



УДК 539.3

doi: 10.48612/dnitii/2025_57_48-58

ВОЛНОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ ПОСТАНОВКИ НАЗЕМНОГО ЗАЩИТНОГО СООРУЖЕНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ ПРИ УДАРНЫХ, ВЗРЫВНЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

В. К. Мусаев^{*} / ^{**} / ^{***} / ^{****} / ^{*****} / ^{*****}

^{*} Российское профессорское собрание, Москва

^{**} Центральный научно-исследовательский и проектный институт Минстроя России, г. Москва

^{***} Российский университет транспорта, г. Москва

^{****} Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, г. Москва

^{*****} Российской академии естественных наук, г. Москва

^{*****} Российской академии ракетных и артиллерийских наук, г. Москва

Аннотация

Данное исследование содержит информацию о компьютерном моделировании нестационарных переходных волн в наземном защитном сооружении гражданской обороны при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях. Для изучения, определения и оценки нестационарных волновых процессов Мусаевым В. К. разработана специальная методика, алгоритм и вычислительный программный комплекс. Данный комплекс позволяет получать перемещения, скорости перемещения, ускорения, напряжения и деформации в деформируемых телах сложной формы при нестационарных волновых процессах. При создании программного комплекса использовался алгоритмический язык Fortran-90. Исследуемая область была разделена на конечные элементы первого порядка в соответствии с пространственными и временными переменными. С помощью математического моделирования система с бесконечным числом неизвестных была сведена к системе с конечным числом неизвестных. Для оценки надежности и точности разработанного программного комплекса были решены задачи о воздействии нестационарных волн напряжений на различные геообъекты. Результаты напряженного состояния показали качественное и количественное совпадение с реальными данными.

Ключевые слова

Гражданская оборона в мирных целях, природная и техносферная безопасность, защитное сооружение, напряжение контура, несущая способность, комплекс программ Мусаева В. К.

Дата поступления в редакцию

01.12.2025

Дата принятия к печати

04.12.2025

Введение

Постановка нестационарных волновых задач, методы и результаты решенных задач приведены в следующих работах [1 – 26]. Программированный и алгоритмический подход представления научных

результатов в настоящее время является приоритетным в экономике информационных технологий. В настоящее время имеется возможность создания наук под общим знаменателем «Фундаментальная инженерия».

Статья посвящена численному (математическому моделированию нестационарной волн напряжений на наземное защитное сооружение при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях.

В этой области имеются некоторые исследования разных ученых. Приводится некоторый анализ применения волн напряжений в различных объектах, которые выполнены с помощью математического моделирования.

В работе [5] исследуются задачи о распространении упругих волн с плоским фронтом в стержне и слое. Приводятся численные результаты моделирования распространения ударного фронта в стержне. Сообщается, что возникают колебания за счет вычислительной дисперсии и вязкости. Приводится информация, что в граничных узлах могут быть неточное соответствие исследуемых неизвестных приложенной нагрузке. Для выполнения расчетов применяются зарубежные программные продукты Ansys/LS-Dyna и Abaqus, которые используют метод конечных элементов. Однако по полученным результатам можно сделать следующие замечания. Авторы приводят подробно постановку краевой задачи для решения волновых уравнений. Постановка задачи общая. На научную новизну и актуальность не может претендовать. Приводится решение ступенчатой волны (воздействие функция Хевисайда) на фронте. Однако, на рисунке авторы приводят погрешность напряжения на фронте волны по сравнению с точным решением. Далее имеются осцилляции численного решения, которые имеют большой период времени и не могут быть приняты, как достоверные на уровне апробации численного метода. Авторы приводят решение перемещений и напряжения в стержне при воздействии в виде треугольника и ступеньки. По результатам можно сделать вывод, что численное решение не соответствует известным научным знаниям и имеют очень большое качественное несоответствие с результатами аналитического решения. Авторы проблему моделирования нестационарных волн в стержне не довели до уровня качественного и количественного сопоставления с результатами аналитического метода и с известными знаниями в области решения таких классов задач. Проблема численного моделирования волн напряжений в стержнях не решена и актуальность сохраняется. Отсутствует однозначная, корректная, постановка решаемой задачи с точки зрения волновой вычислительной механики. Авторы напряжения не исследуют, поэтому получение контурных напряжений и компонентов тензора напряжений остается актуальной для задач моделирования волн напряжений в деформируемых телах. Волны напряжений в деформируемых телах получить сложнее, чем кинематические неизвестные: перемещения, скорости перемещений и ускорения, поэтому получение напряжений должно быть приоритетным при решении задач о моделировании волн напряжений в деформируемых объектах. Однако для оценки несущей способности строительных объектов и прочности машиностроительных конструкций без исследования и получения напряжений выполнить невозможно. Отсюда новизна и актуальность получение напряжений в исследуемых задачах повышается.

