

## УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор, к.т.н.  
«Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений» к.т.н.

Келасев Николай Геннадьевич



«28» августа 2023 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ЦНИИПромзданий на диссертационную работу Савенкова Антона Юрьевича на тему «Расчет подземных железобетонных сооружений на аварийные воздействия в нелинейной динамической постановке», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9 – Строительная механика.

### 1. Актуальность темы исследования

Для зданий и сооружений повышенного уровня ответственности, либо объектов, на которых возможно одновременное пребывание более пяти тысяч человек должны выполняться требования Федерального закона №68 «О защите населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». Одним из требований является устройство встроенных подземных сооружений, предназначенных для защиты населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Расчет таких сооружений необходимо выполнять на воздействие воздушной ударной волны и волн сжатия в грунте, кроме того, для встроенных сооружений необходимо выполнять расчет на воздействие обломков разрушающегося здания и завала от них.

Действующие нормативные методики основаны на линейных статических методах расчета и предполагают определенные допущения при расчете на ударные волны, что может привести к трудно оценимым погрешностям в результатах расчетов. Рассматриваемые в данных задачах процессы являются высоконелинейными и быстротекущими. Для получения адекватных результатов необходимо применение методов, основанных на более строгих постановках.

В связи с этим **актуальной задачей является** разработка методик расчета встроенных подземных сооружений, предназначенных для защиты населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера с использованием более строгих нелинейных динамических постановок. Применение методов теории надежности строительных конструкций позволяет учесть явно выраженный случайный



характер исходного взрывного воздействия и получить более адекватные результаты при расчете зданий и сооружений.

## **2. Структура и содержание работы**

**Во введении** сформулированы цель диссертации, ее актуальность и научная новизна, практическая значимость, сведения об апробации работы, выводы, выносимые на защиту, публикации, структура и объем диссертационной работы. Рассмотрены основные нормативные положения в части расчета подземных сооружений для защиты населения от аварийных ситуаций природного и техногенного характера. Выполнен обзор литературы по данной тематике.

**В первой главе** Приведены основы газодинамических методов расчета, которые применяются в исследованиях. Выполнен обзор определенных моделей материалов и сред используемых для решения задач в нелинейной газодинамической постановке.

**Во второй главе** отмечается важность определения подходов к моделированию фронта воздушной ударной волны, что является особенно необходимым для решения задач в газодинамической постановке с использованием нелинейной динамики. Для этого рассмотрены основные подходы к моделированию взрывных воздействий с помощью газодинамического подхода. Проанализировано применение экспериментальных данных при моделировании взрывных воздействий и определение основных параметров ударной волны. Кроме того, отмечается большой разброс экспериментальных данных, что свидетельствует о необходимости анализа и оценки случайных параметров исходного воздействия. Показано применение газодинамического подхода к расчету отдельно стоящей железобетонной стены, а также выполнен сравнительный анализ результатов расчета с помощью эквивалентного статического и газодинамического методов на примере двухэтажного, двухпролетного здания колонно-стеновой конструктивной системы.

**Во третьей главе** выполнен анализ моделей грунтового основания применимых для решения задач взаимодействия ударных волн, распространяющихся в грунте, с подземным сооружением. Выполнен подробный анализ поведения грунтового основания при воздействии на него высокоскоростных ударных и взрывных воздействий. Приведено решение задачи о взаимодействии воздушной ударной волны на подземное железобетонное сооружение стеновой конструктивной схемы с помощью нелинейного динамического метода. Приведен анализ подходов к моделированию разрушений строительных конструкций, в том числе на примере полевых и численных результатов экспериментов, выполненных зарубежными авторами. Выполнен расчет встроенной подземной части здания на воздействие воздушной ударной волны, волн сжатия в грунте, а также на нагрузки от завала при обрушении вышестоящих конструкций.

**В четвертой главе** отмечается, что так как воздействие воздушной ударной волны обладает высокой изменчивостью и случайностью, как и любое высокоскоростное динамическое воздействие, то говорить о



результатах прочностного расчета можно с определенной долей вероятности, поэтому для уточнения результатов рекомендуется использовать вероятностные подходы теории надежности сооружений.

В четвертой главе подробно описываются методы оценки надежности сооружений строительных конструкций, которые позволяют определить вероятность отказа конструкций.

В главе исследуются случайные параметры воздействия воздушной ударной волны, и отмечается, что для описания процесса взрыва можно принять  $Q_{эф}$  и  $R$  в качестве случайных величин.

