



УДК 539.3

doi: 10.48612/dnitii/2023_49_6-16

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНЕГО СОСРЕДОТОЧЕННОГО ВЗРЫВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ДЕСЯТИЭТАЖНОЕ ЗДАНИЕ ПРИ ПОЛНОМ РАЗРУШЕНИИ ПЕРЕКРЫТИЯ (ПЕРВЫЙ ЭТАЖ)

В. К. Мусаев^{*/**/**}

* Российский университет транспорта, г. Москва

** Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва

*** Российская академия ракетных и артиллерийских наук, г. Москва

Аннотация

Актуальность

Приводится информация о цифровом моделировании нестационарных волн на десятиэтажное здание с учетом и без учета перекрытия первого этажа при внешнем вертикальном сосредоточенном воздействии. Моделирование (компьютерное) нестационарного взрывного воздействия является актуальной научной (фундаментальной и прикладной) задачей.

Методика

Исследования, определение и оценка переходных волновых (нестационарных) процессов производится с помощью разработанной методики, алгоритма и комплекса программ. Они позволяют получить перемещения, скорость перемещений, ускорения, напряжения и деформации в деформируемых телах сложной формы при нестационарных волновых процессах. При разработке комплекса программ использовался алгоритмический язык Фортран-90. Исследуемая область аппроксимируется на конечные элементы первого порядка по пространственным и временным переменным.

Результаты

Решена задача о воздействии импульса в виде полтора периода синусоиды на упругую полуплоскость для оценки достоверности и точности разработанного комплекса программ. Решена задача о внешнем вертикальном сосредоточенном взрывном воздействии на десятиэтажное здание с упругой полуплоскостью. Рассматриваются два варианта: с учетом и без учета перекрытия первого этажа.

Ключевые слова

техносферная безопасность, волновая теория взрывной безопасности, полупериод синусоиды, импульс, дельта функция, десятиэтажное здание, упругая полуплоскость, прогрессирующее разрушение, контурное напряжение, несущая способность, механическое напряжение, прочность, комплекс программ Мусаева В.К.

Дата поступления в редакцию

29.11.2023

Дата принятия к печати

30.11.2023

Введение

В работе приводится численное решение задачи о моделировании нестационарных взрывных волн на десятиэтажное здание с упругой полуплоскостью для двух вариантов, то есть с учетом и без учета перекрытия первого этажа.

Постановка нестационарных волновых задач, методы и результаты решенных задач приведены в следующих работах [1 – 30].

Математическое моделирование, как инструментарий фундаментальных прикладных наук, имеет свой набор «кирпичиков» для исследования, анализа и описания полученных результатов. Это буквы и цифры, математические знаки и уравнения, элементы языков программирования, термины исследуемого научного направления и тому подобное. Главным в любой научной работе является научный результат в виде графиков, которые позволяют наглядно показать новые знания и закономерности. Однако для описания научных результатов применяются в основном буквы разных языков. В данном случае это буквы русского, латинского и греческого алфавита. Описание научных результатов в виде слов, можно квалифицировать, как слова, словосочетания и предложения. Закрытой мыслью является предложение от точки до точки. Поэтому буквы, слова и словосочетания не могут быть объектом плагиата, так как слова и словосочетания в закрытой мысли автора, могут нести разный смысл, в предложении от точки к точке. Рассмотрение букв, слов и словосочетаний в качестве объекта плагиата (заимствования) является грубейшим нарушением положений действующего российского и международного законодательства. Предложения могут рассматриваться на плагиат, но без научных результатов, такой анализ можно считать некорректным, то есть не однозначным. Поэтому главным героем можно считать научный результат в виде графиков или таблиц, а остальная информация может претендовать на роль не главную. Отсюда можно сделать вывод: научный результат один, а комментариев очень много. Программированный и алгоритмический подход представления научных результатов в настоящее время является приоритетным в цифровой экономике. Каждый ученый имеет свои инструменты для исследования и представления научных результатов. Плагиат может распространяться на научные результаты в виде иллюстраций или таблиц — это высший пилотаж научных результатов. Также такая точка зрения юридических законов о защите авторских прав, как в российском, так и в международном законодательстве. Однако если мы выбросим иллюстрации или таблицы научных результатов, тогда будем находиться в плену своих иллюзий. Например, рассмотрим некоторые задачи в области безопасности по несущей способности (прочности). Задачи по нагрузке и геометрии могут быть разные, но для анализа нужно знать напряженное состояние. Поэтому термины в этой области исследований одинаковы и для их описания имеются нормативные документы. Хотя в науке очень часто авторы создают свои термины. Комментарий, научного результата, в котором отсутствует выход исследований в виде иллюстраций или таблиц, можно квалифицировать, как информационный шум или макулатура.

