

53 (06)

3-12

ЗАБАБАХИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ

ZABABAKHIN SCIENTIFIC TALKS

10-14 сентября, 2007
Снежинск

September 10-14, 2007
Snezhinsk



ТЕЗИСЫ ABSTRACTS



ниям скорости детонации, а, с другой стороны, достаточной для того, чтобы поддерживать стационарное распространение волны НСД.

Предлагаемая модель была внедрена в двумерный гидрокод и верифицировалась путем моделирования экспериментов, в которых наблюдалась НСД в пластифицированном октогене с низкой пористостью (< 2%). В прямых двумерных расчетах был получен стационарный режим распространения НСД и удалось воспроизвести большинство экспериментальных эффектов. Расчеты также показали существование нижнего и верхнего предельных значений диаметра заряда, определяющих область, где возможна стационарная НСД. Для цилиндрического заряда ВВ без оболочки они оцениваются как 50 и 200 мм, соответственно.

PHYSICAL MODEL OF LOW VELOCITY DETONATION IN PLASTICIZED HMX

K. F. GREBENKIN, M. V. TARANIK,
S. K. TSARENKOVA, A. S. SHNITKO

Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia
Research Institute of Technical Physics,
Snezhinsk, Russia

In a given report a physical model of low velocity detonation (LVD) for dense plasticized HMX is suggested. The model is based on the well-known fact that two thresholds were observed when shock wave initiation of chemical reactions in dense high explosives. The first (low) one is just threshold of the explosive ignition by the shock (subdetonation reactions initiation threshold). The second one is the threshold of normal detonation (ND) initiation.

In plasticized HMX the first threshold is observed at pressures about 0.1 GPa. The second one is located near 3 GPa where the sharp growth of the chemical reactions rate is observed with pressure increasing, and when the ND initiation takes place.

It's supposed that LVD in the explosives having small porosity corresponds to well-recognized ZND theory, and the LVD wave is a complex of the leading shock wave and the chemical reaction zone behind the shock front. The main idea of the suggested model is that due to the lateral unloading the pressure at the leading shock front is reduced as compared to the ND, and it lies between two abovementioned thresholds. As a result, the reaction rate and, hence, the energy released between the front and the sound surface is much lesser than at ND. That is why, the detonation propagation

velocity at LVD is lesser than at ND. But, from other side, the released energy may be enough to sustain the stationary regime of LVD propagation.

The model was implemented into 2-D hydrocode and verified by means of modeling of experiments where the LVD was observed in plasticized HMX having small porosity (< 2%). In 2-D calculations the stationary LVD wave was obtained, and the most of known experimental effects were reproduced. Also, the computer modeling has shown that there is some range of the charge diameters where stationary LVD may take place. For naked cylindrical charge of plasticized HMX it has been evaluated that the stationary LVD is possible when the charge diameter lies between 50 and 200 mm.

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ПЛОТНЫХ ВВ

В. Ф. КУРОПАТЕНКО, М. Ю. САХАРОВ

Российский федеральный ядерный центр –
ВНИИ технической физики
им. акад. Е. И. Забабахина, Снежинск, Россия

Сделана попытка построить максимально простое уравнение состояния для кристаллических ВВ, опираясь на распространенные физические принципы, достаточно традиционный вид представления и желание обойтись минимумом подгоночных параметров.

Уравнение состояния строится в традиционном виде, типа Ми-Грюнайзена, с разделением на потенциальную и тепловую части. Для построения потенциальной части берется потенциал типа Леннарда-Джонса, параметры которого, с помощью известных соотношений, выражаются через комбинации физических величин, для которых есть экспериментальные значения. Для построения тепловой части берется зависимость, аппроксимирующая теплоемкость при постоянном давлении, причем вид этой зависимости выбирается, наряду с физичностью, из соображений возможности легкого получения функции тепловой энергии и, далее, тепловой части давления. Тепловая часть давления связана с тепловой частью энергии через функцию Грюнайзена, зависящей от плотности вещества. Предложен вид функции Грюнайзена, аппроксимирующий характер ее поведения и предельные значения. Исходя из предложенной функции Грюнайзена, получено выражение для функции температуры Дебая. В тепловую часть включен член, учитывающий вклад электронной

