

ОСОБЕННОСТИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ОБОЛОЧЕЧНЫХ ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРОФИЛИРОВАННЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

С. А. Солохин, Ю. М. Скрыбин, А. О. Суворкина

ФГБОУ ВО «Ковровская государственная технологическая академия им. В. А. Дегтярева»

На сегодняшний день в мире довольно остро стоит проблема повышения эффективности обезвреживания взрывоопасных объектов (ВО). Достаточно остро проблема проявляется при необходимости обезвреживания ВО на месте его обнаружения, например, в случае его закладки на важных объектах социально-технической инфраструктуры, в местах возможного скопления людей и в местах, в которых взрыв может привести к серьезным экологическим последствиям.

Достаточно перспективным для решения данной проблемы оказывается применение современных лазерных технологий, позволяющих бесконтактно на расстоянии осуществлять разгерметизацию оболочки ВО с последующим выжиганием (дефлаграцией) его взрывчатого вещества (ВВ), либо нейтрализовать объект за счет мощного термического удара без его детонационного подрыва. Данные обстоятельства определяют существенный интерес к практическому использованию технологии лазерного обезвреживания оболочечных ВО [1].

Специфика воздействия лазерного излучения на оболочки малой и большой толщины имеет некоторые отличия. Для тонких оболочек ВО процесс лазерного разрушения материала происходит почти мгновенно, при этом, действие излучения на ВО аналогично действию излучения на открыто расположенное ВВ.

В случае воздействия лазерного излучения на оболочку большой толщины она разрушается не сразу, в процессе воздействия излучения в оболочке происходит интенсивная генерация теплового поля. Данное обстоятельство весьма критично для ВО, т. к. тепловое поле, распространяясь в материале оболочки с высокой скоростью, значительно опережает локальное положение сфокусированного пятна лазерного луча и начинает интенсивно разогревать ВВ. Ситуация дополнительно усугубляется тем, что сопутствующие тепловые процессы вызывают рост внутреннего давления в замкнутом объеме оболочки ВО. Поэтому, в случае длительного процесса лучевого разрушения оболочки ВО и формирования в ней канала сброса внутреннего давления возможна детонация ВВ.

Лазерное воздействие на оболочку ВО и генерация в ней интенсивного теплового поля приводят также к значительному снижению прочностных свойств материала оболочки, которая одновременно испытывает на себе влияние как лазерного излучения, так и внутреннего давления продуктов горения ВВ. В результате, обеспечивая условия для развития того или иного процесса возможно инициирование доминирующего механизма нейтрализации ВО: детонацию, тепловой взрыв, дефлаграцию. Предпочтительными и безопасными механизмами нейтрализации ВО являются дефлаграция и (или) тепловой взрыв.

Воздействие лазерного излучения на оболочку ВО требует минимизации величины временно-го запаздывания положения пятна фокусировки излучения относительно границы движения фронта тепловой волны. Для этого требуется реализация режима скоростного удаления продуктов разрушения материала оболочки из формируемого канала проплавления. Эффективным способом для этого оказывается применение лазерных импульсов со специальным временным распределением энергии по профилю импульса, которые позволяют повысить эффективность лучевого разрушения оболочки ВО [2, 3].

Использование подхода профилирования временной формы импульса основывается на функциональном разделении энергетического действия различных участков лазерного импульса. Так значительный по длительности передний участок импульса с низкой интенсивностью обеспечивает эффективное плавление материала оболочки, задний короткий участок с высокой интенсивностью – быстрое удаление продуктов разрушения за счет значительного повышения давления паров отдачи.

Модельная форма профилированного импульса используемого в исследовании представлена на рис. 1.

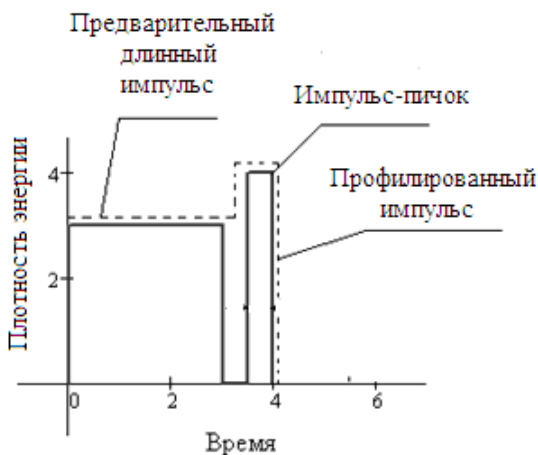


Рис. 1. Модельная форма профилированного импульса

Численное моделирование воздействия лазерных импульсов осуществлялось с помощью специально разработанной программы, написанной на языке Visual Basic Net. При проведении исследований моделировался локальный участок ВО радиусом 18 мм и глубиной во взрывчатое вещество 9 мм. Схематично исследуемый участок ВО представлен в виде плоской стальной оболочки и прилегающим к ней плоским слоем ВВ – тротил (рис. 2).

