

Библиографические ссылки

1. Варнатц Ю, Маас У., Диббл Р. Горение: физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / пер. с англ. Г. Л. Агафонова ; под ред. П. А. Власова. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 352 с.
2. Сигал И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л. : Недра, 1988. – 312 с.
3. Росляков П. В. Малотоксичные горелочные устройства : учеб. пособие по курсам «Технология сжигания органического топлива», «Методы защиты окружающей среды». – М. : Изд-во МЭИ, 2002. – 64 с.
4. Устройство нейтрализации выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания: пат. RU 2265735 Рос. Федерация: МПК7:F01N3/08 / В. Г. Ковалев, А. А. Старостин, В. В. Сеньковский, С. П. Пишвец; заявитель и патентообладатель Общевойсковая академия вооруженных сил Российской Федерации.
5. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания : справочник в 10 т. / В. Е. Алемасов, А. Ф. Дрегаллин, А. П. Тишин, В. А. Худяков ; под ред. В. П. Глушко. – М. : ВИНТИ, 1971. – Т. 1–10.
6. Там же.
7. Алиев А. В., Мищенко О. В. Математическое моделирование в технике. – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2012. – 456 с.
8. Мищенко О. В., Воеводина О. А. Применение LU- и QR-методов при решении задачи о равновесном составе продуктов химической реакции // Вестник Ижевского государственного технического университета, 2014. – № 3 (63). – С. 172–176.
9. Устройство нейтрализации выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания: пат. RU 2265735 Рос. Федерация: МПК7:F01N3/08 / В. Г. Ковалев, А. А. Старостин, В. В. Сеньковский, С. П. Пишвец; заявитель и патентообладатель Общевойсковая академия Вооруженных сил Российской Федерации.

* * *

A. V. Aliev, DSc (Physics and Mathematics), Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
O. A. Voevodina, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Thermodynamic analysis of effectiveness of water injection for treatment of organic fuels combustion products

The paper considers the process of minimizing the harmful emission during combustion of organic fuel as the task of solving the system of nonlinear equations. The Newton – Raphson method is used here, with applying the QR-method at the stage of solving the linearized system of equations.

Keywords: harmful emission, chemically equilibrium composition, combustion products, mathematics model, system of non-linear equations, Newton – Raphson method, QR-method.

Получено: 14.10.14

УДК 539.37

А. В. Алиев, доктор физико-математических наук, профессор
А. А. Калинин, аспирант
А. Е. Калинин, доктор технических наук, профессор
Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ДИНАМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ТРЕХСЛОЙНОЙ СЭНДВИЧ-ПЛАСТИНЫ С НАПОЛНИТЕЛЕМ В ВИДЕ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА ПРИ НАГРУЖЕНИИ ВЗРЫВОМ

Исследуется поведение прямоугольной трехслойной пластины с наполнителем в виде песчаного грунта при нагружении ее давлением, создаваемым при взрыве заданной массы взрывчатого вещества. Поставленная задача решается численным методом конечных элементов. Приведено сравнение напряженно-деформированного состояния и кинематических параметров (перемещения, скорости и ускорения) характерных точек пластин для двух материалов промежуточного слоя пластины. Приведены количественные данные по способности пластины поглощать энергию взрыва.

Ключевые слова: прямоугольная пластина, метод конечных элементов, кинематические параметры (перемещение, скорость, ускорение), поглощение энергии.

В работе [1] показано, в частности, что трехслойную пластину с промежуточным слоем из алюминиевой пены можно использовать в качестве эффективного конструктивного средства для защиты соответствующих объектов (оборудование, приборы, экипаж автомобиля или другого транспорта и т. п.) от действия взрывной волны.

Ниже рассматривается использование песчаного грунта в качестве наполнителя для трехслойной пластины вместо алюминиевой пены с целью проверки

эффективности такого специфического материала противостоять взрыву заряда взрывчатого вещества (ВВ) под днищем автомобиля и целесообразности использования его в качестве наполнителя в противовзрывном днище. Применение песчаного грунта как наполнителя является экономически выгодным по сравнению с алюминиевой пеной, поскольку днище с грунтовым наполнителем более ремонтнопригодно в ходе реального использования авто-

транспорта вдали от инженерного и ремонтного оборудования [2].