составляющей. Учен вклад энергии пулевых колебаний. Сконструированное уравнение состояния имеет несколько подгоночных параметров, в дальнейшем называемых коэффициентами УРС. Численные значения коэффициентов УРС для каждого ВВ подбираются таким образом, чтобы расчетные значения как можно лучшим образом аппроксимировали известные экспериментальные значения, например, в представленном докладе, аппроксимировалась ударная адиабата и изобарическое температурное расширение.

Подобранные значения коэффициентов проверяются на других процессах (теплоемкость при постоянном давлении, изобарическая температурная зависимость скорости звука), для которых есть достоверные экспериментальные данные.

Представлены результаты подбора коэффициентов предложенного УРС для ТНТ.

DENSE HE EQUATION OF STATE

V. F. KUROPATENKO, M. YU. SAKHAROV

Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin
All-Russia Research Institute of Technical Physics,
Snezhinsk, Russia

An attempt of establishing simple equation of state for crystalline HE was made. Establishing is based on wide physical principles. Equation established in traditional form with small amount match parametres.

Equation is Mi-Gruneisen type with division on potential and thermal parts. Lennard-Johnse type potential is used for potential part establishing which parametres are expressed through physical variables of known experimental values. Functional approximation of heat capacity at constant volume is used for establishing thermal part of the equation. Pressure heat part is apparented with energy heat part trough Gruneisen-like function. Form of such function proposed. Upon it a function of Debay temperature derived. Heat part contains portion counts electron component. Zero oscillations counts as well.

The equations has a number of match parametres — so-called coefficients. Numerical values of the coefficients are ajusted to comply with experimental data (Hugoniot, isobaric temperature expansion etc.)

Equation coefficients for TNT are presented.

ДИНАМИКА МАЛО-УГЛОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ ПРИ ДЕТОНАЦИИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВВ С ДОБАВКАМИ НАНОАЛМАЗОВ

К. А. Тен¹, В. М. Титов¹, Б. П. Толочко²,
И. Л. Жогин, Э. Р. Прууэл¹,
Л. А. Лукьянчиков¹

¹Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН, Новосибирск, Россия

²Институт химии твердого тела и механохимии
СО РАН, Новосибирск, Россия

Хотя синтезу наноалмазов при взрыве посвящено весьма большое число работ вопрос об образовании их, а также более общий вопрос о конденсации углерода при детонации ВВ с отрицательным кислородным балансом, остается дискуссионным до настоящего времени. Ответ на него важен как для понимания физики явления, так и для оценки количества энергии, которая выделяется при экзотермической коагуляции углеродных кластеров.

Первые динамические экспериментальные исследования о росте взрывных наноалмазов стали возможными благодаря использованию синхротронного излучения, а именно возможности регистрации дифракционных (мало-угловых) сигналов с частотой до 4 МГц. Полученные результаты показали, что сигнал мало-углового рентгеновского рассеяния (МУРР) начинает расти с нуля на фронте детонации и его рост продолжается в течение нескольких микросекунд. Однако в этих экспериментах сигнал МУРР вначале может быть очень мал, ввиду малой «контрастности» наноалмаза на фронте. Длительный рост может объясняться ростом «контрастности» при разлете продуктов детонации. Для ответа о месте появления взрывных наноалмазов необходимо повысить чувствительность МУРР (чтобы фиксировать наноалмазы на фронте детонации) и увеличить временное разрешение.

В работе экспериментально исследовалось начало появления наноалмазов во время детонации состава ТГ 50/50 методом МУРР с использованием синхротронного излучения ускорителя ВЭПП-3. Рассмотрены возможности использования методики для регистрации наночастиц разного размера. Показано, что метод МУРР в наших экспериментальных условиях дает возможность фиксировать рассеянное излучение от частиц размером от единиц до нескольких десятков нанометров.