Выполнена оценка надежности отдельно стоящей железобетонной стены при воздействии воздушной ударной волны.

Выполнена оценка надежности встроенного подземного сооружения при воздействии воздушной ударной волны с учетом обрушения строительных конструкций вышестоящего здания.

**В заключении** приведены выводы по итогам выполненных исследований.

**3. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** достигается использованием фундаментальных положений строительной механики, строгой и конкретной постановкой задач, строгостью математических формулировок, применением многократно апробированных численных методов решения краевых задач. Основные результаты работы прошли апробацию на ряде российских и международных конференциях.

#### **4. Научная новизна**

Разработаны соответствующие нелинейные динамические расчетные модели и методики (газодинамический подход), позволяющие исследовать поведение подземных сооружений при сложном комплексе нагрузок, вызванных воздействием воздушной ударной волны, в том числе с учетом разрушения вышестоящих конструкций здания, а также с учетом случайного характера внешнего воздействия.

#### **5. Научная и практическая ценность диссертации**

**Теоретическая значимость работы** состоит в развитии нелинейных динамических методов расчета для применения к расчетам подземных сооружений с учетом конструктивной нелинейности (разрушения конструкций).

**Практическая значимость работы** заключается в том, что:

– результаты исследований могут быть применены исследовательскими и проектными организациями при проектировании встроенных подземных сооружений от воздействия воздушных ударных волн и падающих предметов;

– результаты исследований могут применяться при проведении численных экспериментов для верификации моделей подземных сооружений по результатам натурных исследований отдельных несущих элементов.

## **6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки**

Результаты и выводы диссертации являются значимыми и практически применимыми при решении задач строительной механики.

Материалы диссертации могут быть использованы в рамках преподавания специальных учебных курсов для студентов, проходящих подготовку по направлению 08.04.01 «Строительство»

## **7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Разработанная в диссертации методика математического моделирования и вычислительного эксперимента на базе современных систем компьютерного моделирования, обеспечивают достаточную практическую точность расчетов механической безопасности зданий и могут быть использованы при оценке напряженно-деформированного состояния подземных сооружений при воздействии воздушных ударных волн в том числе с учетом обрушения надземной части здания.

## **8. Замечания**

1. В последних редакциях основного нормативного документа по защитным сооружениям гражданской обороны «СП 88.13330.2022» начиная с версии 2014 года, к подобным сооружениям стали предъявляться повышенные требования в том числе в части защиты от обычных средств поражения, которые также могут быть источником разрушения надземной части здания, образуя завал на покрытии. Было бы полезным работе указать мнение автора на этот счет и возможно ли было бы применение указанных в работе методик к данной постановке.

2. В работе не рассматривается вопрос о возможном температурном воздействии на конструкцию при взрыве.

3. Из общих выводов не ясно есть ли границы применимости представленной методики, с применением газодинамического подхода.

4. В задаче об обрушении здания и образовании завала на покрытии встроенного в подземный этаж многоэтажного здания подземного сооружения следовало бы проанализировать объем разрушившихся элементов на покрытии подземного сооружения и сравнить полученные значения с нормативной методикой.

5. Необходимо отметить о возможности учета работы несущих конструкций в стадии, превышающей критерии метода предельных состояний. Так называемое особое предельное состояние может раскрыть дополнительные резервы в прочности и деформативности. Необходимо определять и учитывать критерии особого предельного состояния при аварийных расчетных ситуациях.




## 9. Заключение

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертация Савенкова Антона Юрьевича на тему «Расчет подземных железобетонных сооружений на аварийные воздействия в нелинейной динамической постановке» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной, научной и практической ценностью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют существенное значение для развития соответствующей отрасли наук. Диссертационная работа полностью соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Савенков Антон Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9 – Строительная механика.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании отдела конструктивных систем №1 АО «ЦНИИПромзданий», протокол заседания № 4/23 от 28.08.2023 г.

Начальник отдела  
конструктивных систем №1,  
доктор технических наук  
(05.23.01 – Строительные  
конструкции, здания и  
сооружения; отрасль наук –  
технические), профессор



Трекин Николай  
Николаевич

«28» августа 2023 г.

Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений – ЦНИИПромзданий».

Почтовый адрес: РФ, 127238, г. Москва, Дмитровское шоссе, д. 46, корп. 2.  
Сайт: cniipz.ru; телефон: +7 495 482-45-06; e-mail: cniipz@cniipz.ru

Подпись Трекина Николая Николаевича удостоверяю:

Начальник отдела кадров  
КУПРИНА О.Г.



«28» августа 2023 г.