

КБ «Динамика»



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

УДАРНЫЕ ВОЛНЫ

Сборник научных статей

КБ «Динамика»

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики
(Университет ИТМО)**

УДАРНЫЕ ВОЛНЫ

**Сборник научных статей
Международного научного подразделения Университета ИТМО
«Механики и энергетических систем»**

**Краснодар
2015**

УДК 533
ББК 22.253
У28

У28 **Ударные волны** : сборник научных статей Международного научного подразделения Университета ИТМО «Механики и энергетических систем» / КБ «Динамика»; Университет ИТМО. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2015. – 292 с

ISBN 978-5-91718-404-3

В сборнике статей приведены основные сведения о теории интерференции стационарных газодинамических разрывов и детонационных волн, развитой В.Н. Усковым. Рассмотрена современная концепция волны и газодинамического разрыва, ударно-волновой структуры. Дана классификация ударно-волновых процессов, волн и разрывов. Приведен обзор важных для практики примеров колебаний ударно-волновых структур. Рассмотрена концепция решения задач интерференции волн и разрывов при помощи метода ударных поляр. Изучаются ударно-волновые структуры, возникающие при отражении косога скачка от стенки, пересечения скачков уплотнения одного направления и встречных скачков. Рассмотрен порядок расчета ударно-волновых структур с учетом реальных свойств газа. Описана концепция детонационного двигателя и приведен обзор работ по детонационным методам и волнам.

Сборник статей предназначен для специалистов в области аэрокосмической техники, научных и инженерных работников, студентов, специализирующихся в области механики жидкости газа и плазмы.

ББК 22.253
УДК 533

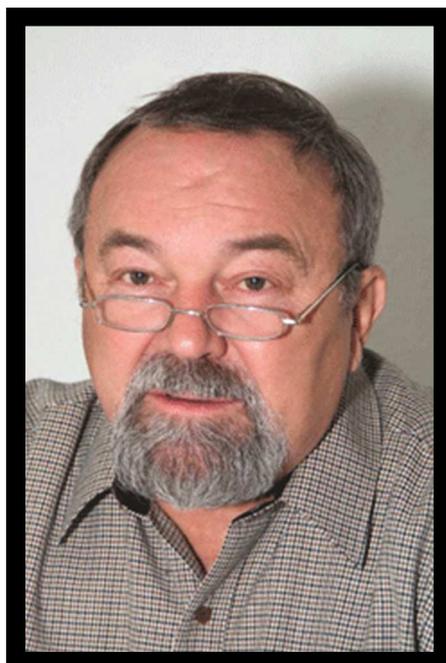
ISBN 978-5-91718-404-3

© КБ «Динамика», 2015

© Университет ИТМО, 2015

© Оформление

ООО «Издательский Дом – Юг», 2015



Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор Усков Владимир Николаевич – выдающийся ученый-механик, член Российского национального комитета по теоретической и прикладной механике, академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, почетный профессор БГТУ «ВОЕНМЕХ».

Родился 10 мая 1941 года в гор. Гатчина Ленинградской области.

В 1964 г. окончил Ленинградский механический институт (БГТУ «ВОЕНМЕХ»), с которым связал всю свою жизнь. В.Н. Усков был основателем и руководителем кафедры плазмогазодинамики и теплотехники, ведущей подготовку специалистов в области авиационной и ракетно-космической техники и теплоэнергетики.

Владимир Николаевич Усков – известный ученый в области механики жидкости и газа. Его научные результаты в области исследования интерференции газодинамических разрывов, анализа условий существования ударно-волновых структур получили признание в мировом научном сообществе. Он внес неоценимый вклад в изучение сверхзвуковых струйных течений и нестационарной газовой динамики. Создатель современной теории интерференции стационарных газодинамических разрывов и бегущих ударных волн.

Результаты научных исследований В.Н. Ускова отражены более чем в 400-х научных трудах, среди них 4 монографии, 12 учебных пособий, 15 авторских свидетельств на изобретения и более 160 публикаций в реферируемых журналах и в материалах международных конференций. Среди учеников Владимира Николаевича 3 доктора и 18 кандидатов наук, большое число магистров, бакалавров, специалистов.

Являлся соруководителем «Международного семинара по струйным, отрывным и нестационарным течениям», стал лауреатом «Национальной экологической премии ЭКО МИР» в 2007 г. Выступал с циклами научных лекций в США (1992), Франции (1998, 2000, 2007), КНР (2001, 2002, 2004, 2006, 2008), участвовал в международных проектах INTAS, успешно руководил проектами РФФИ и ФЦП.

За большие заслуги в науке и технике он удостоен рядом правительственных наград: медалями «За трудовое отличие», «50 лет победы», «300 лет Российскому флоту», медалью федерации космонавтики «Имени академика М.К. Янгеля», награжден знаками «Изобретатель СССР» и ГКВО «За отличные успехи в работе».

Являлся членом Международного института акустики и вибрации и членом оргкомитетов международных конференций. Руководитель ведущей научной школы гидрогазодинамики.

В.Н. Усков трагически погиб в автомобильной катастрофе 12 мая 2014 года.

Содержание

Предисловие	7
Булат П.В., Усков В.Н. Газодинамические волны и разрывы	9
Булат П.В., Усков В.Н. Ударно-волновые процессы и ударно-волновые структуры	24
Булат П.В., Усков В.Н. История изучения маховского отражения ударной волны отклина	40
Булат П.В. Задачи об интерференции разрывов первого порядка	60
Засухин О.Н., Булат П.В. Автоколебания ударно-волновых структур	72
Волков К.Н., Булат П.В. Колебания ударных волн при взаимодействии сверхзвуковых потоков с головными частыми летательных аппаратов	91
Волков К.Н., Булат П.В. История исследования детонационного горения	105
Волков К.Н., Булат П.В. Детонационные реактивные двигатели. Часть I – термодинамический цикл	129
Волков К.Н., Булат П.В. Детонационные реактивные двигатели. Часть II – конструктивные особенности	145
Упырев В.В., Булат П.В., Усков В.Н. Косой скачок уплотнения и ударные поляры	166
Денисенко П.В., Булат П.В., Упырев В.В. Отражение косого скачка уплотнения от стенки	185
Булат П.В., Чернышов М.В. Области существования тройных конфигураций ударных волн	199

Булат П.В., Продан Н.В., Упырев В.В.	
Встречные скачки уплотнения	215
Булат П.В.	
Интерференция скачков уплотнения одного направления	232
Булат П.В., Чернышов М.В.	
Оптимальные ударно-волновые структуры	248
Булат П.В., Упырев В.В.	
Расчет ударно-волновых структур в реальном газе	271