



УДК 539.3

doi: 10.48612/dnitii/2025_57_18-27

ПОСТАНОВКА ДЕСЯТИЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ С ПОДВАЛОМ И ОСНОВАНИЕМ ПРИ УДАРНЫХ, ВЗРЫВНЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛНОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ С ПОМОЩЬЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МУСАЕВА В. К.

А. К. Курбанмагомедов
С. В. Акатьев
В. В. Стародубцев
Е. В. Дикова
А. В. Мусаев

Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, г. Москва

Аннотация

Это исследование содержит информацию о цифровом моделировании нестационарных переходных волн. 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 различные задачи о волновом воздействии на различные деформируемые геообъекты. Результаты исследований напряжений показали качественное и количественное соответствие с реальными данными. Были решены задачи об ударных, взрывных и сейсмических воздействиях на десятиэтажное здание. Получены контурные напряжения.

Ключевые слова

Безопасность в чрезвычайных ситуациях, гражданская оборона в мирных целях, природная и техносферная безопасность, десятиэтажное здание, удар, взрыв, сейсмика, контурное напряжение, несущая способность, первое предельное состояние, механическое напряжение, прочность, 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]. Статья посвящена численному волновому воздействию на десятиэтажное здание с основанием.

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. 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. 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. 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,озведенные 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. 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. Представленные результаты в статье можно квалифицировать, как информационный шум или макулатура.

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.

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 [3–4, 7–15, 20–25].

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 [20]. Задачи [20] решаются с помощью метода математического моделирования (вычислительный эксперимент) для распространения нестационарных волн напряжений в сложных деформируемых объектах. Оценка точности и достоверности (верификация) рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ приведена в следующих работах [3 – 4, 7 – 15, 20 – 25].

Моделирование волн напряжений в десятиэтажном сооружении при внешнем ударном воздействии

Рассматривается задача о воздействии сосредоточенного ударного воздействия в виде трапеции на десятиэтажное здание с подвалом (*рис. 1 – 2*) [20, 25].