В работе [6] авторы претендуют на защитные средства от сейсмических воздействий в виде горизонтальных барьеров. Однако приводится схема горизонтальных барьеров без привязки исследуемых элементов в единой системе координат. То есть приводится рисунок на уровне произведений художника. В механике такой подход к исследованию не применяется. Далее приводятся некоторые аналитические зависимости из исследований других авторов в области скоростей распространения в сплошной деформируемой среде. Авторы статей приводят в перемещениях решение задачи с горизонтальными барьерами. Однако осцилляции перемещений достигают почти 50%. Результаты расчетов в напряжениях не приводятся. Наверное, при такой осцилляции перемещений, напряжения будут не понятными

и их анализ невозможно будет сделать. Полученные результаты не могут претендовать на законченное исследование сейсмической безопасности с горизонтальными барьерами, так как полученные результаты в перемещениях нельзя квалифицировать, как новые знания, новые закономерности и рекомендации для нормативно-правовых документов.

В работе [16] приводится информация о расчете подземных сооружений на сейсмические воздействия. Подземные объекты, возведенные в сейсмоопасных районах, должны быть обеспечены сейсмической (динамической) безопасностью. Задача обеспечения обоснованного проектирования безопасных сейсмостойких подземных сооружений является актуальной задачей. Представлено описание статического метода конечных элементов для расчета подземных сооружений. Внимательное ознакомление с научной статьей позволило отметить следующее. Волновая теория сейсмической безопасности является актуальной, в настоящее время. В научной статье приводятся методы расчета подземных сооружений на уровне допущений и некоторых аналогий для статических воздействий. Описание метода расчета на уровне формализации уравнений динамики для уравнений волновой механики деформируемых тел — отсутствует. В статье отсутствует пример решения задачи сейсмостойкости подземных сооружения численным методом. Хотя в названии статьи имеются слова «О методах сейсмического расчета подземных сооружений». Название статьи должно соответствовать содержанию. Иначе возникают проблемы со стороны читателей о целесообразности такого подхода и стиля написания статьи.

Авторы статьи [17] приводят следующую информацию. Представлена общая характеристика «наукоемкого универсального программного комплекса СТАДИО», который предназначен для численного решения статического и динамического напряженно-деформированного состояния, устойчивости и прочности произвольных комбинированных механических систем в плоской, осесимметричной и трехмерной линейной и нелинейной постановках. При внимательном рассмотрении содержания статьи, можно отметить следующее в области динамического моделирования. Авторы приводят аппроксимацию трехмерных тел, которые состоят из пространственных конечных элементов. Рисунки представлены, как очередное творчество в области графического дизайна различных технических объектов, но эти вопросы в введении художников и архитекторов, но не строителей. Однако их нельзя рассматривать, как элементы математической формализации для решения задач механики деформируемого твердого тела в области получения основных неизвестных, так как этой информации очень мало, она не может квалифицироваться, как решение задач динамического воздействия на строительные объекты. В статье не приведена методическая или академическая задача для оценки достоверности программного продукта. Содержание статьи можно воспринимать, как один из вариантов рекламы, но для этого нужно встать на сторону читателя. А читатель, так и не понял, какие задачи решает программный продукт, можно ли результатам расчета доверять, так как о достоверности нет информации.

