

процесса нагружения на заданном интервале изменения временного параметра τ , получая в результате полное описание кинетики вязкоупругого деформирования изделия.

Предельное состояние конструкции определяем по величине интенсивности накопленной деформации ползучести ϵ_i^c . В качестве предельно допустимой величины интенсивности деформаций ползучести принимаем величину $\epsilon_{кр}^c = 0,03 - 0,05$. При таких значениях деформаций существенно возрастает вероятность возникновения трещин в конструкционном материале.

Располагаемый ресурс изделия характеризуется временным интервалом $[0, \tau_{кр}]$, где $\tau_{кр}$ – момент времени, когда исследуемая конструкция достигает предельного состояния, и выполняется условие $\epsilon_i^c = \epsilon_{кр}^c$.

Для определения ресурса изделия $\tau_{кр}$ используем сочетание шагового метода [2] с последующим уточнением по методу хорд. При этом на каждом шаге выполняем решение задачи Коши (5) – (7), затем вычисляем интенсивность накопленной деформации ползучести:

$$\epsilon_i^c = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_s^c - \epsilon_i^c)^2 + (\epsilon_i^c - \epsilon_z^c)^2 + (\epsilon_z^c - \epsilon_s^c)^2}$$

и проверяем условие $\epsilon_i^c = \epsilon_{кр}^c$.

Предложенный метод реализован в виде программного обеспечения. Программный комплекс «CreepingTube» имеет модульную структуру, функционирует в операционных системах Windows 7/10. Позволяет выполнять численный анализ несущей способности и располагаемого ресурса высокотемпературных трубчатых элементов, прогнозировать их долговечность в условиях нестационарного силового и температурного воздействия.

Программный продукт «CreepingTube» применяли для расчета реакционных труб печи конверсии метана на производстве аммиака. Диаметр труб $D = 115$ мм, толщина стенки $h = 10$ мм. Давление па-

рогазовой смеси в трубах $q = 3,6$ МПа, температура $T_0 = 930$ °С. Конструкционный материал – сталь 45Х25Н20С. Параметры математической модели ползучести для стали: $C = 1,3 \cdot 10^{11}$ 1/ч; $n = 4,1$; $\Delta H = 2,9 \cdot 10^5$ Дж/моль; предел текучести при 20 °С $\sigma_T = 240$ МПа.

На рис. 1 показано относительное изменение диаметра $\Delta D/D_0$ трубчатого элемента в процессе развития деформаций ползучести.

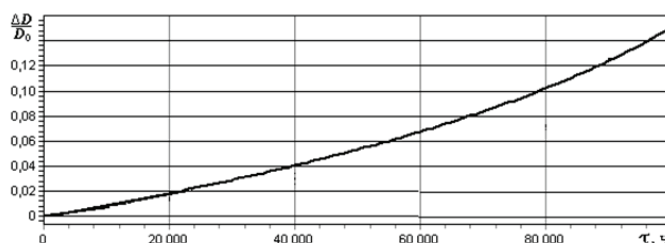


Рис. 1. Деформации ползучести трубчатого элемента

Толщина стенки трубы в процессе ползучести уменьшается: $\Delta h / h_0 = -\Delta D / D_0$. Принимая предельно допустимое значение $\Delta D / D_0 = 0,05$, находим ресурс изделия $\tau_{кр} = 50\,000$ ч. Скорость деформаций ползучести в конце срока службы изделия увеличивается в 1,5 раза по сравнению с первоначальной скоростью.

Таким образом, предложенный метод численного анализа процессов ползучести трубчатых элементов позволяет прогнозировать долговечность изделий, выполнять компьютерный мониторинг несущей способности и располагаемого ресурса высокотемпературного оборудования в условиях нестационарного силового и температурного воздействия.

Список литературы

1. **Малинин Н.Н.** Прикладная теория пластичности и ползучести / Н.Н. Малинин. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
2. **Коростылёв А.В.** Моделирование процесса ползучести реакционных труб печей конверсии углеводородных газов / А.В. Коростылёв, Л.Д. Луганцев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2009. – Т. 75. № 11. – С. 52–54.

ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА МАТЕРИАЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ



Сорокин Алексей Юрьевич

Аспирант факультета подготовки научных и педагогических кадров Российского Государственного Социального Университета

Аннотация: В статье приведен общий подход к разработке среды моделирования прогнозирования последствий воздействия ударно волновых нагрузок на материальные объекты любого типа. Приводится общее описание интерпретации физики взаимодействия объектов в среде симулятора, а так же принципы моделирования ударной волны и материального объекта. Приводится пример моделирования распределения избыточного давления в результате взрыва в продольном сечении подземного тоннеля метрополитена.

Ключевые слова: моделирование, интерпретация воздушной ударной волны, метрополитен.

Abstract: The article provides a general approach to the development of a modeling environment for predicting the consequences of the impact of shock wave loads on material objects of any type. A general description of the interpretation of the physics of the interaction of objects in the simulator environment is given, as well as the principles of modeling a shock wave and a material object. An example of modeling the distribution of excess pressure as a result of an explosion in a longitudinal section of an underground metro tunnel is given.

Key words: modeling, interpretation of an air blast wave, subway.

Введение

В настоящее время, проблема прогнозирования последствий взрывов конденсированных взрывчатых веществ решается с использованием экспериментально выведенных зависимостей массы взрывчатого вещества и расстояния от места взрыва, разработанных М.А. Садовским в 50-х годах предыдущего века.

Само собой разумеется, что используемая в те годы техника не позволяла учесть многих факторов, что негативно сказывается на достоверности выведенных закономерностях [1]. При этом, за неимением альтернативных подходов, формулы М.А. Садовского продолжают быть актуальны по настоящее время. Однако это не отменяет необходимости разработки новых, более точных подходов к решению задач определения поражающих факторов взрыва и определения последствий взрывных нагрузок на различные объекты инфраструктуры [2].

В качестве одного из возможных подходов решения проблемы, предпринята попытка реализовать задачу прогнозирования воздействия ударно-волновых нагрузок в среде графического моделирования, которая по своей сути представляет из себя графический движок, аналогичный тем, на которых строятся компьютерные игры. Основные физические закономерности взаимодействий, а так же подходы к интерпретации рассматриваемых явлений и приводятся в настоящей статье.

Блок 1 – Подход к интерпретации физики взаимодействия

Каждый, отдельно взятый материальный объект, в момент времени несет с собой определенное количество энергии E и способен совершить какую либо полезную работу A . Количественная характеристика работы в замкнутой системе взаимодействий, будет определяться половиной разницы энергии двух объектов, так как именно это условие обеспечивает энергетический баланс.

$$A = 1/2 (E_1 - E_2) \quad (1)$$

Способ передачи энергии между объектами природы частиц, а именно этот случай рассматривается в ключе решаемой задачи, основан на соударении. Фактически, энергия передается через импульс в процессе равноускоренного прямолинейного движения:

$$p = mv \quad (2)$$

Закон сохранения энергии в данном случае, будет справедливо характеризоваться и выполняться через закон сохранения импульса.

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad (3)$$

Закон сформулирован следующим образом: сумма импульсов двух тел до взаимодействия, равняется сумме импульсов этих тел после взаимодействия.

Формула ясно показывает, что массы объектов всегда будут константны и изменению при взаимодействии подвергается только скорость. Данный факт дает очередное подтверждение того, что энергия представляет с собой ни что иное как меру движения, которая в объектах природы частиц выражается скоростью их движения.

Исходя из формулы механической работы следует:

$$A = F S \quad (4)$$

Что в сущности, импульс тела, способен характеризовать энергию объекта находящуюся в активном состоянии. Для доказательства этого, рассмотрим следующий пример:

Представим себе объект природы частиц массой m , который находится в состоянии покоя. В определенный момент, ему сообщается энергия и под действием кратковременного ускорения он начинает двигаться со скоростью v . Из классического курса механики следует, что объект от начала движения до получения постоянной скорости двигался равноускоренно. Исходя из этого, возможно посчитать его ускорение, за время действия t . Так же стоит сразу оговорить, что время длительности ускорения и время длительности импульса являются одной и той же величиной.

