

Численное исследование взаимодействия ударной волны с засыпкой частиц с использованием модели Баера-Нунциато

П.А. Чупров^а, П.С. Уткин^б

а) Институт автоматизации проектирования РАН, Вторая Брестская 19/18, Москва 123056, Россия

б) Harbin Institute of Technology, Xida 92, Nangang, Harbin, Heilongjiang 150001, China

Пылевой взрыв – одна из самых опасных ситуаций, которые могут возникнуть при работе с химически активными порошками. Важную роль в динамике пылевого взрыва имеет распространяющаяся перед волной горения ударная волна (УВ). При взаимодействии УВ со слоем частиц происходит два эффекта: диспергирование частиц над поверхностью слоя, которое напрямую влияет на параметры волны горения, и деформация, промятие слоя как целого. Первое явление является хорошо изученным как на практике, так и численно, в то же время волновые процессы в самом слое получили недостаточно внимания и не были столь тщательно исследованы, хотя изменение формы поверхности слоя вследствие сложной волновой динамики в нём может оказывать влияние на параметры волны горения.

Численное исследование задачи проводилось при помощи модели Баера-Нунциато, зарекомендовавшей себя лучшим образом при решении самых разнообразных задач многофазных сред, в том числе и неравновесных. Модель обладает широчайшей областью гиперболичности, что положительно сказывается на качестве численного решения и общей робастности алгоритма. Авторский вариант метода HLLC был использован для численного решения этой системы, и показал возможность получения результатов, более точно соотносящихся с данными натуральных экспериментов, нежели результаты, полученные другими авторами. Также, в модели были реализованы механизмы учёта компактирования и релаксации давления для более точного моделирования механики процесса.

В результате численных экспериментов впервые было предложено объяснение зависимости геометрических характеристик деформированного слоя, а именно углов промятия ϕ и компактирования ψ (см Рис 1) в слое от числа Маха проходящей волны. В экспериментах было обнаружено, что с увеличением числа M слой проминается всё сильнее, то есть угол ϕ увеличивается, а в то же время волна компактирования проникает в слой на всё меньшую толщину, то есть угол ψ уменьшается. Численные эксперименты свидетельствуют о том, что существенное влияние на формирование волновой структуры в слое имеет так называемая «пробка» - область уплотнённых частиц перед волной сжатия. Эта «пробка» препятствует проникновению сжатого газа внутрь слоя частиц, ограничивая тем самым зону уплотнения. Доля частиц в «пробке» увеличивается с увеличением числа M , тем самым увеличивая её останавливающий эффект и уменьшая угол ψ .

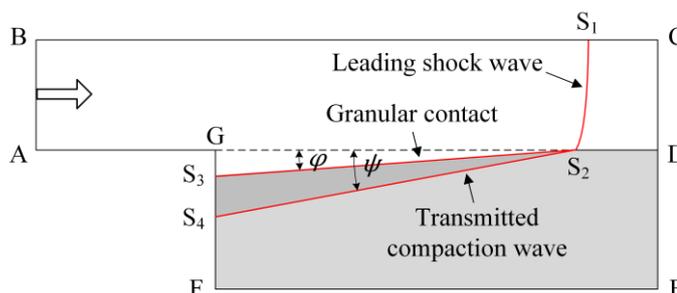


Рисунок 1 Схематичное изображение волновой картины

Литература

1. P. Utkin, P. Chuprov. Numerical simulation of shock wave propagation over a dense particle layer using the Baer- Nunziato model. *Physics of Fluids*. V. 35, № 11. P. 113313. 2023.
2. Chuprov, P.A., Fortova, S.V. & Utkin, P.S. Numerical Investigation of the Interaction between a Shock Wave and Aqueous Foam with Compaction. *J. Appl. Ind. Math.* 17, 272–280 (2023).