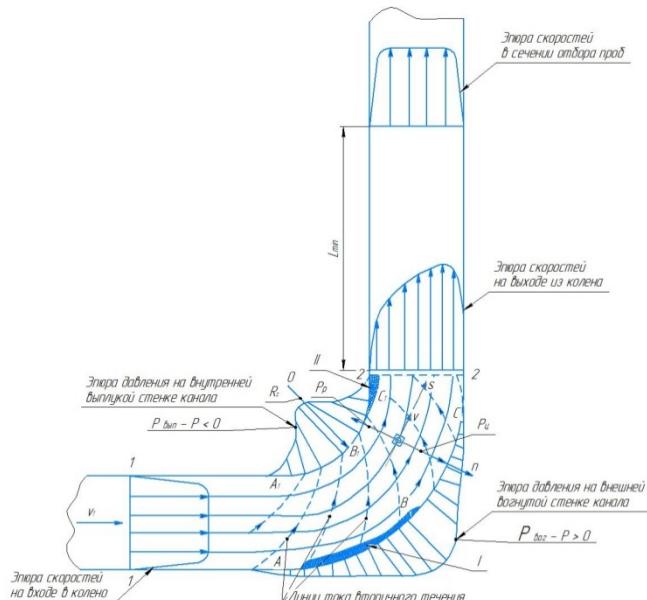


Рис. 1. Эпюры скоростей и давлений

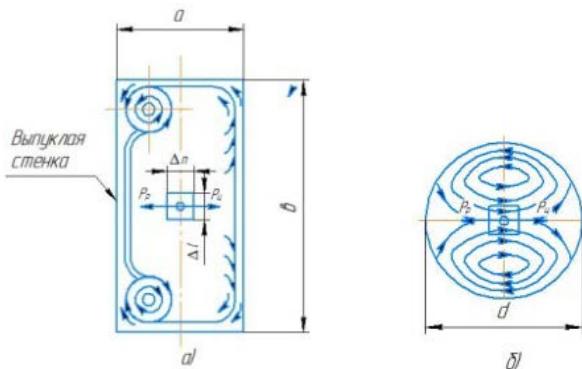


Рис. 2. Возможные линии тока вторичного течения:

- в прямоугольном отводе на 90° ИЗАВ №0010;
- в цилиндрическом отводе на 90° ИЗАВ №0009

Таким образом, в сечениях прямоугольного и цилиндрических отводов (криволинейного канала) возникает поперечный градиент давления.

Частицы газа, движущиеся в пограничном слое вдоль внешней поверхности на входе в криволинейную часть, находятся под действием положительного градиента давления. Они притормаживаются и оттесняются к ядру потока. По условию сплошности течения в ядре потока должно возникнуть встречное течение, направленное к внешней стенке. На внутренней стенке картина течения обратная. В результате в канале образуется вторичное вихревое течение, состоящее из двух потоков (см. рис. 2). Линии тока вторичного течения имеют симметрично-винтовой характер. Вдоль участков стенки А–В и В₁–С₁ течение диффузорное (с положительным градиентом давления), поэтому при определенных режимах течения здесь могут возникнуть зоны отрывы (зоны I и II на рис. 1). Отрыв на стенке А–В может быть локализован при дальнейшем конфузорном течении (с отрицательным градиентом давления) на участке В–С. Отрыв на участке В₁–С₁ имеет более значительную протяженность по потоку. Структура вторичного течения и вызываемая им дополнительная потеря энергии существенно зависит от формы канала и режима течения (чисел Re и M).

На рис. 2, для сравнения, приведены картины течения на участке поворота прямоугольного канала и цилиндрического канала.

Вторичное течение по вогнутой и выпуклой стенкам затруднено, так как в этом случае велики потери на трение. Такое перетекание оказывается возможным только в пограничном слое вдоль плоских стенок. В рассматриваемом случае вторичное течение вырождается в пару вихрей, врачающихся в противоположных направлениях. На вторичное течение затрачивается часть кинетической энергии потока.