$$a = (v_k - v_0) / t \quad (5)$$

Если из данной формулы мы выразим конечную скорость при условии, что начальная равняется нулю, то получим:

$$v = a t \quad (6)$$

При этом перемещение объекта за время получения энергии, будет определяться:

$$S = a t^2 / 2 \quad (7)$$

Принимая во внимание массу тела, которое получило ускорение, можно определить, какая работа над телом была совершена:

$$A = ma (at^2 / 2) = mv^2 / 2 \quad (8)$$

Таким образом, формула 1 приобретает следующий вид:

$$A = 1/2 (E_{k1} - E_{k2}) \quad (9)$$

$$A = 1/2 (m_1 v_1^2 / 2 - m_2 v_2^2 / 2) \quad (10)$$

Вполне естественно, что когда энергия совершает работу в системе взаимодействия двух материальных тел, она влияет на характеристику импульса данных тел. Т.е. изменяет их скорость и вектор движения. Из теории соударений, известно, что при идеальном упругом соударении двух тел, их скорость и вектор движения сохраняются. Однако такое возможно только при условии того, что массы и скорости данных тел равны. Подставив данное условие в формулу 10, станет очевидно, что совершаемая работа в результате такого взаимодействия, будет равняться нулю.

Для не идеального упругого соударения, показатель работы дает представление об изменении скорости и вектора движения объекта. Для иллюстрации данного процесса, предлагается конечный вектор импульса объекта, представить как сумму векторов импульса по оси X и Y (рис. 1).

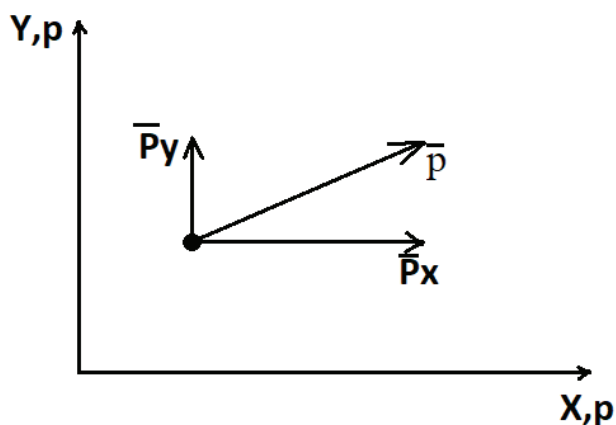


Рис. 1. Представление вектора импульса движения, как суммы векторов импульса по осям

В математическом виде, это возможно записать следующим образом:

$$\vec{p} = \vec{p}_x + \vec{p}_y \quad (11)$$

Разложив импульс на массу и скорость, возможно получить конечный вектор скорости движения объекта:

$$\vec{v} = \vec{p}_x / m + \vec{p}_y / m \quad (12)$$

Для случая не идеального упругого соударения объектов, как уже писалось выше, возможно определить изменение вектора движения объекта через изменение энергии аналогичным способом.

Для реализации данного подхода, стоит отметить допущение, согласно которого, кинетическая энергия и работа которую она может совершить при взаимодействии, определяется в первую очередь вектором скорости тела. В связи с этим, саму энергию в данном случае, возможно так же рассмотреть как векторную величину аналогично силе. Тогда скорость движения, может быть сразу выражена через сумму векторов кинетической энергии:

$$\vec{v} = \sqrt{\frac{2E_{kx}}{m} + \frac{2E_{ky}}{m}} \quad (13)$$

Таким образом, результатом не идеально упругого соударения, двух объектов, будет являться изменение векторов их скорости. Определение данного изменения для объекта, возможно достичь путем выражения закона сохранения импульса через формулу 9 и 13. Произведя упрощения, получим следующее:

$$\left(\frac{2E_{kx1}}{m_1} + \frac{2E_{ky1}}{m_1}\right) + \left(\frac{2E_{kx2}}{m_2} + \frac{2E_{ky2}}{m_2}\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{2E_{kx1}}{m_1} - \frac{2E_{kx2}}{m_2}\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{2E_{ky1}}{m_1} + \frac{2E_{kx2}}{m_2}\right) \quad (14)$$

Соответственно, полученный в результате сложения вектор, будет определять направление и скорость движения одного объекта. Естественно, что если расчет идет для первого объекта, то и разности векторов при соударении берется между первым и вторым. Если для второго объекта, то между вторым и первым.