Постановка задачи. На основе ранее созданных [3, 4] моделей пластин при нагружении их ударной волной взрыва (рис. 1) построена новая модель трехслойной пластины, в которой в качестве материала

среднего слоя используется песчаный грунт. Для описания механических характеристик песчаного грунта используется модель *FHWA_SOIL [5]. В табл. 1 приведены основные параметры этой модели материала.

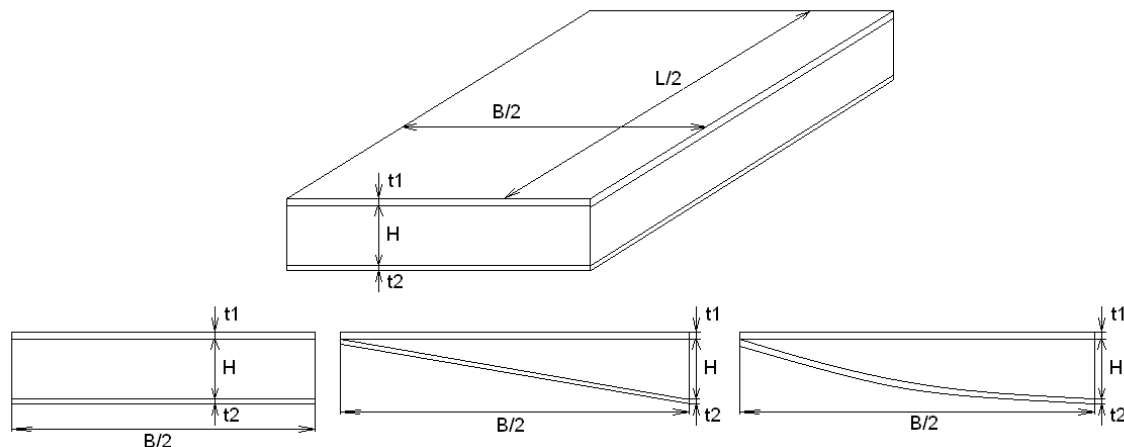


Рис. 1. Эскизы трехслойных пластин: 1 – плоская форма; 2 – V-образная форма; 3 – цилиндрическая форма

Таблица 1. Основные параметры модели грунта *FHWA_SOIL

Параметр	Значение
Массовая плотность, кг/м^3	2350
Относительный вес частиц грунта	2,79
Объемный модуль скелета грунта используемый при учете эффекта порового давления, Па	$465 \cdot 10^6$
Модуль сдвига, Па	$186 \cdot 10^6$
Угол внутреннего трения при пиковой прочности грунта	1,1
Коэффициент для модифицированной поверхности Друкера – Прагера	100
Сцепление	6200
Параметр эксцентricности поверхности текучести в девиаторной плоскости	0,7
Влажность	0,034
Параметр, контролирующий поровое давление перед завершением сжатия грунта за счет объема пор, занятых воздухом	0
Минимальное значение угла внутреннего трения при остаточной прочности	0
Объемная деформация в начале порога повреждения	0,0025
Энергия формирования пор	5

Грунт состоит из твердых частиц с различными размерами и формой, которые образуют скелет, и пор, которые заполнены водой и воздухом. Грунт является насыщенным, если все пустоты заполнены водой. В противном случае грунт является частично насыщенным. Если все поры заполнены воздухом, то грунт является сухим. Обычно в механике грунтов принимается, что твердые частицы не деформируются, а водная фаза является несжимаемой. Таким образом, действующие на грунт нагрузки воспринимаются скелетом и водой.

Исходные данные для рассматриваемых пластин и процедура решения поставленной задачи методом конечных элементов [6] здесь не приводятся, поскольку этот вопрос подробно рассмотрен ранее в работе [7].

Анализ результатов влияния взрыва на трехслойную пластину с грунтовым наполнителем. Важными критериями оценки поведения трехслойных пластин для обеспечения безопасности экипажа и всего транспортного средства являются динамические и энергетические показатели. Перемещения и ускорения узлов верхней пластины, представляющей пол транспортного средства, не должны наносить вред людям, находящимся внутри автомобиля, а средний слой должен обеспечить оптимальное гашение энергии взрыва. Верхний слой воздействует на ноги человека, а через кресло – на корпус.