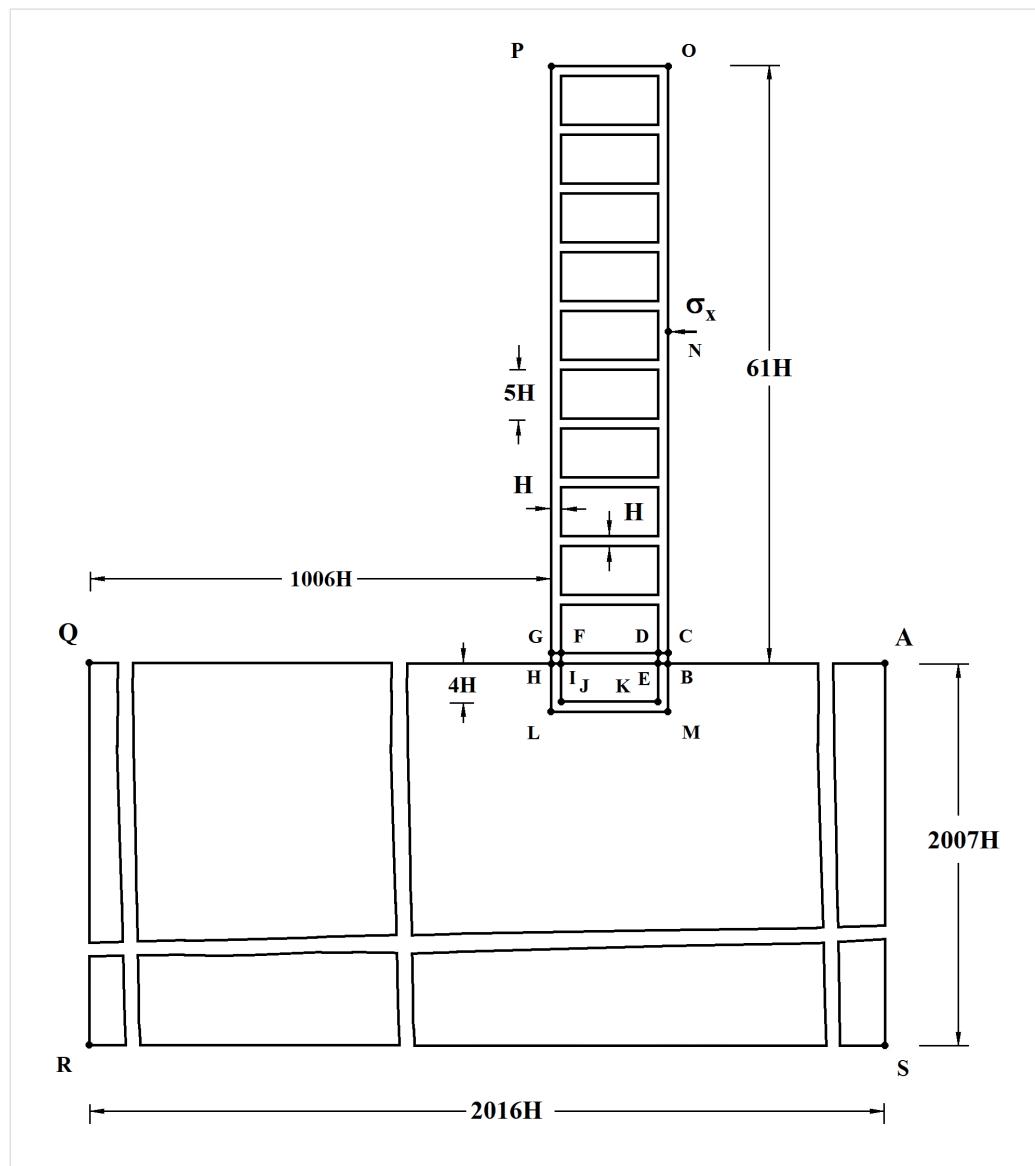


Рис. 1. Постановка задачи для десятиэтажного здания с упругим основанием в виде полуплоскости при сосредоточенном ударном воздействии. Схема Мусаева В. К.

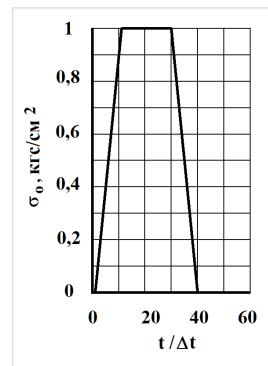


Рис. 2. Ударное воздействие в виде трапеции. График Мусаева В. К.

Получены контурные напряжения. Исследуемая задача впервые решена Мусаевым В. К. с помощью разработанной методики, алгоритма и комплекса программ [20, 25].

Моделирование волн напряжений в десятиэтажном сооружении при взрывном воздействии в подвале

Рассматривается задача о взрывном воздействии в подвале десятиэтажного здания (*рис. 3–5*) [20, 24].

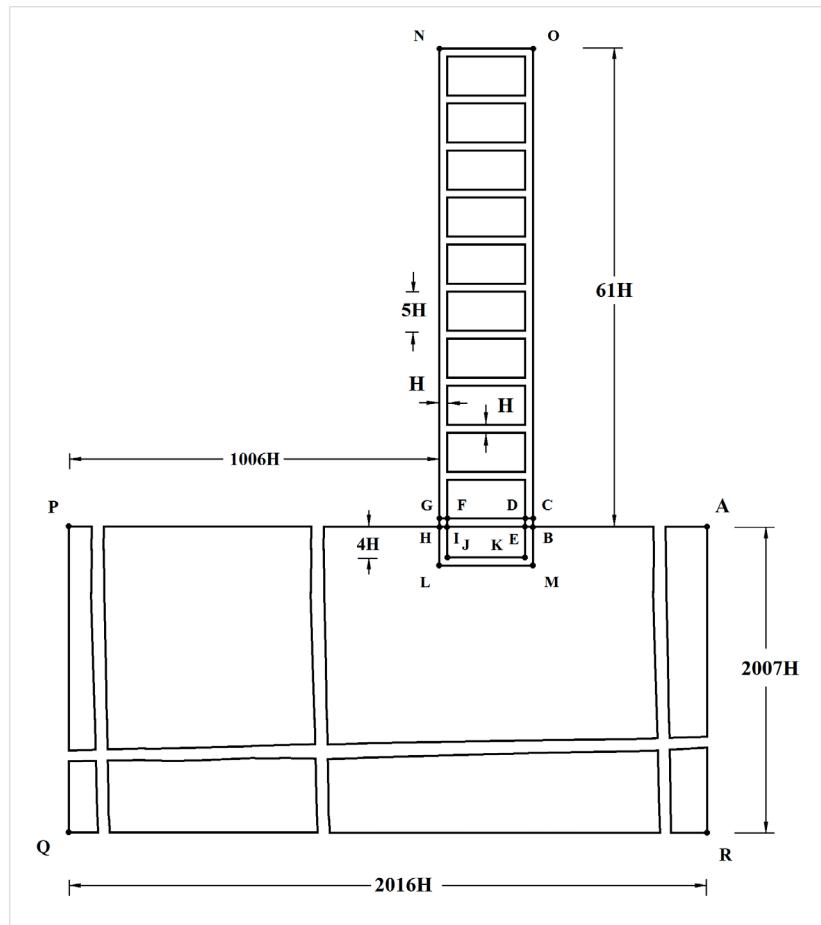


Рис. 3. Постановка задачи для десятиэтажного здания при внутреннем взрыве в подвале десятиэтажного здания. Схема В. К. Мусаева