Описанный выше подход к упругому соударению, позволяет рассматривать воздушную ударную волну как набор N – количества частиц.

Блок 2 – Интерпретация воздушной ударной волны

Для условно идеальных условий, при детонации конденсированного ВВ и распространения взрыва в сферической форме, в силу равномерного движения молекул газа в момент времени от центра взрыва к окружности, тепловая энергия будет равняться механической энергии в случае ее приложения к некоторой площади (рис. 2).

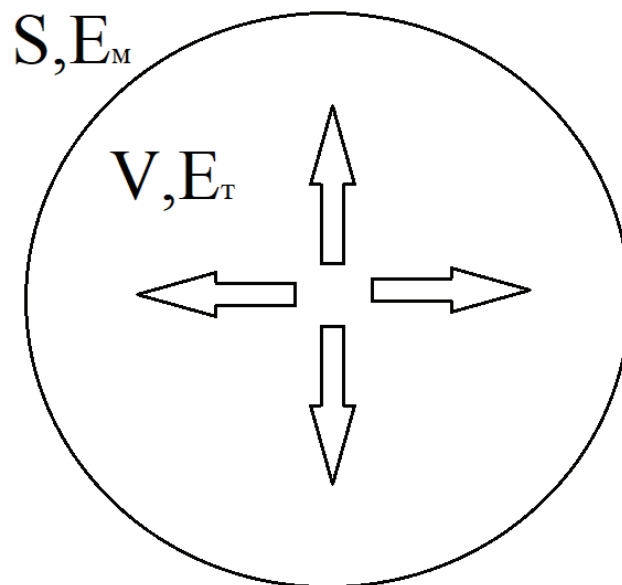


Рис. 2. Грубая демонстрация отличия тепловой и механической энергии

Этот же факт подтверждается примером работы газа при изобарном процессе. Значение полезной энергии (работы) определяется следующим выражением:

$$A = P (V_2 - V_1) \quad (15)$$

Фактически, при определении механической работы, мы определяем приложение энергии заданного объема газа спроецированного на заданную площадь. Исходя из этого, можно предположить, что для определения давления поверхности расширяющейся сферы через суммарную тепловую энергию выделяемую при горении взрывчатого вещества, необходимо его количество теплоты разделить на площадь поверхности сферы: $P = mq / 4\pi R^2 = Q / S_{сф}$, где q удельная теплота гарения ВВ (16).

Сразу стоит сказать, что данная формула, справедлива только для сферического взрыва, согласно условию продемонстрированному в рис. 2.

Для проверки правильности такого подхода, возможно рассмотреть следующее. Как ранее говорилось, мы определяем давление энергии содержащееся в объеме газа и прилагаемого к заданной площади. Для понимания стоит обратиться к рис. 2.

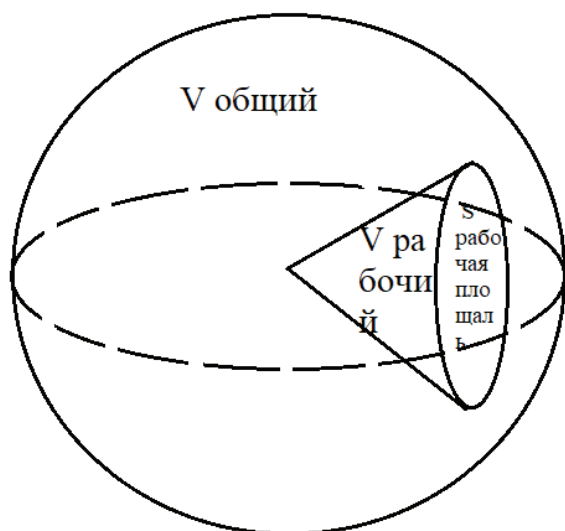


Рис. 3. Физика распределения энергии в сфере газа

На рис. 3 показано, что энергия прилагаемая к определенному участку площади окружности, определяется объемом получающегося конуса, который определяется:

$$V = \pi R^2 h / 3 \quad (17)$$

πR^2 являются площадью основания конуса, а его высота в нашем случае, равняется радиусу сферы. Таким образом, предлагается выполнить проверку равенств определения давления через площадь поверхности сферы и рабочий объем к площади 1 м^2 , для сферы взрыва радиусом пять кг при энергии взрыва 1 кг тротила:

$$Q = S_{сф} = QV_{рабочий} / V_{сф} \quad (18)$$

Произведя вычисления, при $Q = 4,612 \text{ МДж}$, получим следующий результат:

$$14,688 = 14,688, \text{ в КПа.}$$

Таким образом, обращаясь к материалу Блока 1, на этапе моделирования, возможно задать N – количество частиц, для симуляции. Идея в том, что сфера будет постоянно расширяться, поэтому если брать малое количество частиц, то

на определенном расстоянии, начнут появляться пробелы. В связи с этим, количество частиц N для плоскости и для объема, при моделировании должно выбираться исходя из масштабов оценки, а так же вычислительных мощностей. Но общий алгоритм может быть следующий:

Предположим, что взрывается 1 кг тротила с выделяемой энергией $Q = 4,612 \text{ МДж}$. На данном этапе, исходя из потребностей и возможностей, для среды моделирования, мы задаем количество частиц N , которыми будет представлена воздушная ударная волна. Исходя из этого, возможно установить, какое количество энергии будет нести одна частица E_0 . Таким образом:

$$E_0 = Q / N \quad (19)$$

Таким образом, сфера делится на набор частиц, которые равномерно распределены по объему с начальным равномерно распределенным движением от центра сферы перпендикулярно ее поверхности, при этом каждая частица, несет собой количество энергии E_0 .

Далее, необходимо установить, какое давление, будет оказывать каждая частица, для этого необходимо найти ее объем. Определение объема частицы, предлагается осуществлять аналогично формуле 19:

$$p_0 = V_{сф} / N \quad (20)$$

Стоит отметить, что значение объема сферы, берется для сферы взрыва полностью сдетанированного взрывчатого вещества, или же исходя из радиуса до ближайшего объекта воздействия. В частности, для того, что бы пренебречь эффектом расширения сферы взрыва, и не пересчитывать значение, необходимо сразу задать соответствующее избыточное значение N .

Блок 3 – Интерпретация материального объекта

Любой материальный объект, так же может быть представлен в виде взаимосвязанных частиц. Понятие взаимосвязанности, в данном случае подразумевает то, что для отрыва частиц друг от друга, к ним необходимо приложить энергию, которая будет превышать энергию их связи.

В строительной механике, энергетический обмен внутри любого материального объекта, описывается через распределение внутреннего напряжения под действием нагрузки. В данном процессе, актуальны три величины: это время реакции на нагрузку, модуль Юнга и предел текучести.

Предел текучести – характеристика материала, определяющая предел нагрузки, после которой деформация продолжается без ее увеличения. То есть фактически, показывает пороговое напряжение между частицами и может быть представлено как энергетическая емкость внутренних связей.

Модуль Юнга – характеристика сопротивления материала при упругой деформации. Фактически говорит том, какую энергию упругости для ответной реакции на нагрузку, может безболезненно накопить материал.

Время реакции конструкции – характеристика, показывающая с какой скоростью распределяется напряжение внутри конструкции. Стоит отметить, что фактически она равна скорости распространения виброакустического колебания или другими словами скорости звука в среде материала.

Таким образом, материальный объект, может быть так же представлен в виде набора произвольного количества частиц, с которыми будут взаимодействовать частицы воздушной ударной волны. Для наглядности предлагается следующая иллюстрация, где в качестве объекта представлена железобетонная плита подуличного перехода:

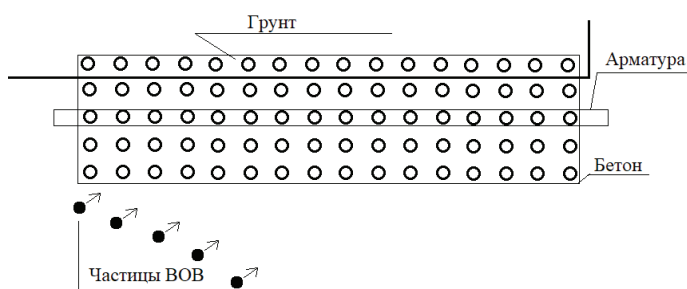


Рис. 4. Грубая демонстрация взаимодействия частиц для подземного сооружения из ЖБИ конструкции

Механизм моделирования следующий:

p_0 – давление частицы BOB;

\vec{v} – вектор движения частицы BOB;

z – обратная реакция материала конструкции на нагрузку с учетом распределения напряжения;

y – напряжение создаваемое внутри материала конструкции;

v_y – скорость распределения напряжения внутри материала конструкции.