В задачах безопасности уникальных объектов по несущей способности (прочности) применяются уравнения нестационарной волновой теории упругости. Такой подход принят для всех задач механики деформируемого твердого тела при нестационарных волновых воздействиях.

Поэтому создание инструментария математического (вычислительного) эксперимента для исследования поставленной проблемы является актуальной фундаментальной и прикладной научной задачей [5, 13 – 14, 29 – 30].

Применение рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ для решения нестационарных волновых задач в деформируемых телах сложной (различной) формы приведено в работах [5, 13 – 14, 29 – 30].

Оценка точности и достоверности (верификация) рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ приведена в следующих работах [5–9, 12–15, 17–21, 24–25, 29–30].

Приводится численное решение задачи о моделировании нестационарных волн при сосредоточенном внешнем вертикальном взрывном воздействии на десятиэтажное здание.

Модели и методы

Для моделирования нестационарных волн переходного периода в деформируемых телах сложной формы, рассмотрено некоторое тело в прямоугольной декартовой системе координат (прямолинейная система координат с взаимно перпендикулярными осями на плоскости), 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. Деформируемые тела восстанавливают полностью свою форму после снятия нагрузки. Для решения задачи о распространении волн напряжений в деформируемых телах применяем уравнения динамической теории упругости [5, 13–14, 29–30]. Систему уравнений в некоторой области деформируемого тела, следует интегрировать при начальных и граничных условиях [5, 13–14, 29–30]. Для решения нестационарной динамической задачи теории упругости с начальными и граничными условиями (задача Коши) – используем метод конечных элементов (численное моделирование уравнений переходного процесса) [5, 13–14, 29–30]. Задача решается с помощью метода математического моделирования для распространения нестационарных волн напряжений в сложных деформируемых объектах. Приближенное уравнение движения в волновой теории упругости, с учетом определения матриц и векторов для некоторого тела, приведено в следующих работах [5, 13–14, 29–30]. С помощью метода Галеркина, получена двумерная явная двухслойная линейная схема для внутренних и граничных узловых точек исследуемых объектов [5, 13–14, 29–30]. Шаг по временной переменной определяем из условия Куранта-Фридрихса-Леви [5, 13–14, 29–30]. На основе метода конечных элементов разработана методика, алгоритм и комплекс программ для моделирования волн в деформируемых телах [5, 13–14, 29–30]. Исследуемая область разбивается на конечные элементы первого порядка (треугольные и прямоугольные), так как конечные элементы первого порядка позволяют хорошо моделировать фронты нестационарных волн в деформируемых телах, а также аппроксимировать разрывы на фронтах различных волн [5, 13–14, 29–30]. Для исследуемой области, состоящей из материалов с разными физическими свойствами, выбирается минимальный шаг по временной координате.

На основе численного метода конечных элементов разработана методика, разработан алгоритм и составлен комплекс программ для решения двумерных волновых задач динамической теории упругости [5, 13–14, 29–30].

Оценка достоверности моделирования волн напряжений

Рассматривается задача о распространении в упругой полуплоскости (**рис. 1**) плоской продольной волны в виде полупериода синусоиды (**рис. 2**) для оценки физической достоверности и математической точности [13–14, 29–30]. Исследуемая задача впервые решена Мусаевым В. К. с помощью разработанной методики, алгоритма и комплекса программ [13–14, 29–30].