В работе [18] авторы претендуют на защитные средства от сейсмических воздействий в виде вертикальных и горизонтальных барьеров. Однако приводится некоторая информация о волнах в деформируемых телах. Приводится цветная фотография схемы расчета, но отсутствует связь между основными элементами корректной постановки задачи в декартовой системе координат. Постановка задачи с начальными и граничными условиями не приводится, поэтому оценить и повторить полученные результаты с помощью другого метода не представляется возможным. В механике такой подход к исследованию не применяется. В настоящее время с помощью численного моделирования волновых задач получаются цифры, которые с помощью графического редактора переводятся в графики. Этот алгоритм можно назвать следующим образом: корректность результатов математического моделирования. Представленные результаты в статье можно квалифицировать, как информационный шум или макулатура.

В работе [19] авторы претендуют на защитные средства от сейсмических воздействий в виде вертикальных барьеров. Однако приводится схема вертикальных барьеров без привязки исследуемых элементов в единой системе координат. Далее приводятся некоторые аналитические зависимости из исследований других авторов в области скоростей распространения в сплошной деформируемой среде. Авторы статей приводят в перемещениях решение задачи Лэмба при сосредоточенной вертикальной нагрузке, которое меняется по треугольному закону во времени. В модели исследования вертикальные барьеры не участвуют. Хотя авторы статьи в названии заявляют о сейсмических барьерах. В статье результаты в напряжениях отсутствуют.

В монографии [20] представлены актуальные исследования о безопасности уникальных объектов, которые сталкиваются с нестационарными волновыми нагрузками, возникающими в деформируемых упругих и упруговязкопластических средах. Для решения этих задач переходного (волнового) процесса применяется математическое моделирование [20]. Первая глава «О безопасности технических объектов при нестационарных ударных, взрывных и сейсмических воздействиях» включает десять разделов, посвященных вопросам надежности и безопасности уникальных систем в столь сложных условиях. В этой главе также четко сформулированы цели исследований. Вторая глава «Математическое моделирование нестационарных упругих волн в деформируемых телах» охватывает девять разделов, посвященных численному (цифровому) моделированию нестационарных волн в упругих деформируемых средах (переходной процесс). Третья глава «Оценка физической достоверности и математической точности моделирования напряжений в деформируемых телах при нестационарных упругих волновых воздействиях» состоит из двадцати четырех разделов. Четвертая глава «Математическое моделирование упругих напряжений в деформируемых телах при нестационарных волновых воздействиях» содержит шесть разделов. Пятая глава «Математическое моделирование упругих напряжений в деформируемых телах при нестационарных ударных волновых воздействиях» также включает шесть разделов. Шестая глава «Математическое моделирование упругих напряжений в деформируемых телах при нестационарных взрывных волновых воздействиях» охватывает десять разделов. Седьмая глава «Математическое моделирование упругих напряжений в деформируемых телах при нестационарных сейсмических волновых воздействиях» представляет собой одиннадцать разделов. Восьмая глава «Математическое моделирование нестационарных упругих, вязких и пластических волн напряжений в деформируемых телах» состоит из девяти разделов. Девятая глава «Математическое моделирование упругих, вязких и пластических напряжений в деформируемых телах при нестационарных волновых воздействиях» включает четыре раздела. В монографии получены напряжения (контурные и компоненты тензора) в характерных областях исследуемых объектов.

Постановка задач исследований

Проведенный анализ литературы позволяет сделать следующие выводы.

1. Постановка решаемой задачи должна удовлетворять всем условиям корректности для волновых задач, в том числе расчетная схема должна быть представлена в декартовой или в другой системе координат.
2. Полученные результаты должны быть понятны читателями для оценки и возможности повторить другим численным методом.
3. Оценку несущей способности и прочности для технических систем можно реализовать с помощью напряженного состояния.