G_T – предел текучести;

E – модуль упругости.

Частицы выделенной области волны (BOB) движутся с какой то скоростью, при этом время упругого соударения частиц BOB с элементом конструкции, будет определяться временем реакции конструкции, а следовательно это будет и величина, определяющая время действия нагрузки от одной частицы BOB.

Частица BOB при соударении, оказывает на конструкцию давление, вызывая в ней напряжение и упругую обратную реакцию, при этом за время взаимодействия, часть энергии частицы BOB, распределяется по конструкции увеличивая общее напряжение.

Материал конструкции в свою очередь, будет стремиться распределить собственное напряжение на любые элементы, с которыми соприкасается по оси нагрузки.

Напряжение первого материала конструкции, передаваемое второму, воспринимается им как нагрузка, которую он так же стремится распределить.

Для каждого материала, существует порог напряжения, который может в нем возникать. Данный

порог, численно равен пределу текучести для соответствующей площади сечения. Для подземных сооружений, условно возможно принять, что грунт обладает бесконечным пределом текучести, так как его деформации, нас не интересуют.

Таким образом, для взаимодействия частиц BOB с объектом строительной конструкции, задаются следующие условия:

$$\text{При } P_0 < G_T, \begin{cases} z = E - y, z \leq G_T \\ \vec{v} = 0, z < G_T \\ \vec{v} = z - G_T, z \geq G_T \end{cases} \quad (21)$$

$$\text{При } P_0 > G_T, \begin{cases} \vec{v} = \frac{P_0 + G_T}{2} \\ z = 0, \text{ разрушено} \end{cases} \quad (22)$$

При $P_0 = G_T, z, P_0 = \text{const}$ (идеальное упругое соударение) (23)

В то время, пока идет процесс бомбардирования конструкции частицами BOB, программа считает значение z , для каждой частицы материала строительной конструкции, с учетом распределения напряжения между всем частицами со скоростью v_y .

Для каждой частицы материала конструкции, заложено условие ее исключения (поломки). Если частица достигает данного условия $z < G_T$, она перестает учитываться и участвовать в распределении напряжения.

Пример моделирования распределения избыточного давления в результате взрыва

В условиях круглого сечения тоннеля, при одинаковом техническом исполнении обделки по всей окружности, моделирование возможно осуществить для разреза плоскости, и полученные результаты экстраполировать на объем. Иллюстрация принципа моделирования в плоскости, приведена на рис. 5.

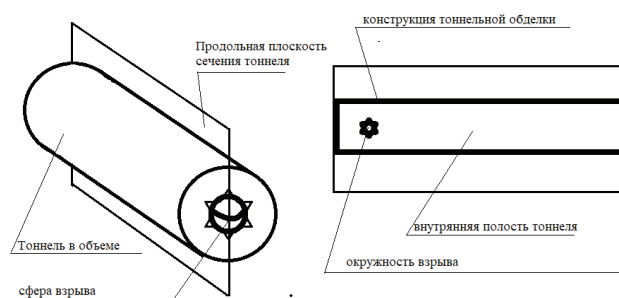


Рис. 5. Принцип моделирования в плоскостном продольном разрезе

Условно, с некоторыми пренебрежениями для не больших расстояний, количество плоскостей по продольному сечению тоннеля, возможно разбить в соответствие с градусной мерой. Таким образом, получится 360 плоскостей. Вполне естественно, что элементы конструкции, которые отображаются в плоскости, будут иметь заложенные характеристики сопротивления исходя из перерасчета размерности габаритов получившейся фигуры при сечении (рис. 6).