Расчеты проводились при следующих единицах измерения: килограмм-сила (кгс); сантиметр (см); секунда (с). Для перехода в другие единицы измерения были приняты следующие допущения: $1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,098 \text{ МПа}$; $1 \text{ кгс с}^2/\text{см}^4 \approx 0,98 \cdot 10^9 \text{ кг/м}^3$.

На границе полуплоскости АВ (рис. 1) приложено нормальное напряжение σ_y , которое изменяется от $0 \leq n \leq 91$ ($n = t/\Delta t$) и максимальное значение равно P ($P = \sigma_0$, $\sigma_0 = -0,1 \text{ МПа}$ (-1 кгс/см^2)). Граничные условия для контура BCDA при $t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные волны от контура BCDA не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n \leq 200$.

Расчеты проведены при следующих исходных данных: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 1,862 \cdot 10^{-6} \text{ с}$; $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ($2,1 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2$); $\nu = 0,3$; $\rho = 0,784 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3$ ($0,8 \cdot 10^{-5} \text{ кгс с}^2/\text{см}^4$); $C_p = 5371 \text{ м/с}$; $C_s = 3177 \text{ м/с}$.

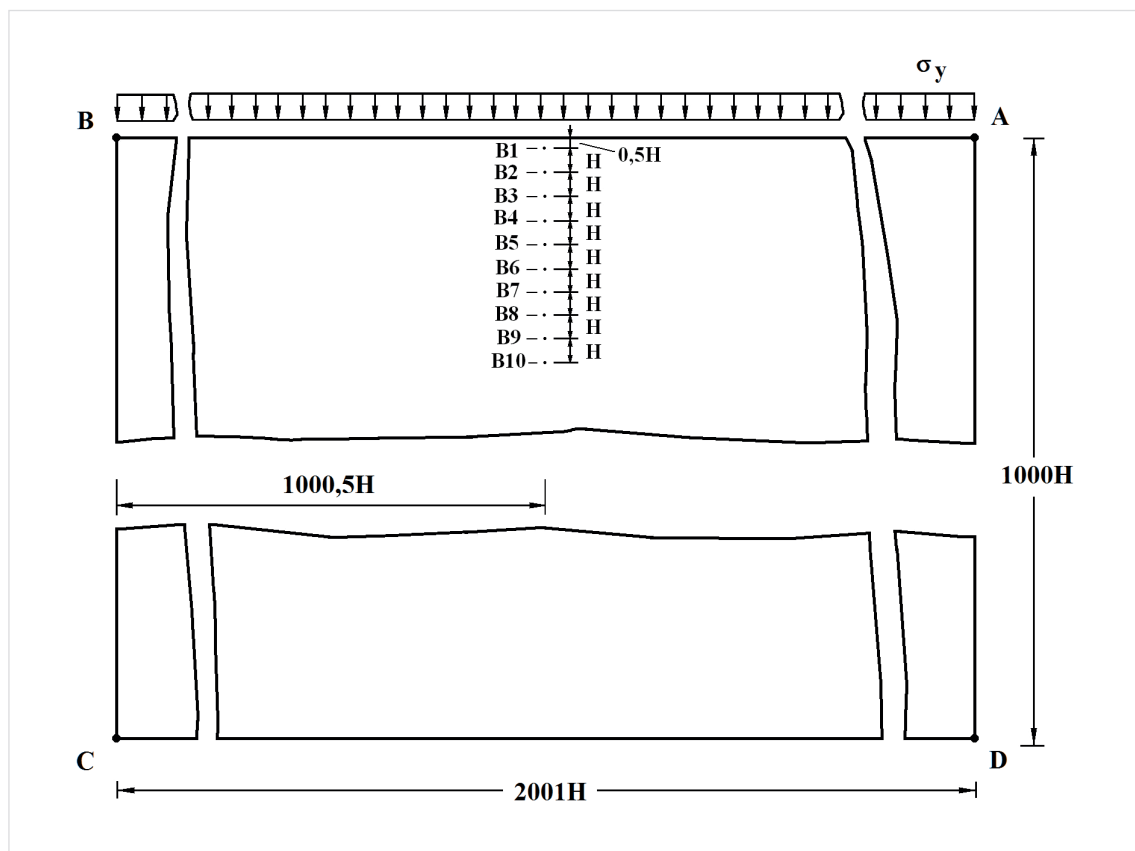


Рис. 1. Постановка задачи о распространении плоских продольных волн в виде полтора периода синусоиды в упругой полуплоскости

Исследуемая расчетная (аппроксимированная) область имеет 2004002 узловые точки. Решается система уравнений из 8016008 неизвестных по явной двухслойной схеме. Результаты расчетов волновых напряжений получены в характерных точках B1 – B10 исследуемой области (рис. 1).