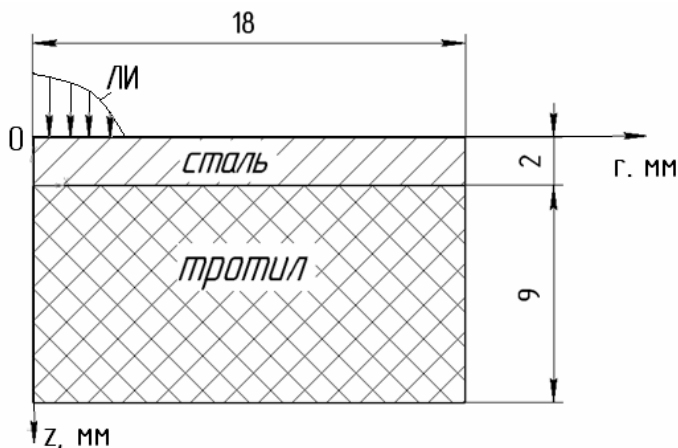


Рис. 2. Схематичное изображение моделируемой области ВО

Структура, описанная на рис. 2. задана в виде ячеек в цилиндрической системе координат (узлов), характеризующихся своими теплофизическими свойствами, температурой, наличием материала (расплав может утек из ячейки), текущей скоростью и направлением движения (гидродинамикой расплава). Лазерное излучение задается с помощью гауссова теплового источника, распределение интенсивности которого во времени представлено в виде профилированных или не профилированных импульсов.

Распространение тепла с помощью механизма теплопроводности описывается в модели методом конечных разностей с использованием обратных прогонок. Размеры области выбраны таким образом, что тепловой фронт не дошел до границы описываемой области за время моделирования. Для границ областей задается граничное условие неизменности температуры 1 рода, на поверхности стали используется условие теплоизолированности 2 рода. Энергозатраты на плавление учитываются.

ваются в виде увеличения теплоемкости материала при температурах близких к температуре плавления [3].

Гидродинамическое течение жидкости описано эмпирическими зависимостями, связывающими давление отдачи пара у поверхности жидкости со скоростью течения расплава. Перенос вещества и тепловой энергии произведен по методу ячеек, заключающемуся в изменениях масс и температур в узлах (ячейках) расчетной сетки согласно текущим скоростям и выбранному шагу по времени.

Ввиду того, что при импульсном воздействии быстрые процессы нагрева и удаления жидкости сменяются медленными процессами остывания между импульсами, то возникает необходимость в использовании динамически меняющегося шаг по времени. Шаг по времени в модели зависит от максимальной скорости течения расплава или от скорости изменения температуры при отсутствии течений.

В модели оценивалась прочность оболочки ВО к деформации сдвига цилиндра из материала оболочки. От соотношения данной прочности и давления срыва расплавленного слоя тротила продуктами реакции говорит о пути движения продуктов реакции: наружу в атмосферу через оболочку или вглубь ВВ через расплавленный слой, что приводит к развитию детонации. Поэтому прочность оболочки показывает возможность нейтрализации ВО через механизм дефлаграции.

Полученные в виде сравнительного анализа результаты численной модельной оценки воздействия на оболочки ВО (материал Сталь 20) с ВВ (тротил) профилированных и непрофилированных лазерных импульсов показывают, что воздействие профилированных импульсов обеспечивает более эффективное лучевое разрушение и термическое разупрочнение материала оболочки [4].

Так воздействие профилированных лазерных импульсов приводит к снижению более чем в 1,5 раза прочности материала оболочки ВО с 1300 до 380 кгс/см², по сравнению с действием непрофилированных лазерных импульсов аналогичной энергии (рис. 3).



Рис. 3. Распределение давления срыва оболочки ВО для материала Сталь 20 толщиной 2 мм по радиусу лазерного пучка при воздействии непрофилированных и профилированных лазерных импульсов

Снижение прочности оболочки до значения 380 кгс/см² (ниже давления срыва 500 кгс/см² для тротила) обеспечивает реализацию условия разрушения оболочки ВО через механизм дефлаграции.

Таким образом, по результатам теоретических исследований установлено, что воздействие профилированных лазерных импульсов, по сравнению с воздействием непрофилированных импульсов на металлические оболочечные ВО при аналогичных условиях (энергия импульсов, параметры фокусировки, параметры ВВ и оболочки ВО) позволяет уменьшить:

- время разрушения оболочки ВО более чем в 4 раза;
- затрачиваемую энергию лазерного излучения более чем в 4 раза;
- время действия теплового фронта на ВВ более чем в 6 раз.

Список литературы

1. Валуев В. В., Гуляев Ю. В., Жиган И. П., Черепенин В. А. Особенности взаимодействия мощного лазерного излучения с оболочечными взрывоопасными объектами // Журнал радиоэлектроники, 2013. № 2. С. 1–13.
2. Шепелев А. Е., Солохин С. А., Давыдова И. А. Методика повышения эффективности воздействия импульсами лазерного излучения на оболочки взрывоопасных объектов при их бездетонационном обезвреживании // Вопросы оборонной техники, 2016. № 5–6. С. 79–85.
3. Шилов И. В., Федин А. В., Скрябин Ю. М. Тепловая математическая модель бездетонационного подрыва оболочечного боеприпаса // Известия Саратовского университета, 2012. Т. 12. С. 82–85.
4. Шепелев А. Е., Солохин С. А., Пегасина А. В., Ершков М. Н. Оценка временных параметров воздействия лазерных импульсов на оболочечные взрывоопасные объекты для их бездетонационного обезвреживания // Сб. статей III международного научно-практического конкурса / Пенза. Наука и просвещение, 2016. С. 31–35.