4. Физическая достоверность и математическая точность должна быть реализована для напряженного состояния, так как из перемещений переход к деформациям реализуется через производную, при этом теряется точность полученных результатов. Выше приведенным критериям удовлетворяют научные работы выполненные Мусаевым В. К. и его учениками [7 – 15, 20 – 26].

Модели и методы

Для моделирования нестационарных волн переходного периода в деформируемых телах сложной формы, рассмотрено некоторое тело в прямоугольной декартовой системе координат, которому в начальный момент времени, сообщается импульсное механическое воздействие. Многие материалы имеют свойство упругости при волновых воздействиях. Если деформации нестационарных сил не превышают некоторого нормативного предела, то после снятия этих сил деформация исчезает. Поэтому будем предполагать, что деформируемые тела, являются упругими. Для решения задачи о распространении волн напряжений в деформируемых телах применяем уравнения динамической теории упругости [20]. Систему уравнений в некоторой области деформируемого тела, следует интегрировать при начальных и граничных условиях [20]. Для решения нестационарной динамической задачи теории упругости с начальными и граничными условиями (задача Коши) — используем метод конечных элементов (численное моделирование уравнений переходного процесса) [20]. На основе численного метода конечных элементов разработана методика, разработан алгоритм и составлен комплекс программ для решения двумерных волновых задач динамической теории упругости [20]. Оценка точности и достоверности (верификация) рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ приведена в следующих работах [7 – 15, 20 – 26].

Приводится задача о моделировании напряженного состояния в наземном защитном сооружении при волновом ударном воздействии (*рис. 1 – 2*) [20, 24].

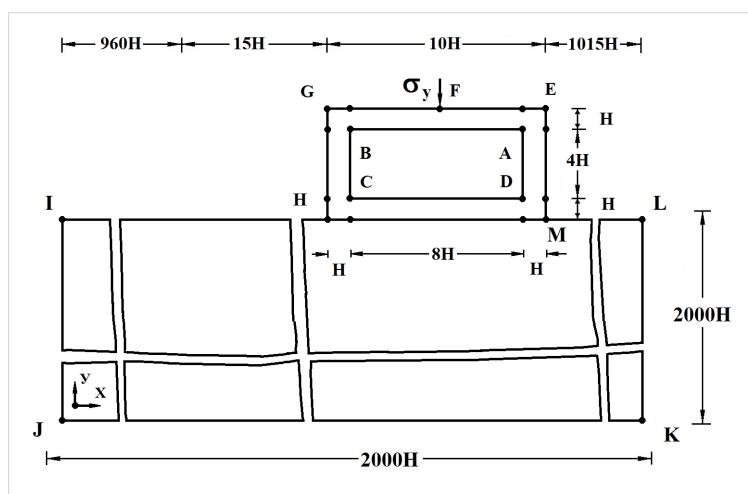


Рис. 1. Постановка задачи о моделировании внешней сосредоточенной ударной волны на наземное защитное сооружение. Схема Мусаева В. К.

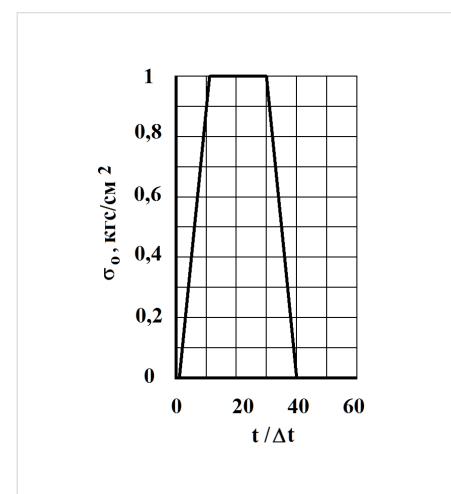


Рис. 2. Воздействие в виде трапеции. График Мусаева В. К.