В качестве примера на рис. 3 приводится изменение нормального напряжения $\bar{\sigma}_y = (\bar{\sigma}_y = \sigma_y/|\sigma_0|)$ (рис. 1) во времени n в точке B1 (1 — численное решение; 2 — аналитическое решение).

В данном случае можно использовать условия на фронте плоской волны, которые изложены в работе [2].

На фронте плоской продольной волны имеются следующие аналитические зависимости для плоского напряженного состояния $\sigma_y = -|\sigma_0|$. Отсюда видим, что точное решение задачи соответствует воздействию σ_0 (рис. 2).

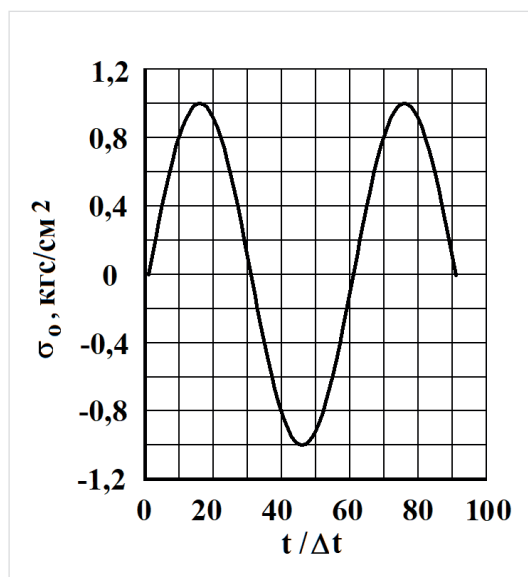


Рис. 2. Импульсное воздействие в виде полтора периода синусоиды

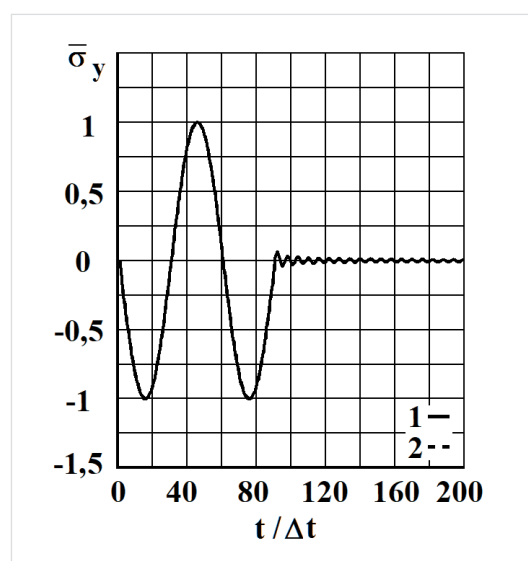


Рис. 3. Изменение упругого нормального напряжения $\bar{\sigma}_y$ (задача о распространении плоских продольных волн в виде полтора периода синусоиды в упругой полуплоскости) во времени $t/\Delta t$ в точке В1: 1 — численное (цифровое) решение; 2 — аналитическое (точное) решение

Моделирование волн напряжений в десятиэтажном здании при внешних взрывных воздействиях

Рассматривается задача о моделировании напряженного состояния в десятиэтажном здании (рис. 4 – 5) при воздействии плоской продольной упругой волны в виде треугольного импульса, то есть дельта функции (рис. 6).

Расчеты проводились при следующих единицах измерения: килограмм-сила (кгс); сантиметр (см); секунда (с). Для перехода в другие единицы измерения были приняты следующие допущения: $1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,1 \text{ МПа}$; $1 \text{ кгс}\cdot\text{с}^2/\text{см}^4 \approx 10^9 \text{ кг/м}^3$.