Графики изменения во времени перемещений центральных узлов нижнего и верхнего слоев исследованных пластин представлены на рис. 2. Красным цветом обозначено перемещение центрального узла на нижней поверхности нижнего слоя, черным – перемещение центрального узла верхней поверхности верхнего слоя.

Графики изменения во времени скорости и ускорения центральных узлов верхнего и нижнего слоя представлены на рис. 3 и 4 соответственно.

Из представленных графиков видно, в частности, что перемещения центральных точек верхних слоев всех трех вариантов пластин являются безопасными для экипажа транспортного средства. Например, из рис. 2, б видно, что максимальное перемещение центральной точки верхнего слоя V-образной пластины составляет всего 1,9 мм, тогда как аналогичное перемещение нижнего слоя пластины равно 13 мм.

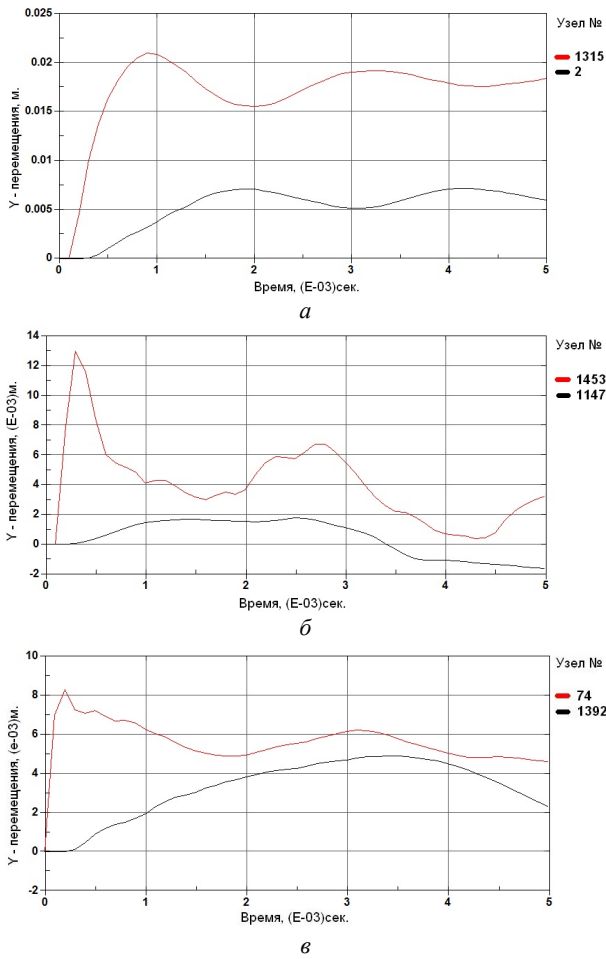


Рис. 2. Графики изменения во времени перемещения центральных точек нижнего и верхнего слоев пластины: а – прямая форма; б – V-образная форма; в – U-образная форма

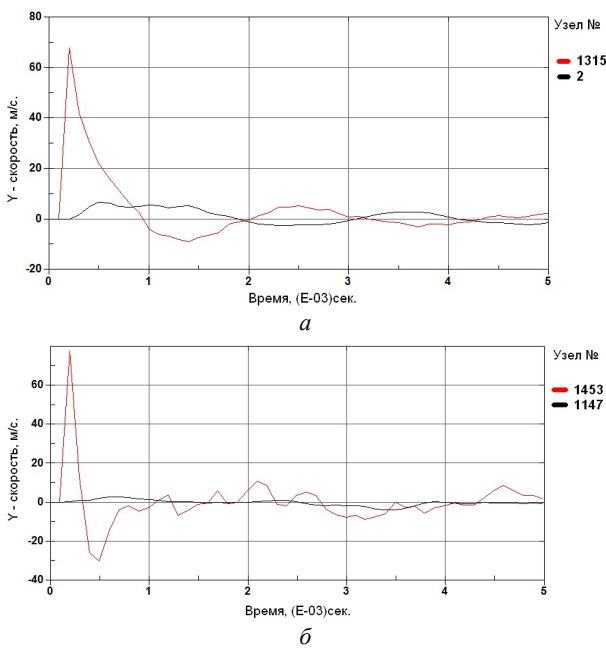


Рис. 3. Графики изменения во времени скорости центральных узлов нижнего и верхнего слоев пластины: а – прямая форма; б – V-образная форма

