

А

**ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

№ 2 (18)

2011

**СОДЕРЖАНИЕ**

**МАТЕМАТИКА**

<b>Болотнова Р. Х., Галимзянов М. Н., Агишева У. О.</b> Моделирование процессов взаимодействия сильных ударных волн в газожидкостных смесях .....	3
<b>Бойков И. В., Захарова Ю. Ф., Дмитриева А. А., Будникова О. А.</b> Устойчивость математических моделей противобактериального иммунного ответа.....	15
<b>Медведик М. Ю.</b> Метод коллокации для решения задачи дифракции электромагнитных волн на диэлектрическом теле, расположенном в резонаторе .....	28
<b>Тактаров Н. Г., Миронова С. М.</b> Математическое моделирование поверхностных волн в слое жидкости с поверхностным зарядом на пористом основании.....	41
<b>Козлов М. В., Щенников В. Н.</b> Один подход к исследованию устойчивости решений сингулярно возмущенных систем дифференциальных уравнений .....	49
<b>Пасиков В. Л.</b> Задача сближения–уклонения для линейных интегродифференциальных систем Вольтерра с управляющими воздействиями под знаком интеграла .....	58
<b>Васюнин Д. И.</b> Расчеты двухслойным итерационным методом диэлектрической проницаемости неоднородного образца материала .....	71
<b>Ладошкин М. В.</b> Построение аналога симплициальных вырождений в $A_\infty$ -случае.....	80
<b>Геращенко С. М.</b> Построение замкнутой математической модели электрохимических методов и средств оценки состояния биологических объектов.....	90

**ФИЗИКА**

<b>Орищенко А. В., Авдонин В. В.</b> Обогащение солнечных космических лучей сверхтяжелыми элементами .....	98
<b>Браже Р. А., Каренин А. А.</b> Компьютерное моделирование физических свойств супракристаллов.....	105

<b>Кревчик В. Д., Семенов М. Б., Зайцев Р. В., Гаврина З. А.</b> Диссипативный туннельный транспорт: состояние проблемы и перспективы .....	113
<b>Кревчик В. Д., Калинин Е. Н., Гаврина З. А.</b> Резонансные состояния доноров в квантовых молекулах во внешнем электрическом поле .....	131
<b>Булярский С. В., Басаев А. С.</b> Особенности управляемой технологии углеродных нанотрубок .....	141

# МАТЕМАТИКА

УДК 532.529

Р. Х. Болотнова, М. Н. Галимзянов, У. О. Агишева

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИЛЬНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН В ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СМЕСЯХ<sup>1</sup>

*Аннотация.* Разработана модель газожидкостной смеси для исследования сильных ударных волн в пузырьковых средах. Для достоверного описания термодинамических свойств пузырьковой жидкости в условиях сильных ударных волн использовалось широкодиапазонное уравнение состояния воды и пара в аналитической форме. Проведено сравнение расчетов с экспериментами для УВ с амплитудой давлений  $p_1 = 2,4$  МПа в воде с пузырьками азота с начальным газосодержанием  $\alpha_{20} = 4\%$ , проанализированы процессы распространения и отражения от жесткой стенки ударных волн при изменении  $\alpha_{20}$  от 0,5 до 6 % и амплитуды от 2 до 100 МПа.

*Ключевые слова:* сильные ударные волны, пузырьковая жидкость, уравнение состояния, математическое и численное моделирование.

*Abstract.* The authors have developed a model of gas-liquid mixture for investigating strong shock waves (SW) in bubble medium. In order to reliably describe thermodynamic properties of bubble liquid under SW conditions it has been suggested to use a wide range equation of water and steam state analytically. The researchers have compared the experiments for SW with amplitude of pressure  $p_1 = 2,4$  MPa in water with nitrogen bubbles with initial gas content  $\alpha_{20} = 4\%$  and analyzed the processes of propagation and reflection of shock waves from solid wall with  $\alpha_{20}$  changes from 0,5 to 6 % and SW amplitude changes from 2 to 100 MPa.

*Key words:* strong shock waves, bubble liquid, equation of state, mathematical and numerical modeling.

### Введение

Ударно-волновое воздействие на газожидкостную среду сопровождается кумулятивным сжатием пузырьков, приводящим к значительному росту давления и температуры. Различные аспекты изучения волновых процессов в пузырьковых средах обобщены в монографиях [1–3], в которых рассматривалось взаимодействие ударных волн (УВ) слабой ( $\Delta p/p_0 \ll 1$ ) и умеренной интенсивности ( $p/p_0 \sim 1$ ), когда при моделировании возможно не учитывать сжимаемость жидкости или ограничиться предположением ее слабой сжимаемости. Авторы [4, 5] исследовали ударные волны в пузырьковой жидкости в диапазоне давлений  $p/p_0 \sim 5$  в двумерном приближении с учетом акустической сжимаемости. Проблема генерации высоких давлений ( $p/p_0 \gg 1$ ) и тео-

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 08-01-00434-а и 11-01-00171-а) и Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ РФ (грант НШ-4381.2010.1).