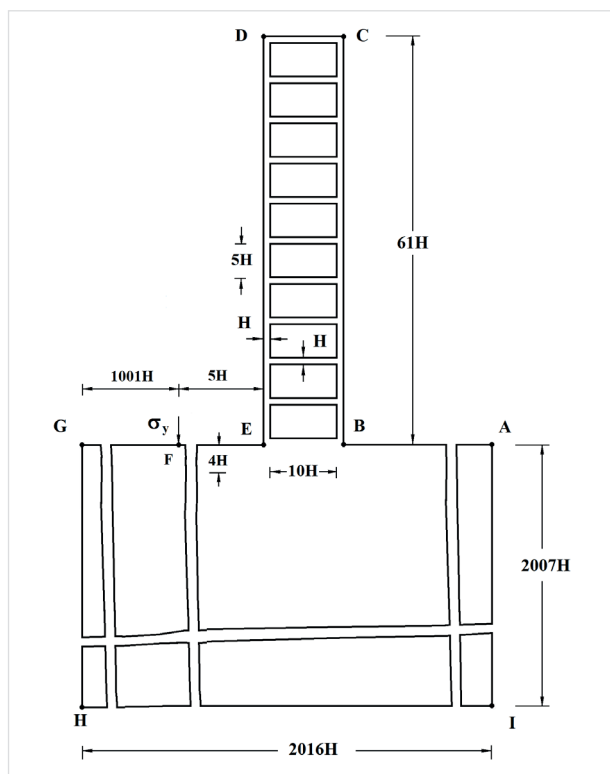


Рис. 4. Постановка задачи для десятиэтажного здания с упругим основанием при внешнем сосредоточенном взрывном воздействии. Схема Мусаева В. К.

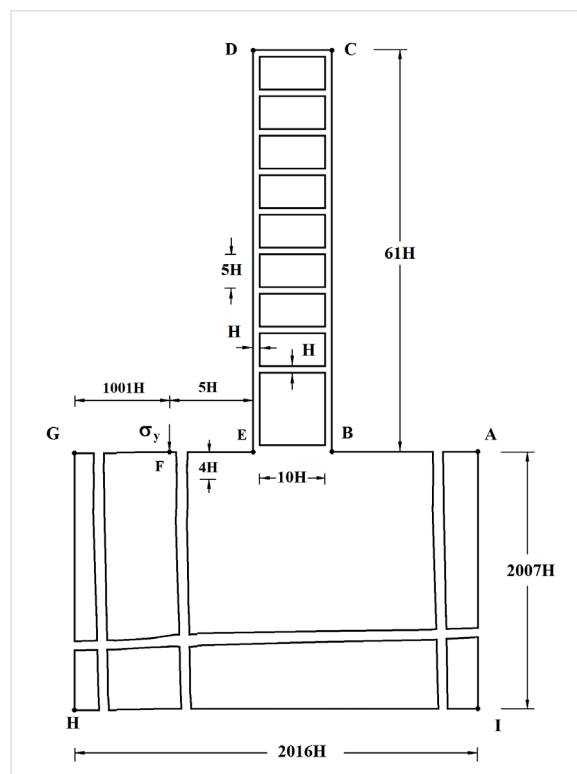


Рис. 5. Постановка задачи для десятиэтажного здания с упругим основанием при внешнем сосредоточенном взрывном воздействии (отсутствие перекрытия первого этажа). Схема Мусаева В. К.

Исследуемая задача впервые решена Мусаевым В. К. с помощью разработанной методики, алгоритма и комплекса программ [13 – 14, 29 – 30].

Начальные условия приняты нулевыми. От точки F перпендикулярно свободной поверхности AFG приложено нормальное напряжение σ_y , которое при $0 \leq n \leq 11$ ($n = t/\Delta t$) изменяется линейно от 0 до P, а при $11 \leq n \leq 21$ от P до 0 ($P = \sigma_0$, $\sigma_0 = -0,1$ МПа (-1 кгс/см²)).