В цилиндрических координатах, связанных с частицей, уравнение равновесия частицы для стационарного режима в проекциях на оси n (направлена по радиусу перпендикулярно вектору скорости потока) и s (по направлению совпадает с вектором скорости) рис.1 имеет вид:

$$\frac{v^2}{R_s} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} \quad \text{или} \quad \frac{\partial v}{R \partial \Theta} v = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{R \partial \Theta} \quad (1)$$

где v – скорость частицы, м/с;

R_s – радиус траектории движения частицы, м;

ρ – плотность потока газа, кг/м³;

$\frac{\partial p}{\partial n}$, $\frac{\partial v}{\partial \Theta}$, $\frac{\partial p}{\partial \Theta}$ – частные производные.

При составлении уравнения Бернулли в рассматриваемых сечениях учитываем, что энергия потока на входе в канал есть величина постоянная, поток потенциальный ($p = \text{const}$). В дифференциальной форме уравнение Бернулли будет иметь вид:

$$\frac{dp}{\rho} + \frac{dv^2}{2} = 0. \quad (2)$$

Когда радиусы кривизны линий тока всех точек в рассматриваемом сечении имеют один и тот же центр (частный случай) уравнение примет вид:

$$\frac{dn}{R_s} + \frac{dv}{v} = 0. \quad (3)$$

Т. е. $vR_s = \text{const}$.

С другой стороны, в направлении оси n равновесие частицы газа определяется равенством сил давления P_p и центробежной силы $P_{ц}$, что можно представить выражением:

$$\frac{\Delta p}{\Delta n} \Delta n \Delta l \Delta s = \rho \frac{v^2}{R_s} \Delta n \Delta l \Delta s, \quad (4)$$

где Δn – размер частицы по оси n (нормали), м;

Δs – размер частицы по оси s (касательной), м;

Δl – размер частицы по высоте канала, оси b (бинормали), м.

Для определения режима движения воздуха в каналах воспользуемся критерием подобия Рейнольдса:

$$Re = vd/\nu, \quad (5)$$

где v – скорость воздуха в трубопроводе, м/с;

d – диаметр трубопровода, м;

ν – кинематическая вязкость воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$.

Для расчетов используем данные протоколов испытаний табл. 1 и табл. 2.

К табличным данным добавим два столбца расчетными значениями числа Рейнольдса (Re) и толщины ламинарного пограничного слоя (δ_{nl}).

Таблица 1

Исходные данные для расчета (протокол испытаний № 1)

№ пп	Форма отвода	Размер сечения, м	Температура отходящих газов, °C	Скорость, м/с	Объемный расход, $\text{м}^3/\text{с}$	Число Рейнольдса, Re	$\delta_{nl},$ мм
1	Цилиндрическая на 90°	0,25	15	6,4	0,2975	108843	1,004
2	Прямоугольная на 90°	0,4	14	6,6	0,7884	181070	0,686

Полученные данные показывают, что число Рейнольдса во всех случаях больше критического числа $Re > 2300$, значит режим движения турбулентный. По расчетам наблюдается 3-й режим при $\delta_{nl} > \Delta$ и числах Рейнольдса $4000 < Re < 10 d/\Delta$.

Таблица 2

Исходные данные для расчета (протокол испытаний № 2)

№ пп	Форма отвода	Размер сечения, м	Температура отходящих газов, °C	Скорость, м/с	Объемный расход, $\text{м}^3/\text{с}$	Число Рейнольдса, Re	$\delta_{nl},$ мм
1	Цилиндрическая на 90°	0,25	13	6,9	0,3250	119294	0,926
2	Прямоугольная на 90°	0,4	13	6,7	0,8079	185339	0,672

Определим значение верхней границы третьего режима при коэффициенте шероховатости $\Delta = 0,02\text{мм}$. Тогда значение $10 d/\Delta = 10 \times 400/0,02 = 200000$ для прямоугольного отвода на 90° и $10 d/\Delta = 10 \times 250/0,02 = 125000$ для цилиндрического отвода на 90° .