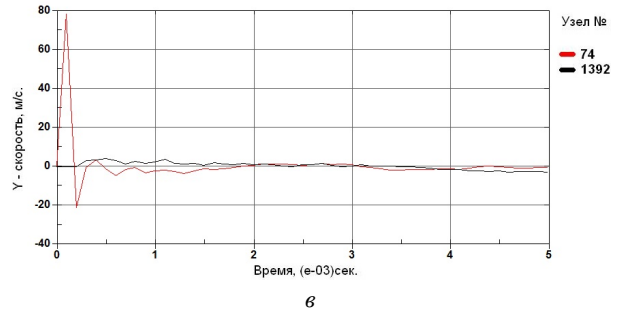


Рис. 3. Окончание: в – U-образная форма.

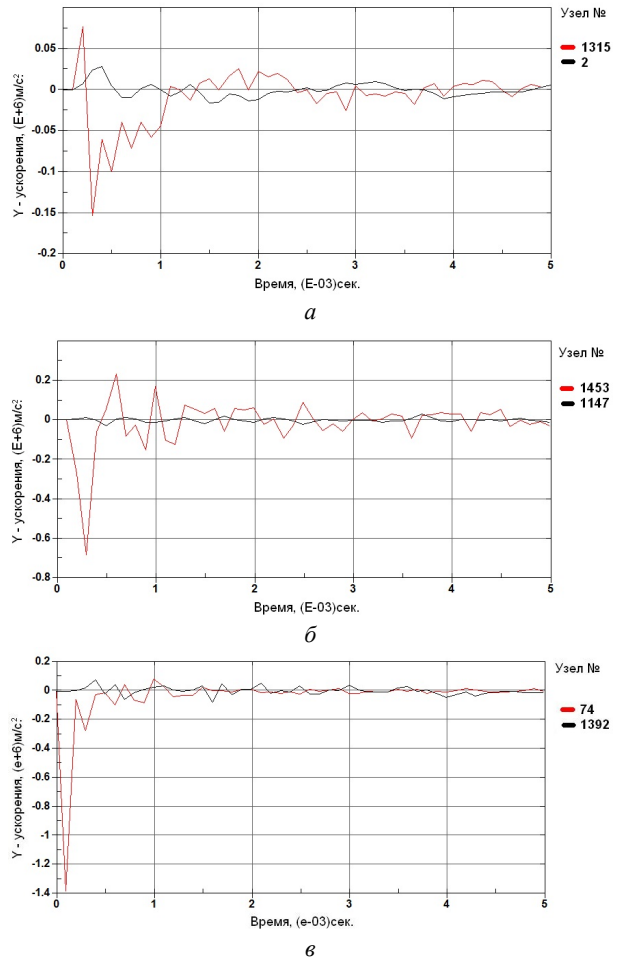


Рис. 4. Графики изменения во времени ускорений узлов нижнего и верхнего слоев пластины: а – прямая форма; б – V-образная форма; в – U-образная форма

Хотя кинематические показатели поведения составных элементов конструкции днища транспортного средства являются основными при оценке безопасности конструкции и целесообразности применения той или иной формы днища, однако нужна и энергетическая оценка поведения днища. Поглощение энергии средним слоем днища является важным фактором при проектировании противозрывного днища транспортного средства. На рис. 5 приведены графики изменения во времени внутренней энергии в различных слоях трехслойной пластины.