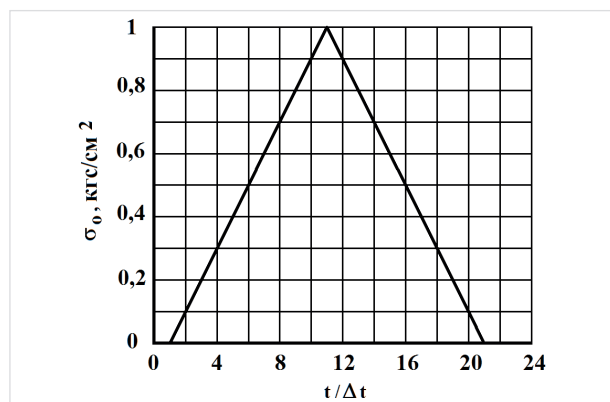


Рис. 6. Воздействие в виде треугольного импульса (модель взрывного воздействия). График Мусаева В. К.

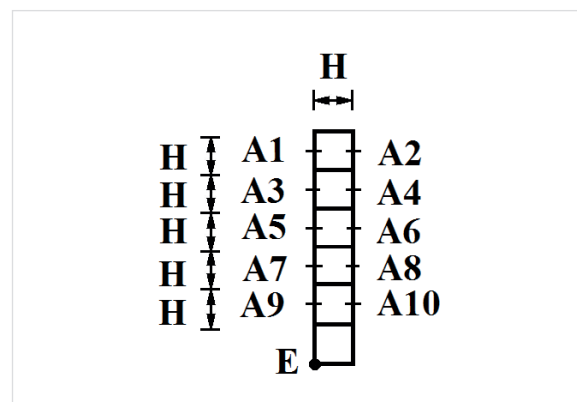


Рис. 7. Точки, в которых получены упругие напряжения во времени в левой колонне первого этажа. Схема Мусаева В. К.

Граничные условия для контура ГНІА при $t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные волны от контура ГНІА не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n \leq 500$. Решается система уравнений из 16202276 неизвестных.

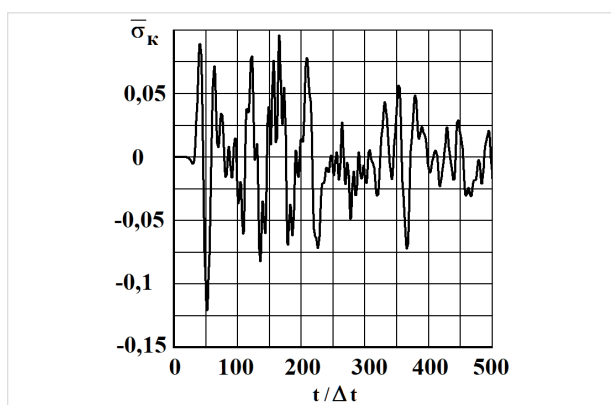


Рис. 8. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в точке A1 с перекрытием первого этажа на контуре десятиэтажного здания во времени $t/\Delta t$. График Мусаева В. К.

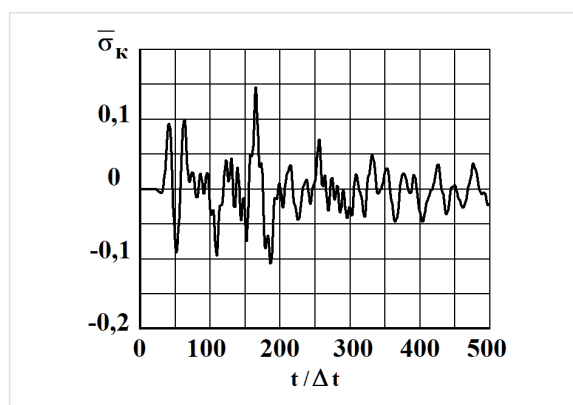


Рис. 9. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в точке A1 без перекрытия первого этажа на контуре десятиэтажного здания во времени $t/\Delta t$. График Мусаева В. К.

Контурное напряжение $\bar{\sigma}_k$ получено в точках A1 – A10 (рис. 7). В точке A1 (рис. 8–9) показано изменение контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в десятиэтажном здании во времени $t/\Delta t$. Полученные результаты показывают тенденцию изменения контурных напряжений.