Характеристика третьего режима – зоны гладкостенного сопротивления такова, что турбулентные потоки состоят из пограничного слоя и турбулентного ядра. Пограничный слой расположен непосредственно у стенок труб и состоит из тонкого слоя с ламинарным движением толщиной δ_{nl} , называемого ламинарной пленкой и переходного слоя. Толщина ламинарной пленки δ_{nl} определяется:

$$\delta_{nl} = 68,4R/Re^{0,875}, \quad (6)$$

где R – радиус потока.

Расчеты показывают, что с увеличением скорости движения с 6,4 м/с до 6,9 м/с в цилиндрическом отводе значение толщины ламинарного слоя уменьшается с 1,004 мм до 0,926 мм. Аналогичная картина происходит и в прямоугольном отводе при увеличении скорости движения 6,6 м/с до 6,7 м/с, толщина ламинарного слоя уменьшается с 0,686 мм до 0,672 мм.

При третьем режиме течения вихревые потоки вторичного течения еще слабы или не наблюдаются вовсе и величины зон отрыва (зоны I и II на рис. 1) незначительны, обладают небольшим влиянием на эпюры скоростей. Выравнивание значений скоростей по линиям тока потока воздуха завершается на расстоянии 2,5...3 De от сечения на выходе от поворота на 90° .

Таким образом, минимальное значение длины трубопровода после отвода на 90 град. $L_{min} = 3 De$ (рис.1), не противоречит требованиям ГОСТ 34060–2017 [8].

Заключение

Для понимания процессов происходящих при движении производственных выбросов в отводах на 90 град. круглого и прямоугольного сечений нами приведены теоретические исследования движения газов в криволинейных каналах.

Выполнены практические исследования по определению режима движения воздуха в каналах.

В ходе исследования нами получены и представлены материалы, опровергающие выводы, указанные в акте:

– по цилиндрическому отводу точка отбора проб соответствует требованиям ГОСТ 34060–2017 [8]. Требования пункта 2.2 ГОСТа 17.2.4.06-90 не распространяется, так как цилиндрический отвод, имеющий длину прямого участка $L = 10,62$ м с выходом на крышу, не имеет на этом участке дополнительных устройств (отводов, заслонок и т. п.);

– по прямоугольному отводу точка отбора проб соответствовало по проекту требованиям ГОСТ 34060–2017 до врезки трубопровода для местного отсоса. Для приведения в первоначальное состояние, предприятию, место подключения трубопровода местного отсоса устроить в горизонтальной части канала или устроить другое место отбора выше места врезки на расстоянии не менее 3D_e с устройством площадки для отбора проб.

Для безопасного отбора проб при общеобменной вентиляции рекомендуется использовать косвенные методы согласно «МР 4.3.0212-20. Методы контроля. Физические факторы. Контроль систем вентиляции. Методические рекомендации» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 04.12.2020).

Список литературы

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 26.12.2024).
2. Федеральный закон РФ «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 № 96-ФЗ.
3. Приказ Минприроды России «Об утверждении Порядка проведения инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, корректировки ее данных, документирования и хранения данных, полученных в результате проведения таких инвентаризаций и корректировки» от 19.11.2021 № 871.
4. Методические рекомендации по отбору проб при определении концентраций вредных веществ (газов и паров) в выбросах промышленных предприятий: ПНД Ф 12.1.1-99.
5. ГОСТ 17.2.4.06-90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения.
6. ГОСТ 33007-2014. Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Методы определения запыленности газовых потоков. Общие технические требования и методы контроля.
7. Методические указания по оборудованию мест отбора проб при экоаналитическом контроле промышленных выбросов в атмосферу (утверждены 30.09.2002 НИИ Атмосфера, ФГУ «ЦЭКА»).