Исследуемая задача впервые решена Мусаевым В. К. с помощью разработанной методики, алгоритма и вычислительного комплекса программ [20, 24]. Получены контурные напряжения.

Приводится задача о моделировании напряженного состояния в наземном защитном сооружении при волновом взрывном воздействии (*рис. 3–4*) [20, 26].

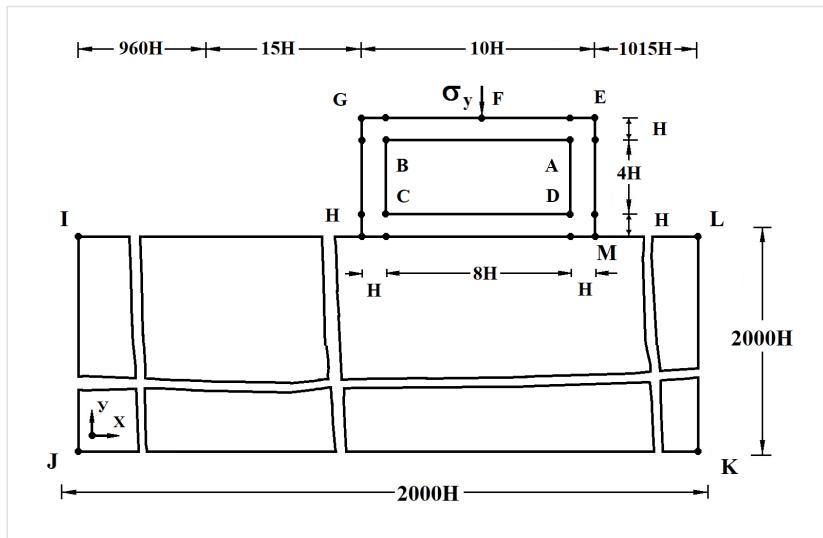


Рис. 3. Постановка задачи о моделировании внешней сосредоточенной взрывной волны на наземное защитное сооружение. Схема Мусаева В. К.

Исследуемая задача впервые решена Мусаевым В. К. с помощью разработанной методики, алгоритма и вычислительного комплекса программ [20, 26]. Получены контурные напряжения.

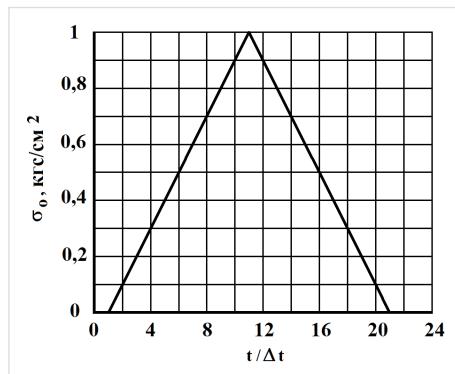


Рис. 4. Воздействие в виде треугольника. График Мусаева В. К.

Приводится задача о моделировании напряженного состояния в наземном защитном сооружении при волновом сейсмическом воздействии (*рис. 5–7*).