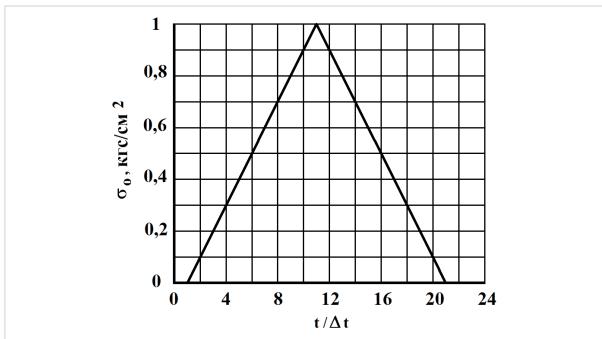


Рис. 4. Воздействие в виде треугольного импульса. График В. К. Мусаева

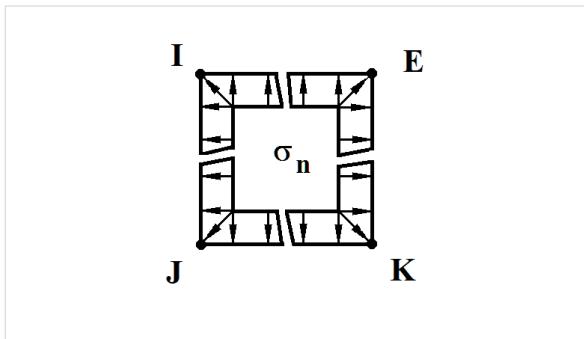


Рис. 5. Взрывное воздействие по контуру подвального этажа. Схема В. К. Мусаева

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

Моделирование волн напряжений в десятиэтажном сооружении при внешнем сейсмическом воздействии

Рассматривается задача о моделировании напряженного состояния в десятиэтажном здании с подвальным этажом (*рис. 6*) при сейсмическом воздействии в виде функции Хевисайда (*рис. 7*) [20, 21].

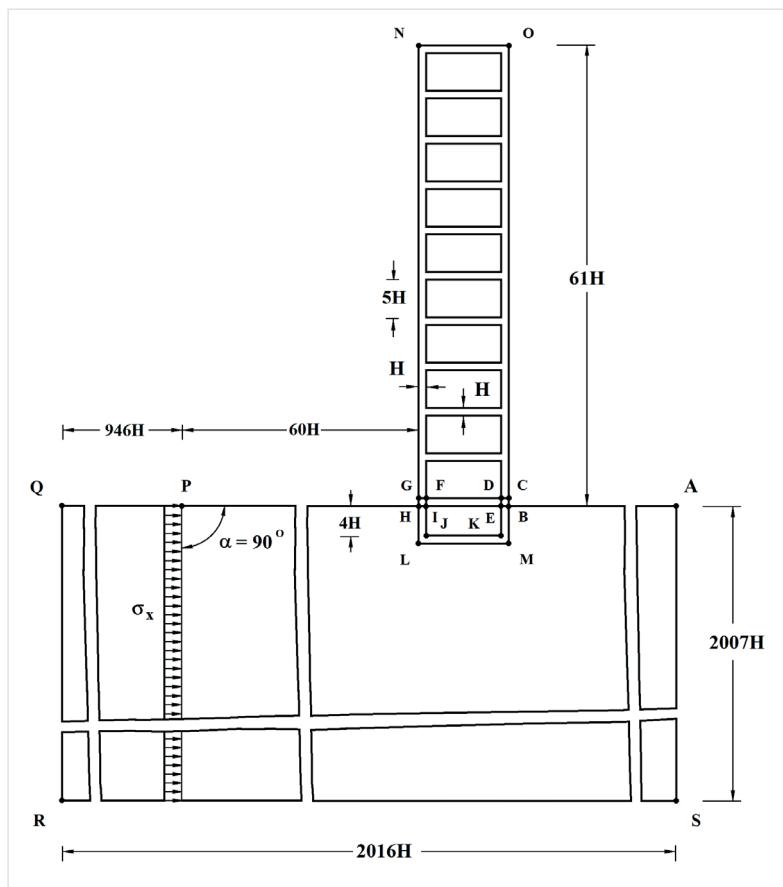


Рис. 6. Постановка задачи для десятиэтажного здания с упругим основанием при сейсмическом воздействии. Схема Мусаева В. К.