8. ГОСТ 34060-2017. Испытание и наладка систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Правила проведения и контроль выполнения работ.
9. Творогов, В. А. Обоснование параметров секций озонатора для систем создания микроклимата / В. А. Творогов, А. В. Серебрянников, М. Ю. Федоров // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: материалы VIII Международной научно-технической конференции (Чебоксары, 22 ноября 2024 г.). – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, 2024. – С. 488–497. EDN XLFQAQI
10. Творогов, В. А. Совершенствование системы создания микроклимата в теплицах пятого поколения / В. А. Творогов, А. Г. Варламов, М. С. Тойлыбаев // Строительство и застройка: жизненный цикл – 2024: материалы VII Международной (XIII Всероссийской) конференции (Чебоксары, 20–21 ноября 2024 г.). – Чебоксары: Среда, 2024. – С. 205–212. EDN GXESAG
11. Творогов, В. А. К вопросу обоснования основных параметров озонатора в системах для создания микроклимата на фермах / В. А. Творогов // Строительство и застройка: жизненный цикл – 2022: материалы VI Международной (XII Всероссийской) конференции (Чебоксары, 23–24 ноября 2022 г.). – Чебоксары: Среда, 2022. – С. 274–278. EDN BWJYWE
12. Сметанин, В. А. Разработка озонатора воздуха для создания микроклимата на свиноводческих фермах / В. А. Сметанин, В. А. Творогов, В. В. Васильева // Молодежь и инновации: материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Чебоксары, 17–18 марта 2022 г.). – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2022. – С. 400–403. EDN MLNGZN
13. Васильева, В. В. Улучшение микроклимата на фермах / В. В. Васильева, А. Р. Котылева, В. А. Творогов // Инновационные технологии в инженерных системах: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 55-летию ЧГУ им. И. Н. Ульянова (Чебоксары, 28 апреля 2022 г.). – Чебоксары: Среда, 2022. – С. 59–64. EDN NZKEDD
14. Гордеев, А. В. Расчеты по определению параметров воздуховодов в лабораториях кафедры теплотехники и гидравлики / А. В. Гордеев, В. А. Творогов // Инновационные технологии в инженерных системах: сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции (Чебоксары, 23–24 апреля 2024 г.). – Чебоксары: Среда, 2024. – С. 20–25. EDN NQGIBM
15. Калашников, И. А. Анализ естественных систем вентиляции на животноводческих фермах / И. А. Калашников, М. А. И. Клопова, В. А. Творогов // Актуальные вопросы теории и практики в зоотехнии и ветеринарной медицине: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (Чебоксары, 30 мая 2024 г.). – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2024. – С. 204–209. EDN NAQBSA
16. Tvorogov, V. A. On the Issue of the Main Substantiating Parameters of the Ozonator in Systems to Create Microclimates in Farms / V. A. Tvorogov // Design, Construction, and Operation of Buildings and Structures. – Cambridge: Cambridge Scholars Publishing, 2024. – P. 374–380. EDN GVEKEW

17. Калашников, И. А. Естественные системы вентиляции на фермах / И. А. Калашников, М. А. Клопова, В. А. Творогов // Инновационные технологии в инженерных системах: сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции (Чебоксары, 23–24 апреля 2024 г.). – Чебоксары: Среда, 2024. – С. 74–79. EDN NKOXL
18. Силюков, С. А. Дезодорация воздуха в животноводческих помещениях / С. А. Силюков, Н. В. Козлов, В. А. Творогов // Студенческая наука для развития Чувашии: материалы студенческой научно-практической конференции, посвященной 80-летию ФГОУ ВПО ЧГСХА (Чебоксары, 16–17 марта 2011 г.). – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2011. – С. 288. EDN EESFGJ
19. Силюков, С. А. Повышение эффективности работы приточно-вытяжных установок / С. А. Силюков, В. А. Творогов // Материалы студенческой научно-практической конференции «Студенческая наука в реализации программы «Чувашия – биорегион» (Чебоксары, 11–12 марта 2010 г.). – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2010. – С. 70. EDN ENCDVF
20. Окликсов, А. Г. Применение солнечных коллекторов в технологической линии создания микроклимата / А. Г. Окликсов, В. А. Творогов // Роль молодых ученых в решении приоритетного национального проекта «Развитие АПК»: материалы студенческих научных конференций факультетов (Чебоксары, 20–21 марта 2007 г.). – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2007. – С. 205. EDN RDUPOE
21. Герасимова, Д. В. Рекуперация энергии в системах создания микроклимата / Д. В. Герасимова, И. Е. Кащеев, В. А. Творогов // Сборник научных трудов молодых ученых и специалистов: в 2 ч. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, 2024. – С. 494–500. EDN ODKNIZ
22. Калашников, И. А. Обзор современных естественных систем вентиляции на животноводческих фермах / И. А. Калашников, М. А. Клопова, В. А. Творогов // Сборник научных трудов молодых ученых и специалистов: в 2 ч. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, 2024. – С. 500–506. EDN JQLHPU