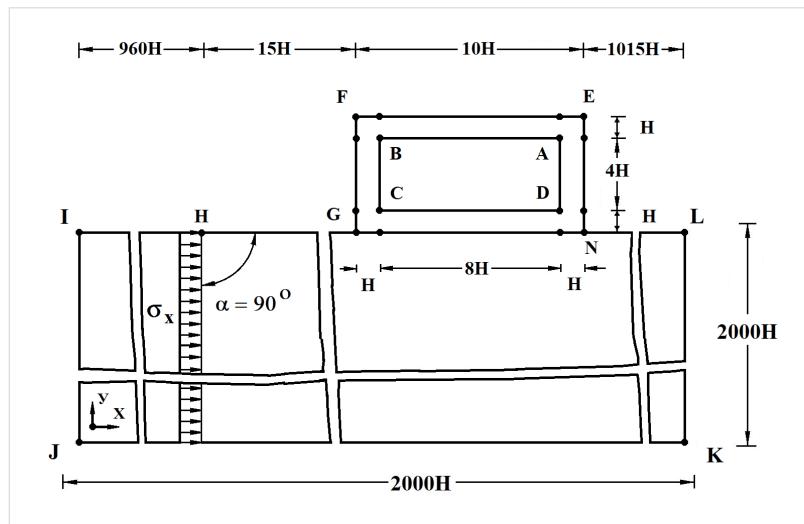


Рис. 5. Постановка задачи о моделировании внешней сейсмической волны на наземное защитное сооружение. Схема Мусаева В. К.

Исследуемая задача впервые решена Мусаевым В. К. с помощью разработанной методики, алгоритма и вычислительного комплекса программ [20, 21].

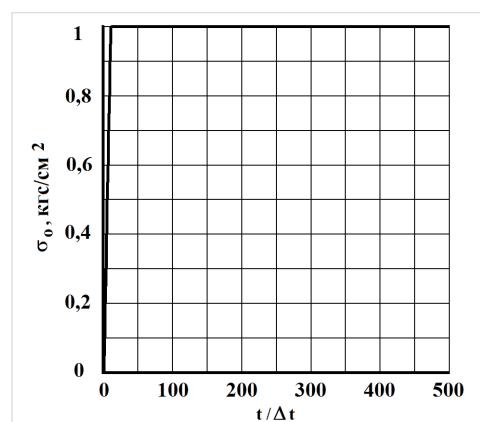


Рис. 6. Воздействие в виде ступеньки (функция Хевисайда). График Мусаева В. К.

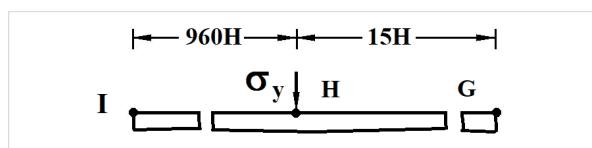


Рис. 7. Модель сейсмического воздействия на геообъект при сосредоточенном вертикальном воздействии

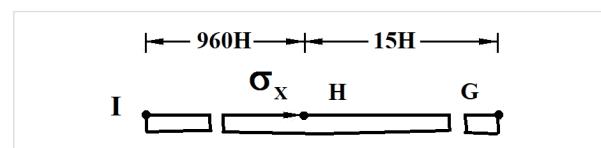


Рис. 8. Модель сейсмического воздействия на геообъект при сосредоточенном горизонтальном воздействии

Многие исследователи применяют модель сейсмического воздействия показанные на *рис. 7–8*. Однако многие численные эксперименты показали, что модель сейсмического воздействия показанного на *рис. 5* ближе к реальным условиям. Получены контурные напряжения.

Выходы

1. В данной работе изучается ударное, взрывное и сейсмическое воздействие на наземный защитный объект. Разработан вычислительный комплекс для определения распространения волн в деформируемых областях сложной формы.
2. Показано, что для корректного решения задачи необходимо соблюдать все требования, предъявляемые к краевым задачам, в том числе волновым задачам. Результаты исследования должны быть доступны для понимания читателями, чтобы они могли оценить их и воспроизвести с помощью других вычислительных методов. Переход от перемещений к деформациям осуществляется через производную, что может привести к потере точности результатов. Точность работы системы проверяется различными импульсными воздействиями в деформируемых телах. Защитное сооружение рассматривается как деформируемое тело. Получены контурные напряжения.