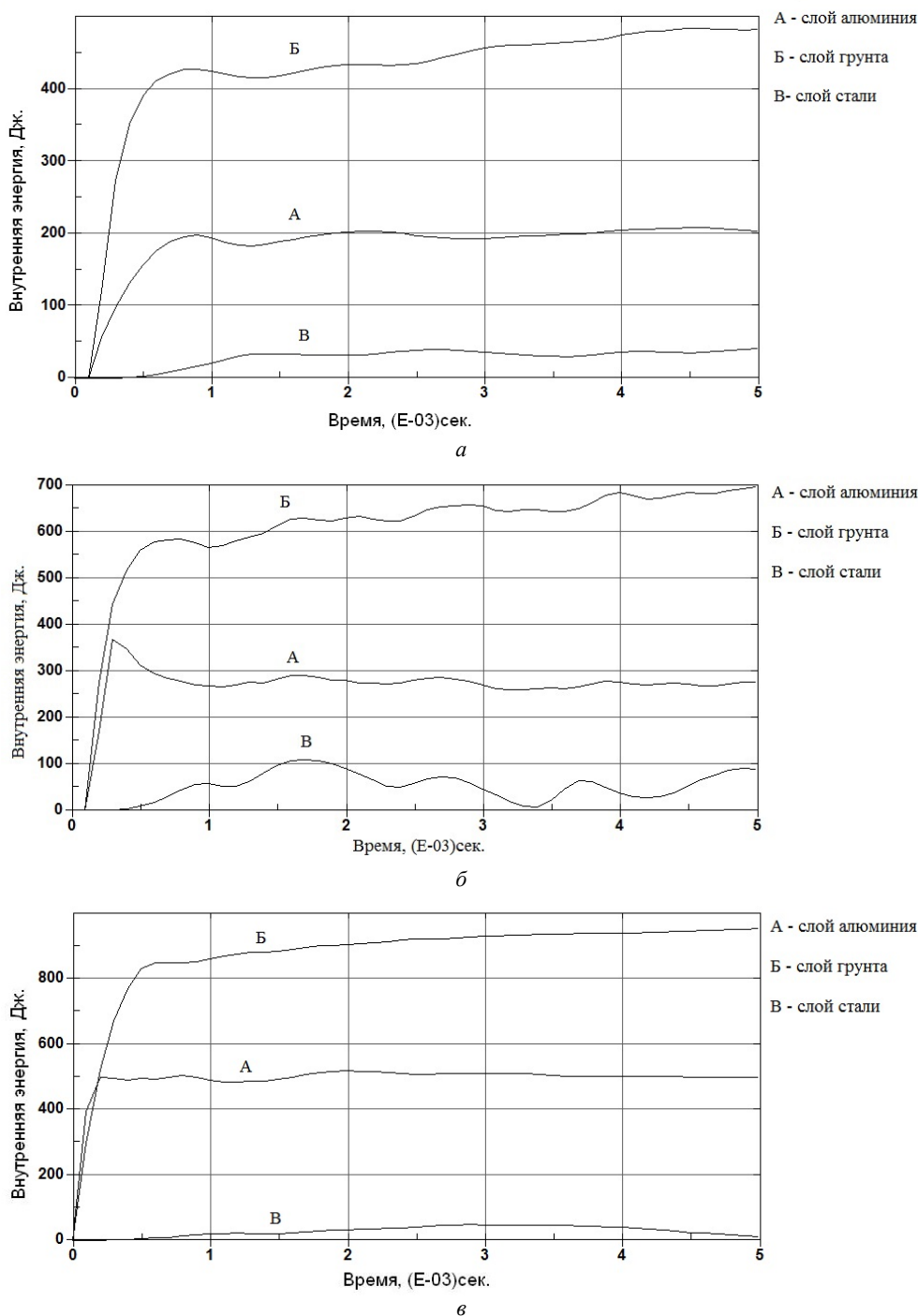


Рис. 5. Графики изменения во времени внутренней энергии слоев пластин: а – прямая форма; б – V-образная форма; в – U-образная форма

Обобщенные результаты анализа поведения трех вариантов исследованных трехслойных пластин с наполнителем в виде песчаного грунта приведены в табл. 2.

В табл. 3 приведены некоторые основные результаты, характеризующие эффективность трехслойной пластины с U-образной формой нижней пластины в качестве средства защиты от ударной волны взрыва, для двух вариантов материала промежуточного слоя пластины.