Творогов Валерий Александрович – заведующий кафедрой «Теплотехники и гидравлики», канд. техн. наук, доцент, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова г. Чебоксары, Россия. tvorogoff21@yandex.ru

Алексей Геннадьевич Варlamov – канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплотехники и гидравлики», Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова г. Чебоксары, Россия. warlam2004@mail.ru

Тойлыбаев Мейрам Сейсенбаевич – канд. техн. наук профессор кафедры «Аграрная техника и механическая инженерия», Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Республика Казахстан, meiram_61@mail.ru

Valery A. Tvorogov – head of the Department of Heat Engineering and Hydraulics, Ph.D. in Engineering, associate professor, Cheboksary State University, Cheboksary, Russia. tvorogoff21@yandex.ru

Alexey G. Varlamov – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Heat Engineering and Hydraulics, Cheboksary State University, Cheboksary, Russia. warlam2004@mail.ru

Meiram S. Toylybaev – Ph.D. in Engineering, professor of the Department of Agricultural Machinery and Mechanical Engineering, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Republic of Kazakhstan. meiram_61@mail.ru

УДК 69

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛКИ ФАСАДОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ

**И.И. Шакиров
А.П. Яковлев**

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

Аннотация: статья посвящена обзору и анализу современных материалов и технологий, применяемых для отделки фасадов при реконструкции зданий. Рассматриваются их основные характеристики, преимущества и недостатки, а также выявляются ключевые проблематики, связанные с их применением в условиях работы с существующими конструкциями. Особое внимание уделяется влиянию инновационных решений на энергоэффективность, долговечность и эстетическое обновление объектов, подчеркивается необходимость комплексного подхода и учета историко-культурной ценности зданий.

Ключевые слова: реконструкция, фасад, энергоэффективность, устойчивое развитие, инновационные материалы, цифровые технологии, вентилируемый фасад, СФТК.

METHOD OF CALCULATION OF THE SEDIMENTS OF THE LARGE-DIMENSIONAL FOUNDATIONS WITH EXCESSIVE LOADS

Abstract: the article is devoted to the review and analysis of modern materials and technologies used for facade finishing during the

reconstruction of buildings. Their main characteristics, advantages and disadvantages are considered, as well as key issues related to their use in working with existing structures are identified. Special attention is paid to the impact of innovative solutions on energy efficiency, durability and aesthetic renovation of facilities, and the need for an integrated approach and consideration of the historical and cultural value of buildings is emphasized.

Keywords: reconstruction, facade, energy efficiency, sustainable development, innovative materials, digital technologies, ventilated facade, SFTK.

Введение

Проблема устойчивого развития городских территорий и повышения энергоэффективности зданий, особенно в условиях существующей застройки, выдвигает на первый план задачи реконструкции и модернизации фасадов.

Привлекательность внешнего облика города зависит от стремительного развития современных строительных технологий, которые позволяют воплощать самые смелые идеи в жизнь. Красочные или, наоборот, сдержанные, но стильные фасады зданий – визитная карточка не только каждого района, но и всего города в целом. Одной из важной части реконструкции и ремонта зданий является изменение его внешнего облика. Ведь первое, на что мы обращаем внимание при знакомстве с архитектурой, – фасад, который пытается донести до смотрящего определенную смысловую идею. Разработка фасадов в архитектурном проектировании занимает важное место, поскольку это целая система знаний, связанная напрямую с архитектурным стилем, антуражем, габаритами и формой здания. При реконструкции может изменяться как конструктив зданий и сооружений, так и отдельные их части, например фасад, крыша, входная группа или отдельные части фасада. В данной статье приведен анализ современных материалов и технологий при реконструкции фасадов зданий [1–6].