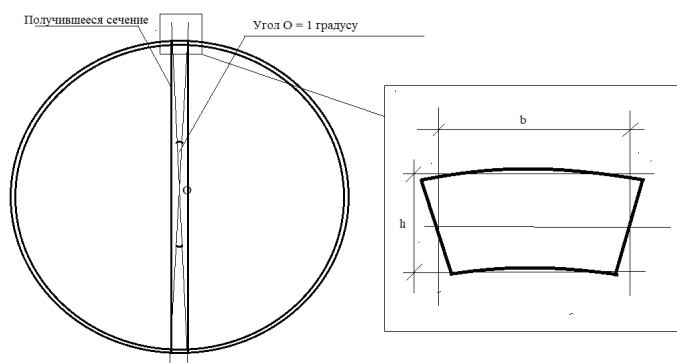


Рис. 6. Схема определения геометрических параметров элемента для пересчета его показателей сопротивления в плоскость

Таким образом, для расчета показателей сопротивления элемента конструкции тоннельной обделки, необходимо знать его геометрические характеристики a , b , h – длину, ширину и высоту.

При моделирование в плоскости, показатель длины берется в натуральном виде, а вот высота и ширина, пересчитываются в соответствие со схемой рис. 6. Таким образом, программа воспринимает данные значения, как константы для каждой точки смоделированной тоннельной обделки. Показатели сопротивления материалов, которые так же задаются константой, в сочетании с заданными геометрическими характеристиками, дают на выходе характеристики сопротивления конструкции для плоскостного элемента.



Рис. 7. Распространение ВОВ в первый момент. Место взрыва обозначено черной звездочкой

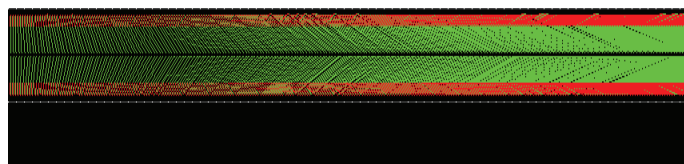


Рис. 9. Распространение ВОВ в последующий момент времени

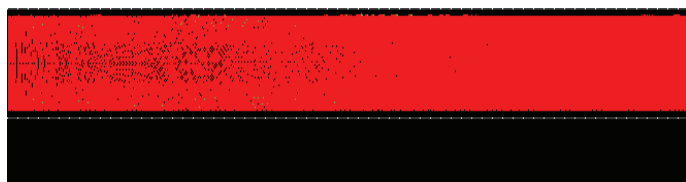


Рис. 8. Распространение ВОВ в следующий момент времени

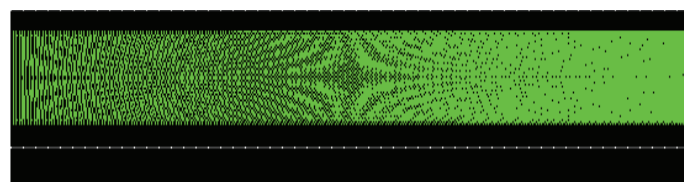


Рис. 10. Последующий момент времени распространения ВОВ

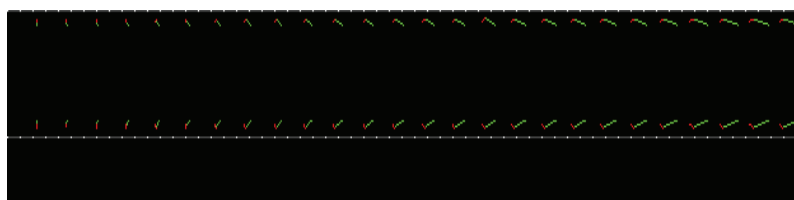


Рис. 11. Последние моменты распространения ВОВ

Для сферы взрыва, расчет производится аналогичным образом. Но с тем исключением, что для определения характеристик одной частицы (вектора) ВОВ, необходимо показатели сферы взрыва делить на количество плоскостей сферы, причем по горизонтали и вертикали. Таким образом, выражения 19 и 20 приобретают следующий вид:

$$E_0 = Q / 360^2 N \quad (24)$$

$$p_0 = V_{сф} / 360^2 N \quad (25)$$

Где: соответствуют количеству возможных векторов по горизонтальной и вертикальной и смежным осям. Данный метод, дает приблизительное значение. Точные значения количества векторов в сфере, возможно получить, аналогично расчетам геодезического купола, но на данном этапе ими можно пренебречь.