Таблица 2. Кинематические и энергетические показатели процесса воздействия взрывного нагружения на модель днища транспортного средства

Показатель	Пластина № 1	Пластина № 2	Пластина № 3
Перемещение верхнего слоя, мм	7,5	1,9	5
Перемещение нижнего слоя, мм	21	13	8,2
Ускорение верхнего слоя, м/с ²	30 000	30 000	90 000
Ускорение нижнего слоя, м/с ²	150 000	500 000	1 400 000

Окончание табл. 2

Показатель	Пластина № 1	Пластина № 2	Пластина № 3
Скорость верхнего слоя, м/с	8	6	6
Скорость нижнего слоя, м/с	70	78	79
Внутренняя энергия верхнего слоя, Дж	50	110	50
Внутренняя энергия нижнего слоя, Дж	210	510	510
Внутренняя энергия среднего слоя, Дж	480	750	950

Таблица 3. Сравнительные результаты численного моделирования для пластины № 3

Параметр пластины	Алюминиевая пена	Песчаный грунт
Перемещение верхнего слоя, мм	8	5
Перемещение нижнего слоя, мм	48	8,2
Ускорение верхнего слоя, м/с ²	75 000	90 000
Скорость верхнего слоя, м/с	8	6
Внутренняя энергия среднего слоя, Дж	2700	950

Заключение. Анализ полученных результатов математического моделирования процесса воздействия взрывной волны на трехслойную пластину с наполнителями, выполненными из алюминиевой пены и песчаного грунта (табл. 3), позволяет сделать вывод о том, что подобная конструкция эффективно противостоит взрывному нагружению и поглощает энергию взрывной волны. Динамические показатели поведения пластины являются приемлемыми для применения таких конструкций в обеспечении безопасности экипажа и оборудования, находящихся внутри транспортного средства. Сравнивая три различные формы нижнего слоя пластин, приходим к выводу, что наиболее эффективной в области защиты от воздействия взрывной волны является

V-образная пластина. U-образная пластина является эффективнее обычной простой пластины за счет ее цилиндрической выпуклой формы, которая обеспечивает частичный отвод энергии взрыва от днища. Пластины V-образной формы наиболее целесообразно использовать при проектировании автотранспорта, предназначенного противостоять взрыву, по причине конструкции ее нижнего слоя, обеспечивающего максимальный отвод энергии.

Применение наполнителя из песчаного грунта является экономически выгодным для защиты днища транспорта, т. к. динамические и энергетические характеристики поведения этого материала сопоставимы с алюминиевой пеной, а в некоторых случаях их превосходят [2]. Использование грунтового наполнителя обеспечивает снижение стоимости транспортного средства, повышает его ремонтпригодность в полевых условиях.

Библиографические ссылки

1. Алиев А. В., Калинин А. А. Энергопоглощающая способность прямоугольной трехслойной пластины в условиях взрыва // Вестник ИжГТУ. – 2013. – № 3. – С. 161–164.
2. Алиев А. В., Калинин А. А. Устройство для защиты днища транспортного средства от взрыва // Патент РФ № 143927 с приоритетом от 8 апреля 2014г.
3. Алиев А. В., Калинин А. А. Энергопоглощающая способность прямоугольной трехслойной пластины в условиях взрыва // Вестник ИжГТУ. – 2013. – № 3. – С. 161–164.
4. Алиев А. В., Калинин А. А. Напряженно-деформированное состояние, энергопоглощающая способность и разрушение круговой пластины в условиях взрыва // Вестник ИжГТУ. – 2013. – № 2. – С. 150–154.
5. LS-DYNA Keyword User's Manual. Version 970. LSTC.
6. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541с.
7. Алиев А. В., Калинин А. А. Энергопоглощающая способность прямоугольной трехслойной пластины в условиях взрыва // Вестник ИжГТУ. – 2013. – № 3. – С. 161–164.

A. V. Aliev, DSc (Physics and Mathematics), Kalashnikov Izhevsk State Technical University
 A. A. Kalinnikov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
 A. E. Kalinnikov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Dynamic behaviour of three-layer plate filled by sandy soil under blast loading

Analysis of behaviour of rectangular three-layer plate, filled by sandy soil, under blast loading is presented. Solution of this problem is performed by finite element method. Results are represented for stresses, strains and kinematics parameters (displacements, velocities and accelerations) for typical points of plate for two materials of intermediate layer of plate. Results are represented for quantitative data on energy absorption of plate.

Keywords: rectangular plate, blast loading, finite element method, stresses, strains, kinematics parameters (displacements, velocities and accelerations), energy absorption.

Получено: 29.10.14