Применена новая экспериментальная постановка с введенными во взрывчатое вещество наноалмазами. Введение взрывных (полученных при детонации ВВ) наноалмазов в заряды тротила и гексогена

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ СФЕРИЧЕСКИХ И ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ МИКРОМИШЕНЯХ

В. Ф. Куропатенко¹, В. Г. Лупанов²

¹Российский федеральный ядерный центр —
ВНИИ технической физики
им. акад. Е. И. Забабахина, Снежинск, Россия

²Челябинский государственный университет,
Челябинск, Россия

Представлены результаты численного моделирования гидродинамических явлений протекающих во вращающихся микромишенях сферической и цилиндрической формы после объемного энерговложения. Схема и параметры цилиндрической мишени и тяжелоионного драйвера соответствуют данным, приведенным в литературе.

Асимметричность энерговложения пучками тяжелых ионов в слой абсорбера симметричной микромишени может явиться одной из причин развития Рэлей—Тейлоровской неустойчивости и нарушения кумуляции энергии. Для изменения динамики развития неустойчивости мишень раскручивается. Исследуется влияние предварительной раскрутки мишеней вокруг оси симметрии на процесс развития неустойчивости. Для описания процессов использованы модели многокомпонентных сред в лагранжевых и эйлеровых переменных. Решения одномерных, двумерных и трехмерных нестационарных задач получены численно с использованием методов С. К. Годунова и В. Ф. Куропатенко.

HYDRODYNAMICAL PROCESSES IN ROTATING SPHERICAL AND CYLINDRICAL MICROTARGETS

V. F. KUROPATENKO¹, V. G. LUPANOV²

¹Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin
All-Russia Research Institute of Technical Physics,
Snezhinsk, Russia

²Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia

Numerical simulation results for the hydrodynamical phenomena in spherical and cylindrical rotating microtargets after volume energy input are presented. The design and parameters of a cylindrical target and heavy ion driver are based on the printing works data.

The asymmetry of heavy ions beams energy input in a symmetric microtarget absorber layer can be

one of the reasons for Rayleigh-Taylor instability initiation and infringement in a cumulative action of energy. For changing the development instability nature, the target twists. The influence of preliminary target spinup around of an axis of symmetry on development of instability is investigated. For the phenomena simulation the multicomponent media models in Lagrangian and Eulerian coordinates are used. Numerical solutions for one-dimensional, two-dimensional and three-dimensional non-stationary problems are received, using the S. K. Godunov and V. F. Kuropatenko methods.

НЕЙТРАЛЬНО УСТОЙЧИВЫЕ УДАРНЫЕ ВОЛНЫ В ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ НЕИДЕАЛЬНЫХ СРЕДАХ: ТЕОРИЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

А. В. Конюхов¹, А. П. Лихачев¹, В. Е. Фортвов¹,
А. М. Опарин², С. И. Анисимов³

¹Объединенный институт высоких температур РАН,
Москва, Россия

²Институт автоматизации проектирования РАН,
Москва, Россия

³Институт теоретической физики им. Л. Д. Ландау
РАН, Москва, Россия

В работе представлены результаты теоретического анализа и компьютерного моделирования поведения нейтрально устойчивых ударных волн с использованием модельного и реальных (газ Ван-дер-Ваальса, магний) уравнений состояния. Разработан подход, на основе которого область нейтральной устойчивости ударной волны для каждого значения давления перед ней определяется из анализа уравнения состояния. Создан простой алгоритм, позволяющий установить источник акустических возмущений (фронт ударной волны или внешний источник) непосредственно по картине течения. Для среды с модельным уравнением состояния проведено численное моделирование прохождения поперечного вихря через полную комбинированную волну, включающую абсолютно и нейтрально устойчивые ударные волны. Показано, что взаимодействие вихря с нейтрально устойчивой ударной волной сопровождается резким увеличением акустических шумов. Отмечается, что в отличие от предсказаний линейной теории амплитуда возмущений нейтрально устойчивой ударной волны уменьшается со временем, хотя этот процесс происходит значительно медленнее, чем в случае абсолютно устойчивой ударной волны.