Материал и методы исследований

В рамках данного исследования был проведен систематический обзор научной литературы, нормативно-технической документации, отраслевых публикаций и кейсов реализованных проектов по реконструкции фасадов. Основными методами исследования стали.

1. Систематический обзор литературы: анализ статей, монографий, диссертаций и отчетов, посвященных современным фа-

садным системам, материалам и технологиям, с акцентом на их применение в проектах реконструкции.

2. Сравнительный анализ: оценка различных фасадных решений по таким критериям, как энергоэффективность, стоимость, долговечность, эстетические возможности, технологичность монтажа, ремонтопригодность и экологичность.

3. Анализ нормативно-технической базы: изучение актуальных строительных норм, правил и стандартов, регулирующих применение фасадных систем при реконструкции, в том числе требований к пожарной безопасности, тепловой защите и сохранению исторического облика.

4. Кейс-анализ: изучение конкретных примеров успешной реконструкции фасадов с применением современных материалов и технологий, выявление лучших практик и возникающих проблем.

Рассматриваемые материалы и технологии [2].

1. Навесные вентилируемые фасадные системы (НВФ):

- Облицовочные материалы: Фиброцементные плиты, керамогранит, композитные панели (алюминиевые, HPL), металлические кассеты, натуральный камень (облегченный), клинкерная плитка и кирпич (тонкостенный).

- Теплоизоляционные материалы: Минеральная вата, экструдированный пенополистирол (XPS), пенополиуретан.

- Подконструкции[3]: Алюминиевые, оцинкованные или нержавеющие стальные системы.

2. Системы утепления фасадов мокрого типа (СФТК/ETICS) [1]:

- Теплоизоляционные материалы: Минеральная вата, пенополистирол (EPS).

- Декоративные штукатурки: Акриловые, силиконовые, силикатные, минеральные, в том числе с функциями самоочистки (на основе диоксида титана).

3. Инновационные материалы:

- «Умные» фасады: Интегрированные солнечные панели (BIPV), динамические фасадные элементы (с изменяемыми светопропускными свойствами), фасады с датчиками мониторинга состояния.

- Самоочищающиеся и «дышащие» покрытия: Штукатурки и краски с гидрофобными и фотокаталитическими свойствами.

- Композитные материалы: Легкие и прочные решения для сложных архитектурных форм.

Цифровые технологии в реконструкции.

BIM (Building Information Modeling) [5] применяется для точного планирования, моделирования, анализа совместимости новых систем с существующими конструкциями и управления жизненным циклом объекта. Применяется 3D-сканирование для высокоточного обследования существующих фасадов, создания цифровых моделей и мониторинга хода работ. Применение НВФ, модульных элементов и цифровых технологий (BIM, 3D-сканирование) позволяет оптимизировать процессы монтажа, сократить сроки выполнения работ и минимизировать влияние погодных условий.

Результаты и проблематика

Сводный сравнительный анализ приведен в таблице 1.

Таблица 1
Технико-экономические показатели

Параметр	Вентилируемый фасад	Штукатурная система	Композитные панели	Светопрозрачные системы
Стоимость, руб/м ²	8 000–15 000	4 000–7 000	12 000–18 000	20 000–35 000
Срок службы, лет	50+	25–30	30–40	40–50
Сопротивление теплопередаче, м ² ·°C/Вт	4.5–6.0	3.5–5.0	6.5–8.0	0.8–1.2
Водопоглощение, %	0.1–0.5	1.0–3.0	0.05–0.1	-
Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)	0.05–0.1	0.01–0.03	0.001–0.005	-

Результатами исследования также стали следующие факты.

1. Совместимость с существующими конструкциями. При реконструкции необходимо учитывать несущую способность существующих стен и фундаментов. Новые тяжелые фасадные системы могут потребовать усиления конструкций. Также важен вопрос совместимости различных материалов (старые/новые) в плане влагопереноса и температурных деформаций [4].

2. Сохранение исторического и культурного наследия. В случае объектов культурного наследия применение современных материалов может быть ограничено строгими требованиями к аутентичности. Необходим поиск компромиссных решений, сочетающих историческую достоверность с современными функциональными требованиями.