Таким образом, на данный момент моделирование в плоскости выглядит следующим образом (рис. 7–11)

На рис. 7, красным цветом выделена область векторов, которая в данный момент времени воздействует на конструкцию тоннельной обделки.

Отсутствие сплошного красного спектра вблизи места взрыва показывает, что большая часть несущей энергию взрыва частиц уже далеко ушла вперед. Давление ослабляется.

Красным цветом, выделена область векторов, которые воздействуют на конструкцию, зеленым цветом те, что уже совершили воздействие и отразились, либо находятся на подлете. Отсутствие сплошного спектра и возможность различить отдельные вектора показывает, что большая часть частиц уже улетела

вперед. При этом некоторые частицы, вперед смещаются очень медленно, так как постоянно отражаются по вертикальной оси. Возможно сделать несколько однозначных выводов:

1. Начальный угол движения вектора относительно горизонтальной оси сечения тоннеля, определяет основную область тоннельной конструкции, на которую вектор приложит нагрузку до полной потери собственной энергии.

2. Отрицательная фаза сжатия в условиях тоннеля не возможна, т.к. вектора имеющие начальный угол движения приближенный к 87–90 градусов, будут совершать колебания отражаясь от стенок конструкции до тех пор, пока не возникнет энергетический баланс, т.е. давление среды не нормализуется. Отсутствие отрицательной фазы сжатия, исключает и импульсную нагрузку, что полностью согласуется с наблюдениями описанными Покровским [3].

Очень интересный момент времени, при котором частицы на определенном промежутке находятся в состоянии после или перед отражения, фактически нагрузка на обделку отсутствует. Возможно ожидать, что в такие моменты в конструкции ослабляется напряжение, которое конечно в последующем будет усилено.

Возможно сказать, что 99% частиц несущих энергию уже улетело вперед и провзаимодействовало с конструкцией. Оставшиеся частицы близ места взрыва, продолжают соударяться со стенками тоннеля до полной нормализации среды.

Заключение

В приведенный подходе моделирования, возможно учесть не только физические свойства материала конструкции, но так же их расположение, их рельеф и способ взаимного сопряжения.

Моделирование геометрии объекта, позволяет однозначно решить вопрос отражения волн в замкнутом пространстве. Так как по условию частицы имеют одинаковую массу, в случае столкновения, их взаимодействие будет идеально упругим. Соответственно как и если две и более частицы прилетят в одну точку, это будет эквивалентно резонансу волновой нагрузки.

Теоретически, данная модель позволяет выделить следующие управляемые параметры:

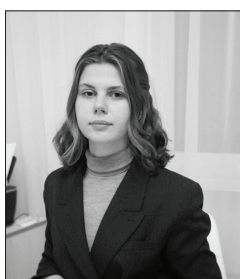
1. Геометрия объекта (управление распределением отраженных волн);
2. Предел текучести;
3. Модуль Юнга;
4. Скорость распределения напряжения (хотя на нее влиять будет сложнее всего)

В свою очередь, определение управляемых параметров технического состояния конструкции, позволяет разрабатывать обоснованные мероприятия по их модернизации с целью повышения устойчивости объектов к воздействию рассматриваемого поражающего фактора.

Список литературы

1. **Садовский М.А.** Механическое действие воздушных ударных волн по данным экспериментальных исследований / М.А. Садовский // Физика взрыва. – 1952. – Т. 1.
2. Постановление Правительства РФ от 30.12.2003 N 794 (ред. от 28.12.2019) «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».
3. **Покровский Г.И.** Взрыв / Г.И. Покровский. – 4-е изд. и доп. – М.: Недра, 1980. – 190 с.

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФИНАНСОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ И ДОМОХОЗЯЙСТВ



Воинова Елена Сергеевна

Студентка 3 курса бакалавриата факультета анализа рисков и экономической безопасности имени профессора В.К. Сенчагова Финансового университета при Правительстве Российской Федерации



Молчанова Наталья Петровна

Доктор экономических наук, доцент, профессор Департамента общественных финансов Финансового университета при Правительстве Российской Федерации