

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИКАНИЯ СУПЕРКАВИТИРУЮЩИХ УДАРНИКОВ В ВОДУ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ*

***А. В. Чулашев, С. А. Афанасьева, Н. Н. Белов, В. В. Буркин,
А. С. Дьячковский, А. Н. Ищенко, Н. Т. Югов***

НИИПММ ТГУ, Томск, Россия

При пересечении суперкавитирующим ударником (СКУ) границы раздела сред воздух — вода, в том числе возможно взволнованной морской поверхности, следует ожидать эффектов, связанных с: а) потерей продольной устойчивости ударника на траектории; б) рикошетом; в) изменением угла наклона траектории ударника; г) деформацией ударника и даже его разрушением в результате возникающих пиковых нагрузок. Последний эффект тем более важен, что может привести к полной потере устойчивости движения СКУ.

Высокоскоростному прониканию твердого тела в жидкость сопутствует широкая область высокого давления, которая перемещается вместе с телом. Оценки, сделанные с помощью графоаналитического анализа распада разрыва «металл–вода», показывают, что при входе в воду тел со скоростью порядка скорости звука в воде, на границе контакта реализуется давление, которое превышает предел текучести металла, что приводит к пластической деформации тел и изменению их формы [1]. Следовательно, при соответствующих условиях необходимо рассматривать металлические тела, входящие в воду, как деформирующиеся и разрушающиеся. Мате-

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания №9.9036.2017/БЧ.

матическое моделирование входа в воду СКУ под углом и его высокоскоростное взаимодействие с водой при этих условиях возможно при использовании математической модели [1] и численной методики расчета в трехмерной постановке на основе модифицированного метода конечных элементов [2].

На базе гидробаллистического стенда НИИПММ ТГУ [3] производилось метание конических СКУ (рис. 1) и наблюдение за их состоянием при движении в воде с применением высокоскоростной видеорегистрации (рис. 2 и 5).



Рис. 1. Фотография суперкавитирующего ударника

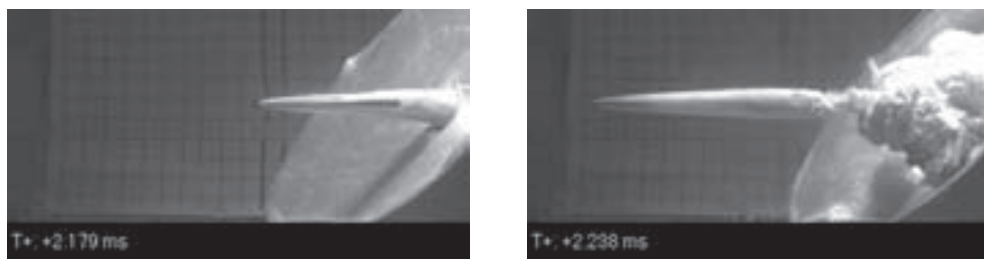


Рис. 2. Пересечение СКУ границы раздела двух сред под углом 45° к оси метания

На рис. 3 приведены результаты математического моделирования входа в воду модели СКУ из прочного сплава ВНЖ массой 6,41 г диаметром кавитатора 1,23 мм и диаметром основания 4,5 мм при скорости $V_0 = 1100$ м/с под углом $\varphi = 45^\circ$, повторяющие условия опыта. Расчет проведен до 32 мкс. Скорость ударника в этот момент времени составляет 1091 м/с. СКУ вошел в воду устойчиво, деформации головной части не наблюдается.

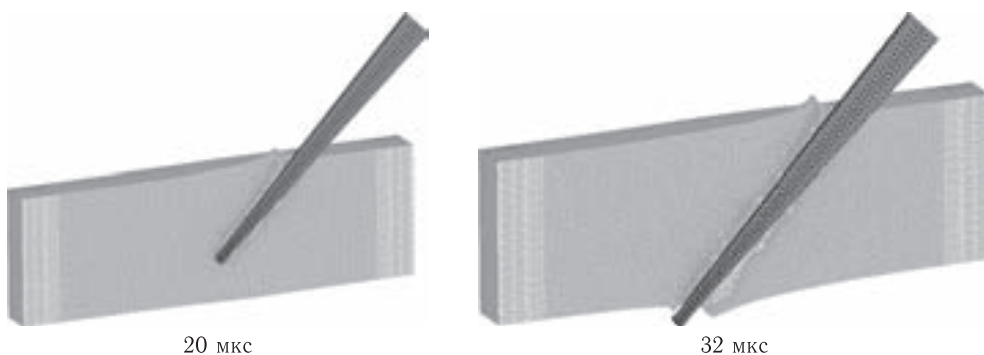


Рис. 3. Хронограмма входа СКУ в воду при $V_0 = 1140$ м/с и $\varphi = 45^\circ$

При наличии возмущения при входе в воду может наблюдаться разрушение ударника (рис. 4).