3. Высокие первоначальные инвестиции. Некоторые современные технологии и материалы (например, интегрированные солнечные панели, высококачественные композиты) могут иметь высокую стоимость, что увеличивает бюджет реконструкции.

4. Сложность интеграции и координации. Применение цифровых технологий (BIM) требует [6] высокой квалификации персонала и тесной координации между всеми участниками проекта (архитекторами, инженерами, подрядчиками).

5. Нормативно-технические барьеры. Законодательная и нормативная база может не всегда оперативно реагировать на появление новых материалов и технологий, создавая сложности с их сертификацией и применением.

6. Пожарная безопасность. Многослойные фасадные системы требуют особого внимания к пожарной безопасности, особенно при использовании горючих утеплителей или облицовочных материалов.

Заключение

Современные материалы и технологии отделки фасадов представляют широкие возможности для эффективной и устойчивой реконструкции зданий. Они позволяют значительно улучшить энергоэффективность, продлить срок службы объектов, обновить их эстетический вид и повысить комфорт для пользователей. Использование цифровых инструментов, таких как BIM, 3D-сканирование и префабрикация, способствует оптимизации процессов проектирования и монтажа, повышая качество и сокращая сроки работ.

Однако, успешная реализация проектов реконструкции требует глубокого анализа существующей конструкции, тщательного выбора материалов с учетом их совместимости, а также внимательного отношения к вопросам сохранения исторического наследия и пожарной безопасности. Преодоление проблематики, связанной с первоначальными инвестициями, нормативными барьерами и необходимостью повышения квалификации кадров, является ключевым условием для широкого внедрения инноваций.

онных решений. В целом, комплексный, научно-обоснованный подход и стремление к синергии традиций и инноваций являются залогом успешной и долговечной реконструкции фасадов.

Список литературы

1. ГОСТ 33763-2016. Системы фасадные теплоизоляционные композиционные с наружными штукатурными слоями (СФТК). Общие технические условия.
2. Жуков, А. Д. Энергоэффективные фасады: материалы и технологии / А. Д. Жуков. – Москва: АСВ, 2020.
3. Каменский, А. Б. Современные навесные вентилируемые фасадные системы: проектирование и монтаж / А. Б. Каменский, В. П. Сидоров. – Санкт-Петербург: Стройиздат, 2018.
4. Макаров, Е. И. Реконструкция зданий и сооружений: учебник / Е. И. Макаров. – Москва: Инфра-М, 2021.
5. Некрасов, В. В. ВИМ-технологии в современном строительстве: от проектирования до эксплуатации / В. В. Некрасов // Вестник МГСУ. – 2019. – № 4. – С. 45–56.
6. Смирнов, О. П. Фасады зданий в условиях модернизации: проблемы и решения / О. П. Смирнов, Г. Л. Петрова // Строительные материалы и изделия. – 2022. – № 2. – С. 112–120.

Шакиров Искандер Ильдарович – магистрант 2 курса, строительного факультета, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия. 2483128@mail.ru

Яковлев Алексей Петрович – кандидат экономических наук, доцент кафедры строительных технологий, геотехники и экономики в строительстве, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия.

Iskander I. Shakirov – undergraduate, Faculty of Civil Engineering, Chuvash State University, Cheboksary, Russia. 2483128@mail.ru

Alexey P. Yakovlev – Candidate of Economic Sciences, associate professor at the Department of Construction Technologies, Geotechnics, and Construction Economics, Chuvash State University, Cheboksary, Russia.

Научное электронное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ
МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД – 2025**

Сборник статей по материалам
V Международной конференции
(Чебоксары, 15 октября 2025 г.)

Чебоксары, 2025 г.

Ответственный редактор *Л.А. Максимова*
Компьютерная верстка *Е.А. Малышева*

Подписано к использованию 30.12.2025 г.

Объем 4,80 Мб. Тираж 20 экз.
Уч. изд. л. 7.94.

Издательский дом «Среда»
428023, Чебоксары, Гражданская, 75, офис 12
+7 (8352) 655-731
info@phsreda.com
<https://phsreda.com>