Библиографический список

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. Москва: Мир, 1975. 543 с.
2. Musayev V. K. Testing of stressed state in the structure-base system under non-stationary dynamic effects // Proceedings of the second International conference on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics. — Sent-Louis: University of Missouri-Rolla, 1991. V. 3. P. 87 – 97.
3. Тимошенко С. П., Гудьер Д. Теория упругости. Москва: Наука, 1975. 576 с.
4. Мусаев В. К. О моделировании сейсмической волны параллельной свободной поверхности упругой полуплоскости // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2009. № 4. С. 61 – 64.
5. Кукуджанов В. Н., Кузнецов С. В., Гришин А. С., Левитин А. Л. Исследование распространения ударных волн в упругом слое и призматическом стержне // Вестник НИЦ строительство. Исследования по теории сооружений. 2011. № 3 – 4. С. 35 – 42.
6. Кузнецов С. В., Нафасов А. Э. Моделирование распространения сейсмических волн и их взаимодействия с горизонтальными сейсмическими барьерами // Вестник НИЦ строительство. Исследования по теории сооружений. 2011. № 3 – 4. С. 43 – 54.
7. Musayev V. K. Estimation of accuracy of the results of numerical simulation of unsteady wave of the stress in deformable objects of complex shape // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. Volume 11, Issue 1. P. 135 – 146.
8. Мусаев В. К. Применение волновой теории сейсмического воздействия для моделирования упругих напряжений в Курской плотине с грунтовым основанием при незаполненном водохранилище // Геология и геофизика Юга России. 2017. № 2. С. 98 – 105.
9. Спиридонов В. П. Определение некоторых закономерностей волнового напряженного состояния в геообъектах с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Современные научно-технические технологии. 2015. № 12-5. С. 832 – 835.
10. Дикова Е. В. Достоверность численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. при решении задачи о распространении плоских продольных упругих волн (восходящая часть — линейная, нисходящая часть — четверть круга) в полуплоскости // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 12-3. С. 354 – 357.

- 11.** Стародубцев В. В., Мусаев А. В., Куранцов В. А., Мусаева С. В., Кулагина Н. В. Оценка точности и достоверности моделирования плоских нестационарных упругих волн напряжений (треугольный импульс) в полуплоскости с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIV Международной конференции. Москва: РГГУ. 2016. С. 352–355.
- 12.** Стародубцев В. В., Акатьев С. В., Мусаев А. В., Шиянов С. М., Куранцов О. В. Моделирование упругих волн в виде импульсного воздействия (восходящая часть — четверть круга, нисходящая часть — четверть круга) в полуплоскости с помощью численного метода Мусаева В. К. // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 1. С. 36–40.
- 13.** Стародубцев В. В., Акатьев С. В., Мусаев А. В., Шиянов С. М., Куранцов О. В. Моделирование с помощью численного метода Мусаева В. К. нестационарных упругих волн в виде импульсного воздействия (восходящая часть — четверть круга, средняя — горизонтальная, нисходящая часть — линейная) в сплошной деформируемой среде // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 1. С. 63–68.
- 14.** Стародубцев В. В., Мусаев А. В., Дикова Е. В., Крылов А. И. Моделирование достоверности и точности импульсного воздействия в упругой полуплоскости с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Москва: РУДН. 2017. С. 339–341.
- 15.** Куранцов В. А., Стародубцев В. В., Мусаев А. В., Самойлов С. Н., Кузнецов М. Е. Моделирование импульса (первая ветвь: восходящая часть — четверть круга, нисходящая часть — линейная; вторая ветвь: треугольник) в упругой полуплоскости с помощью численного метода Мусаева В. К. // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 2. С. 51–55.
- 16.** Belostotsky A. M., Akimov P. A., Dmitriev D. S. About methods of seismic analysis of underground structures // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. Volume 14, Issue 3. P. 14–25.
- 17.** Belostotsky A. M., Potapenko A. L. Akimov P. A. Universial software system “STADTO” for the numerical solution of linear and nonline problems of the field theory, statics, stability and dynamics of spatial combined systems: general parameters and superelemental featerus // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. Volume 14, Issue 3. P. 26–41.
- 18.** Bratov V. A., Ilyashenko A. V., Kuznetsov S. V., Lin T.-K., Morozov N. F. Homogeneous horizontal and vertical seismic barriers: Mathematical foundation and dimensional analysis // Materials Physics and Mechanics. 2019. 44 (2020). P. 61 – 65.
- 19.** Морозов Н. Ф., Братков В. А., Кузнецов С. В. Сейсмические барьеры для защиты от поверхностных и головных волн: множественные рассеиватели и метаматериалы // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. № 6. 2021. С. 33–44.
- 20.** Мусаев В. К. Математическое моделирование нестационарных волн напряжений в деформируемых телах при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях. Москва: Российский университет транспорта, 2021. 629 с. ISBN 978-5-7473-1067-4.
- 21.** Musayev V. K. Computer simulation of unsteady elastic stress waves in a console and a ten-storey building under fundamental influence in the form of a Heaviside function // RENSIT: Radioelectronics. Nanosystems. Information technologies. 2022. 14 (2): 187–196.