ТЕОРИЯ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

В. Ф. Куропатенко

Российский федеральный ядерный центр —
ВНИИ технической физики
им. акад. Е. И. Забабахина, Снежинск, Россия

Излагается молекулярно-кинетическое обоснование модели многокомпонентных сред. Переход с микроуровня на макроуровень происходит так, что все законы сохранения массы, количества движения и энергии выполняются. В результате этого кинетическая энергия молекул разделяется на кинетическую энергию сплошной среды и неравновесную кинетическую энергию. При мгновенном переходе к равновесному состоянию сплошной среды в случае одного компонента неравновесная кинетическая энергия превращается во внутреннюю энергию. После этого определяются все величины, характеризующие газ на макроуровне. В случае смеси макроуровень каждого компонента является промежуточным уровнем (мезоуровнем) для смеси. При дальнейшем переходе на макроуровень смеси новая неравновесная кинетическая энергия переходит во внутреннюю энергию не мгновенно, а в ходе релаксационных процессов, которые описываются законами сохранения в дифференциальной форме.

THE THEORY OF GAS MIXTURES

V. F. KUROPATENKO

Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin
All-Russia Research Institute of Technical Physics,
Snezhinsk, Russia

The molecular-kinetic substantiation of the multicomponent model is given. The transition from micro-level to macro-level is so that all the conservation laws of mass, momentum and energy are satisfied. As the result the kinetic energy of molecules is divided between kinetic energy of continuum and non-equilibrium kinetic energy. When transition to equilibrium state of continuum in the case of one component is instantaneous non-equilibrium kinetic energy transfer into internal energy. Then all the macro-level characteristics of gas are determined. In the case of mixture the macro-level of each component is intermediate level (meso-level) for mixture. Under further transition to macro-level of mixture new non-equilibrium kinetic energy transfer to internal energy not instantaneously but in the course of relaxation processes that are described by conservation laws in differential form.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ПОРШНЕ В ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СРЕДЕ

С. П. Баутин, С. Л. Дерябин

Уральский государственный университет
путей сообщения, Екатеринбург, Россия

Рассматривается модель многокомпонентной среды, предложенная В. Ф. Куропатенко. Определяются значения скоростей распространения характеристик (скоростей звука по терминологии газовой динамики) в покоящейся многокомпонентной среде, когда каждый компонент есть политропный газ. В работе получена формула многочлена степени N , положительные корни которого задают квадраты скоростей звука в среде с N компонентами. В случае $N = 2$ в явном виде определены значения двух скоростей распространения звуковых характеристик (быстрой и медленной), которые в общем случае не совпадают со скоростями звука в каждом отдельном компоненте. Показано, что найденное таким образом максимальное значение скорости звука в двухкомпонентной среде азота и кислорода с соответствующими воздушу объемными концентрациями, отличается в относительных величинах от скорости звука в воздухе, определенной в физических экспериментах, менее чем на три десятых процента.

В линеаризованном случае решена задача о плавном движении поршня в рассматриваемой двухкомпонентной среде. Область течения разбивается быстрой и медленной характеристиками на три части. В первой имеет место заданный однородный покой, отделенный от искомого течения быстрой характеристикой. Во второй области — в области между быстрой и медленной характеристиками — располагается первое из двух искомого течений. Третья область — область между медленной звуковой характеристикой и движущимся поршнем — есть область определения второго искомого течения. Оба построенные искомого течения являются точными решениями соответствующих начально-краевых задач. На непроницаемом поршне с заданным законом движения удовлетворены условия непротекания для обоих компонентов, а на звуковых характеристиках течения стыкуются непрерывно.