Полученные результаты показывают тенденцию изменения контурных напряжений в исследуемых точках.

В качестве примера приводится изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в точке A1: 1 — с перекрытием первого этажа (рис. 8), 2 — без перекрытия первого этажа (рис. 9) на контуре колонны первого этажа десятиэтажного здания во времени $t/\Delta t$ (рис. 7).

Выводы

1. Для решения поставленной задачи о внешнем вертикальном сосредоточенном взрывном воздействии на десятиэтажное здание (с учетом и без учета перекрытия первого этажа) применяются уравнения нестационарной динамической теории упругости. На основе метода конечных элементов разработана методика и разработан алгоритм. Составлен комплекс программ для решения нестационарных волновых задач переходного периода для областей разной (сложной) формы.

2. Для оценки достоверности разработанного программного продукта была решена задача о распространении плоских продольных волн в упругой полуплоскости в виде полтора периода синусоиды.

3. Десятиэтажное здание моделируется с упругим основанием в виде упругой полуплоскости. Взрывное воздействие моделируется в виде треугольного импульса или дельта функции. Решается система уравнений из 16202276 неизвестных. Для задачи с перекрытием в точке A1: максимальное сжимающее контурное напряжение равно: 0,12060; максимальное растягивающее контурное напряжение равно: 0,09600. Для задачи без перекрытия первого этажа в точке A1: максимальное

сжимающее контурное напряжение равно: 0,10660; максимальное растягивающее контурное напряжение равно: 0,14580. Полученные результаты показывают тенденцию изменения контурных напряжений.

Библиографический список

1. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. М: Мир, 1975. 543 с.
2. *Тимошенко С. П., Гудьер Д.* Теория упругости. М.: Наука, 1975. 576 с.
3. *Ионов В. И., Огибалов П. М.* Напряжения в телах при импульсивном нагружении. М.: Высшая школа. 1975. 464 с.
4. *Работнов Ю. Н.* Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1979. 744 с.
5. *Мусаев В. К.* Решение задачи дифракции и распространения упругих волн методом конечных элементов // Строительная механика и расчет сооружений. 1990. № 4. С. 74–78.
6. *Мусаев В. К.* Определение упругих волновых напряжений в подкрепленном круглом отверстии с помощью метода конечных элементов в перемещениях // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2007. № 3. С. 29–33.
7. *Мусаев В. К.* Моделирование волн напряжений в сложных областях с помощью метода вычислительной механики // Исследования по теории сооружений. 2010. № 2. С. 44–52.
8. *Мусаев В. К.* Вычислительный эксперимент в задачах моделирования нестационарных волн напряжений в областях сложной формы // Исследования по теории сооружений. 2010. № 2. С. 138–149.
9. *Мусаев В. К.* О моделировании отражения упругих волн напряжений от свободной поверхности деформируемой области // Двойные технологии. 2012. № 4. С. 61–64.
10. *Nemchinov V. V.* Diffraction of a plane longitudinal wave by spherical cavity in elastic space // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2013. Volume 9. Issue 1. P. 85–89.
11. *Nemchinov V. V.* Numerical methods for solving flat dynamic elasticity problems // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2013. Volume 9. Issue 1. P. 90–97.
12. *Мусаев В. К.* О достоверности компьютерного моделирования нестационарных упругих волн напряжений в деформируемых телах сложной формы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. — № 11. С. 10–14.
13. *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.
14. *Musayev V. K.* On the mathematical modeling of nonstationary elastic waves stresses in corroborated by the round hole // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. Volume 11, Issue 1. P. 147–156.
15. *Спирidonov В. П.* Определение некоторых закономерностей волнового напряженного состояния в геобъектах с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 12–5. С. 832–835.

16. Шиянов С. М., Стародубцев В. В., Самойлов С. Н., Мусаев А. В., Рыбка В. С. Определение нестационарных волн напряжений в окружающей среде при взрывных воздействиях в объекте хранения опасных веществ с полостью (соотношение ширины к высоте один к пяти) с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIII Международной конференции. М.: РГГУ, 2015. С. 407 – 410.

17. 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. М.: РГГУ. 2016. С. 352 – 355.

18. 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.