- 22.** Musayev V. K. Modeling of seismic waves stresses in a half-plane with a vertical cavity filled with water (the ratio of width to height is one to ten) // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. Volume 18, Issue 3. P. 114–125.
- 23.** Musayev V. K. Mathematical Modeling of Stresses Under Unsteady Wave Action in Geo-Objects // Power Technology and Engineering. 2023. 57 (3). P. 351 – 364.
- 24.** Мусаев В. К. Моделирование напряженного состояния десятиэтажного здания (полное разрушение перекрытия первого этажа) при внешнем ударном воздействии на поверхности полуплоскости // Системные технологии. 2024. № 1 (50). С. 61 – 74.
- 25.** Musayev V. K. Mathematical Modeling of Explosive and Seismic Impacts on an Underground Structure // Power Technology and Engineering. 2024. 57 (6). P. 875 – 881.
- 26.** Мусаев В. К. Математическое моделирование внешнего сосредоточенного взрывного воздействия на десятиэтажное здание при полном разрушении перекрытия (первый этаж) // Системные технологии. 2023. № 4 (49). С. 6 – 16.
- 27.** Курбанмагомедов А. К. Рост трещины при термомеханическом нагружении. Москва: Наука, 2024. 146 с.

WAVE TECHNOLOGIES IN THE TASKS OF SETTING UP A GROUND-BASED CIVIL DEFENSE PROTECTIVE STRUCTURE DURING SHOCK, EXPLOSIVE AND SEISMIC IMPACTS

V. K. Musayev * / *** / *** / **** / ***** / *****

* Russian Professorial Assembly, Moscow

** Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction of Russia, Moscow

*** Russian University of Transport, Moscow

**** Russian State Geological Exploration University named after Sergo Ordzhonikidze, Moscow

***** Russian Academy of Natural Sciences, Moscow

***** Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences, Moscow

Abstract

This study provides information on computer modeling of non-stationary transient waves in a ground-based civil defense protective structure during shock, explosive and seismic impacts. To study, determine and evaluate transient wave processes, a special methodology, algorithm and computational software package have been developed by Musayev V. K. This complex allows you to obtain displacements, displacement velocities, accelerations, stresses and deformations in deformable bodies of complex shape during non-stationary wave processes. When creating the software package, the algorithmic language

The Keywords

Civil defense for peaceful purposes, natural and technosphere safety, protective structure, contour voltage, load-bearing capacity, a set of programs by Musayev V. K.

Fortran-90 was used. The study area was divided into finite elements of the first order according to spatial and temporal variables. Using mathematical modeling, a system with an infinite number of unknowns was reduced to a system with a finite number of unknowns. To assess the reliability and accuracy of the developed software package, the problems of the effect of non-stationary stress waves on various geo objects were solved. The results of the stress state showed qualitative and quantitative agreement with the real data.

Date of receipt in edition

01.12.2025

Date of acceptance for printing

04.12.2025

Ссылка для цитирования:

B. K. Musaev. Волновые технологии в задачах постановки наземного защитного сооружения гражданской обороны при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях. — Системные технологии. — 2025. — № 4 (57). — С. 48 – 58.