Путем математического моделирования проведено исследование входа в воду СКУ при наличии угла атаки. На рис. 5 приведена хронограмма процесса проникания СКУ в воду со скоростью 1098 м/с при угле атаки $\alpha = 3^\circ$ ($\varphi = 0^\circ$). Наблюдается только деформация и незначительное разрушение передней части ударника, что не влияет на устойчивый характер его последующего проникания.

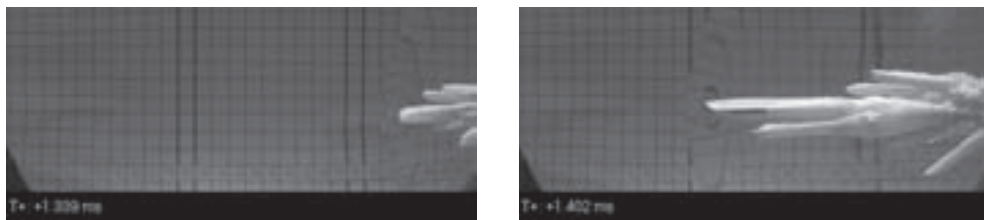


Рис. 4. Разрушение СКУ на скорости порядка скорости звука в воде

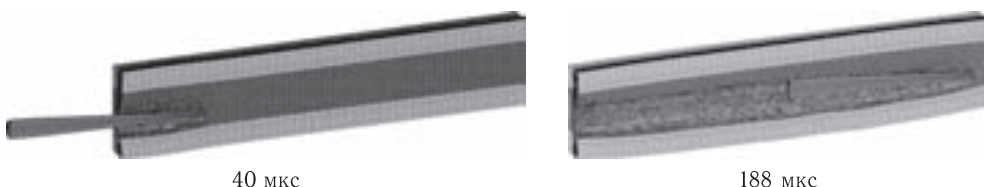


Рис. 5. Хронограмма входа СКУ в воду при $V_0 = 1098$ м/с при угле атаки $\alpha = 3^\circ$

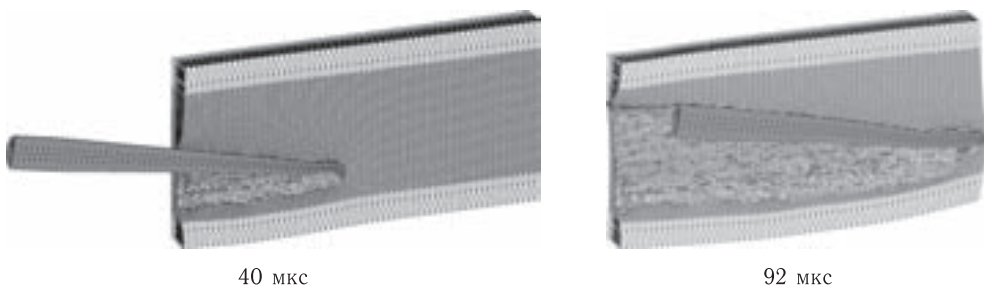


Рис. 6. Хронограмма входа СКУ в воду при $V_0 = 1262$ м/с при угле атаки $\alpha = 10^\circ$

На рис. 6 приведена хронограмма процесса проникания СКУ в воду со скоростью 1098 м/с при угле атаки $\alpha = 10^\circ$ ($\varphi = 0^\circ$). Видно, что сильная изгибная деформация и частичное разрушение передней части ударника могут привести к непредсказуемому последующему его движению.

1. Афанасьева С. А., Белов Н. Н., Бураков В. А., Буркин В. В., Зыков Е. Н., Ищенко А. Н., Родионов А. А., Симоненко В. Г., Хабибуллин М. В., Югов Н. Т. Расчет высокоскоростного движения инерционной модели при входе в воду и ее взаимодействие с металлической преградой // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. — 2012. — Т. 5, №3. — С. 43–55.
2. Югов Н. Т., Белов Н. Н., Югов А. А. Расчет адиабатических нестандартных течений в трехмерной постановке (РАНЕТ-3) / Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2010611042. Москва. — 2010.
3. Патент на изобретение №2591132 Заявка №2015113676 от 13.04.2015. Экспериментальный баллистический комплекс / Бураков В. А., Буркин В. В., Ищенко А. Н., Корольков Л. В., Степанов Е. Ю., Чупашев А. В., Агафонов С. В., Рогаев К. С.