Таким образом, показана адекватность рассматриваемой модели как физическим экспериментам, так и с точки зрения математической корректности классической для газовой динамики задачи о плавном движении поршня в газе.

to a difference of speeds of the fractions marked with indexes i and j . Appeared that for the mixes, containing two or more compressed fractions, problem Coshi it is correct only in the limited range of speeds (Mathematical Modelling Journal. 2001. — Vol. 13. — №. 10. — P. 27).

ВОЛНА РАЗРЕЖЕНИЯ В ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СМЕСИ ГАЗОВ

В. Ф. КУРОПАТЕНКО, И. Р. МАКЕЕВА

Российский федеральный ядерный центр —
ВНИИ технической физики
им. акад. Е. И. Забабахина, Снежинск, Россия

Излагается разностная схема расчета системы уравнений многокомпонентной среды (МКС) с учетом универсальных сил и потоков энергии, отражающих кластерное взаимодействие в МКС. Учитывается неравновесность смеси по давлениям, скоростям и температурам. Каждый компонент смеси характеризуется индивидуальными физическими значениями скорости и термодинамических величин, объемной концентрацией и собственным уравнением состояния. Гиперболичность исходной системы уравнений МКС обоснована в случае смеси изотермических газов. На первом этапе расчета в лагранжевых координатах определяются индивидуальные параметры компонентов, затем происходит пересчет на общую эйлерову сетку, и определяются интегральные характеристики смеси. Приводятся результаты расчета волны разрежения в смеси двух изотермических газов с учетом и без учета парных обменов импульсом и энергией между компонентами для различных режимов течения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты #07-01-96025-р-урал-а и 07-01-00378-а.

RAREFACTION WAVE IN THE TWO-COMPONENT MIXTURE OF GASES

V. F. KUROPATENKO, I. R. MAKEYEVA

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin
All-Russia Research Institute of Technical Physics,
Snezhinsk, Russia

Difference technique is described for calculations of the equations for multicomponent media (MCM) considering universal forces and energy fluxes. These

forces and fluxes express cluster interaction in MCM. Each component of the mixture is characterized by individual physical values of velocity and thermodynamical parameters, volume fraction and own equation of state. Difference scheme use movable Lagrange-Eulerian grid. During the first stage of the calculation individual parameters of each component are determined using Lagrange coordinates, then all the parameters are recalculated to common Eulerian grid and integral characteristics of mixture are defined. The fact that the initial set of differential equations is of hyperbolic type is proved for the case of isothermal gases. The results of calculations of rarefaction wave in the mixture of two isothermal gases are given in several cases: considering and not considering pair pulse and energy exchanges between components for different flow regimes.

The work was performed under financial support of RFBR, grants # 07-01-96025-p-ural-a and 07-01-00378-a.

МЕТОД ЗАМЫКАНИЯ УРАВНЕНИЙ ЛАГРАНЖЕВОЙ ГАЗОДИНАМИКИ В СМЕШАННЫХ ЯЧЕЙКАХ, ОСНОВАННЫЙ НА РАВЕНСТВЕ СКОРОСТЕЙ КОМПОНЕНТОВ

**Е. А. ГОНЧАРОВ, В. Ю. КОЛОБЯНИН,
Ю. В. ЯНИЛКИН**

Российский федеральный ядерный центр — ВНИИ
экспериментальной физики, Саров, Россия

Одной из наиболее сложных проблем лагранжево-эйлеровых (ALE) методов является аппроксимация уравнений лагранжевой газовой динамики для случая многокомпонентной среды из-за появления так называемых смешанных ячеек, содержащих два и более компонента. Смешанные ячейки в расчетах могут появляться по двум причинам. Во-первых, при движении контактной границы по эйлеровой сетке и, во-вторых, если в задаче имеются зоны смешения разных веществ. От решения указанной проблемы зависит эффективность и точность как лагранжевой газодинамики в отдельности, так и ALE метода в целом, в котором лагранжева газовая динамика является составной частью.

В работе предлагается новый метод расчета термодинамического состояния смешанных ячеек (метод замыкания), основанный на выравнивании массовых скоростей компонентов после прохождения малых возмущений по гетерогенной смеси.