19. 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. М.: РУДН. 2017. С. 339 – 341.

20. 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.

21. 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. М.: РУДН, 2017. С. 339 – 341.

22. Стародубцев В. В. Моделирование напряженного состояния надземного нефтепровода при внешнем нестационарном взрывном воздействии с помощью комплекса программ Мусаева В. К. // I Международная научно-техническая конференция «Долговечность и надежность строительных материалов и конструкций в эксплуатационной среде». Балаково: Московский физико-технический университет, 2017. С. 502 – 511.

23. Шиянов С. М., Акатьев С. В., Самойлов С. Н. Применение волновой теории взрывной безопасности для оценки прочности уникальных объектов с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXV Международной конференции. М.: РГГУ, 2017. С. 387 – 391.

24. Стародубцев В. В., Мусаев А. В., Дикова Е. В., Кузнецов М. Е., Федоров А. Л. Применение численного метода Мусаева В. К. для моделирования воздействия в виде двух импульсов (первый – полукруг, второй – треугольник) в упругой полуплоскости // Новые технологии науки, техники, педагогики высшей школы: материалы Международной научно-практической конференции «Наука – Общество – Технологии — 2017». М.: Московский политех, 2017. С. 94 – 100.

25. 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.

26. Musayev V. K. Mathematical modeling of non-stationary elastic waves stresses under a concentrated vertical exposure in the form of delta functions on the surface of the half-plane (Lamb problem) // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2019. Volume 15, Issue 2. P. 111 – 124.

27. Мусаев В. К. Математическое моделирование нестационарных упругих волн напряжений (переходной процесс) при воздействии (вертикальное сосредоточенное в виде треугольного импульса) на поверхность полуплоскости (задача Лэмба) // Геология и геофизика Юга России. 2020. № 4. С. 164 – 174.

28. Мусаев В. К. Математическое моделирование волн напряжений при сосредоточенном вертикальном воздействии в виде треугольного импульса: задача Лэмба // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2021. № 2. С. 112 – 120.

29. Мусаев В. К. Математическое моделирование нестационарных волн напряжений в деформируемых телах при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях. М.: Российский университет транспорта, 2021. 629 с. ISBN 978-5-7473-1067-4.

30. 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.

MATHEMATICAL MODELING OF EXTERNAL CONCENTRATED EXPLOSIVE IMPACT ON A TEN-STOREY BUILDING WITH COMPLETE DESTRUCTION OF THE OVERLAP (FIRST FLOOR)

V. K. Musayev^{*/**/**}

* Russian University of Transport, Moscow

** Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow

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

Abstract

Relevance

Information is provided on the digital modeling of non-stationary waves on a ten-storey building, taking into account and without taking into account the overlap of the first floor with an external vertical concentrated impact. Modeling (computer) of unsteady explosive impact is an urgent scientific (fundamental and applied) task.

The Keywords

technosphere safety, wave theory of explosive safety, sinusoid half-period, pulse, delta function, ten-storey building, elastic half-plane, progressive destruction, contour stress, bearing capacity, mechanical stress, strength, software package Musayev V. K.

Methodology

Research, determination and evaluation of transient wave (non-stationary) processes is carried out using the developed methodology, algorithm and software package. They make it possible to obtain displacements, velocity of displacements, accelerations, stresses and deformations in deformable bodies of complex shape during non-stationary wave processes. The algorithmic language Fortran-90 was used in the development of the software package. The area under study is approximated by finite elements of the first order by spatial and temporal variables.

Date of receipt in edition

29.11.2023

Date of acceptance for printing

30.11.2023

Results

The problem of the impact of a pulse in the form of a sinusoid period and a half on an elastic half-plane is solved to assess the reliability and accuracy of the developed software package. The problem of an external vertical concentrated explosive impact on a ten-storey building with an elastic half-plane is solved. Two options are considered: taking into account and without taking into account the overlap of the first floor.

Ссылка для цитирования:

В. К. Мусаев. Математическое моделирование внешнего сосредоточенного взрывного воздействия на десятиэтажное здание при полном разрушении перекрытия (первый этаж). — Системные технологии. — 2023. — № 4 (49). — С. 6–16.