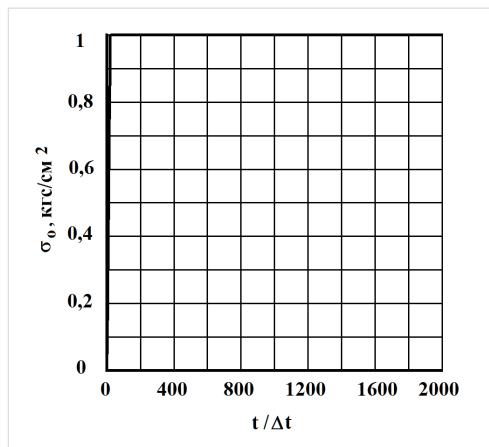


Рис. 7. Воздействие в виде функции Хевисайда для решения задачи о сейсмическом воздействии на десятиэтажное здание с подвалом. График Мусаева В. К.

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

Выводы

1. Для решения динамической теории упругости, при нестационарных волновых воздействиях, разработан вычислительный комплекс программ Мусаева В. К. При разработке комплекса программ использовался алгоритмический язык Фортран-90.
2. Оценку несущей способности и прочности для технических систем можно реализовать с помощью напряженного состояния.
3. 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.
4. Решена задача о воздействии волновой функции на десятиэтажное здание при ударном, взрывном и сейсмическом воздействии.

Библиографический список

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. Москва: Мир, 1975. 543 с.
2. Кольский Г. Волны напряжений в твердых телах. Москва: Иностранная литература, 1955. 192 с.
3. 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.
4. Musayev V. K. Problem of the building and the base interaction under seismic loads // Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering. 2741. Auckland: University of Canterbury, 2000. P. 1 – 6.
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 Курпайской плотине с грунтовым основанием при незаполненном водохранилище // Геология и геофизика Юга России. 2017. № 2. С. 98–105.
9. Спиридонос В. П. Определение некоторых закономерностей волнового напряженного состояния в геообъектах с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Современные научноемкие 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.** *Musaev B. K.* Математическое моделирование нестационарных волн напряжений в деформируемых тела 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.** *Musaev B. K.* Математическое моделирование внешнего сосредоточенного взрывного воздействия на десятиэтажное здание при полном разрушении перекрытия (первый этаж) // Системные технологии. 2023. № 4 (49). С. 6 – 16.
- 25.** *Musaev B. K.* 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.
- 26.** *Курбанмагомедов А. К.* Рост трещины при термомеханическом нагружении. Москва: Наука, 2024. 146 с.

SETTING UP A TEN-STORY BUILDING WITH A BASEMENT AND A BASE DURING SHOCK, EXPLOSIVE AND SEISMIC WAVE IMPACTS USING THE MUSAYEV V. K. COMPUTER SYSTEM

A. K. Kurbanmagomedov
S. V. Akatyev
V. V. Starodubtsev
E. V. Dikova
A. V. Musayev

Abstract

This study provides information on digital modeling of unsteady transient waves. 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 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, various problems about the wave effect on different deformable geo objects were solved. The results of stress studies have shown qualitative and quantitative agreement with real data. The problems of shock, explosive and seismic effects on a ten-storey building have been solved. Contour voltages have been obtained.

The Keywords

Safety in emergency situations, civil defense for peaceful purposes, natural and technosphere safety, ten-storey building, impact, explosion, seismic, contour stress, bearing capacity, first limit condition, mechanical stress, strength, complex of programs

Musayev V. K.

Date of receipt in edition

01.12.2025

Date of acceptance for printing

04.12.2025

Ссылка для цитирования:

А. К. Курбанмагомедов, С. В. Акатьев, В. В. Стародубцев, Е. В. Дикова, А. В. Мусаев. Постановка десятиэтажного здания с подвалом и основанием при ударных, взрывных и сейсмических волновых воздействиях с помощью вычислительной системы Мусаева В. К. — Системные технологии. — 2025. — № 4 (57). — С. 18–27.