

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ТЕЗИСОВ/СТАТЕЙ/ДОКЛАДОВ

1. Тезисы/статья должны содержать новую (ранее не опубликованную) научную или методическую информацию.
2. Объём тезисов/статьи не более одной/десяти страниц, включая иллюстрации, список литературы и другие структурные элементы.
3. Все материалы тезисов/статьи размещаются на одной стороне листов белой бумаги формата А4 с полями: левое 25 мм, правое 15 мм, верхнее и нижнее по 20 мм.
4. Текст набирается на русском языке в русифицированном редакторе Microsoft Word версии не выше 2010 для Windows с включением автоматической расстановки переносов (переносы в заголовках не допускаются, в надписях на рисунках, а также подрисуночных подписях и таблицах — нежелательны). Одинарный межстрочный интервал, абзацный отступ 5 мм. Структурные элементы статьи отделяются друг от друга пустыми строками размером 4 pt.
5. Шрифт Times New Roman: размер в заголовке статьи — 11 pt, в поясняющих подрисуночных подписях — 9 pt, в аннотации, ключевых словах, заголовке и списке литературы, строке защиты авторских прав, кратких сведениях об авторах — 9 pt, Во всех остальных случаях, в т. ч. в заголовке таблицы, номере рисунка и его основной подписи — 10 pt.
6. Размер шрифта в формулах и математических выражениях: символы 10 pt, индексы 8 pt, субиндексы 7 pt.
7. Иллюстрации (не более пяти) должны быть чёрно-белыми и располагаться в тексте в местах ссылок на них. В подписях к иллюстрациям и в тексте не должно быть ссылок на цвета. Желательно, чтобы рисунки и другие графические иллюстрации, а также таблицы имели ширину 8,5 или 17 см.
8. Структура тезисов/статьи (пример оформления — см. образец):
  - 8.1. Индекс УДК.
  - 8.2. Название тезисов/статьи.
  - 8.3. Инициалы и фамилии авторов (количество авторов не более пяти).
  - 8.4. Название (сокращённое) организации, страна, населённый пункт.
  - 8.5. Аннотация (не более 1 000 знаков, включая пробелы) — для статьи.
  - 8.6. Ключевые слова (10–15 слов) — для статьи.
  - 8.7. Текст тезисов/статьи.
  - 8.8. Список литературы в порядке цитирования — для статьи.
  - 8.9. Строка охраны авторских прав.
  - 8.10. Краткие сведения об авторах: фамилия, имя, отчество, учёная степень, учёное звание, членство в академиях и т. д.; основное направление научных исследований; количество имеющихся публикаций, в том числе монографий, учебных пособий, e-mail, рабочий телефон — для статьи.
9. Заголовки разделов обязательны (например, Введение, Постановка задачи, Методы анализа, Основной результат, Выводы или Заключение) — для статьи.
10. Нумерация рисунков и таблиц сквозная, единичные рисунки и таблицы не нумеруются. При ссылках на рисунки, таблицы и др. сокращения не допускаются (на рисунке 1, а не на рис. 1).
11. Ссылки на литературу нумеруются арабскими цифрами в квадратных скобках.
12. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.
13. Буквы латинского алфавита, обозначающие физические величины, набираются курсивом.
14. Обозначения чисел Маха (M), Рейнольдса (Re), Прандтля (Pr) и др., тригонометрических, гиперболических и др. функций (cos, sin, sh), условных математических сокращений (max, min), единиц измерения физических величин (м/с, Вт/(м·К), °C), химических элементов и соединений (Cl, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), числа в тексте и в формулах набираются прямым шрифтом (за исключением специальных обозначений в иллюстрациях).

15. Индексы латинского алфавита набираются курсивом, за исключением тех случаев, когда в качестве индекса используются обозначения, которые принято набирать прямым шрифтом ( $C_p$ ,  $F_x$ , но:  $L_{\min}$ ).
16. Нумерация формул сквозная. Формулы (только те, на которые есть ссылки в тексте) нумеруются арабскими цифрами в круглых скобках и центрируются на строке. Нумерация располагается справа от формулы у границы печатного поля.
17. Материалы предоставляются распечатанными в двух экземплярах на лазерном или струйном принтере. Страницы нумеруются *карандашом* в правом верхнем углу. На обороте последнего листа *карандашом* указывается имя соответствующего файла электронной версии.
18. Оба экземпляра тезисов/статьи должны быть подписаны всеми авторами на обороте последнего листа, и сопровождаться экспертным заключением о возможности опубликования в открытой печати (в экспертном заключении обязательно упоминаются все материалы, связанные с участием в конференции и публикациями, — тезисы, статья и доклад).
19. Все предоставленные материалы рецензируются. В случае некачественного оформления тезисов/статьи оргкомитет оставляет за собой право возвратить их авторам на доработку либо не принимать тезисы/статью к изданию.
20. Рекомендуемая продолжительность доклада 10 минут.

### Требования к электронной версии тезисов/статьи/доклада

1. Применяемые наименования файлов должны позволять легко идентифицировать их содержание.
2. Текст, набранный в русифицированном редакторе Microsoft Word для Windows, сохраняется в формате Word 2010.
3. Формулы и математические выражения набираются в редакторах Math Type версии не выше 6.0.
4. Графические иллюстрации (рисунки, графики, схемы, диаграммы), а также таблицы должны быть выполнены компьютерным способом. Иллюстрации формируются в виде отдельных файлов исходного графического формата, а также сохраняются в формате TIFF с разрешением 300 dpi и размером по ширине 8,5 или 17 см и передаются как в исходном формате редактора, так и экспортированными в формат TIFF. Допускается использование сканированных изображений и фотографий высокого качества в формате jpeg.
5. В распоряжение докладчиков будут предоставлены средства демонстрации электронных презентаций на базе Microsoft PowerPoint и слайд-шоу на базе ACDSee. В электронных презентациях слайды рекомендуется формировать в альбомном формате (Landscape), также допускается включение аудио- и видеоматериалов. В тексте электронной презентации рекомендуется использовать стандартный шрифт Times New Roman размером 12...32 pt.

УДК 533.6.01.15-533.6.07.13

## УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ ЗВУКОВОГО УДАРА ПУТЁМ КРИОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС ОБТЕКАНИЯ

В. М. Фомин, В. Ф. Чиркашенко, В. Ф. Волков, А. М. Харитонов

*ИТПМ, Новосибирск*

На примере обтекания перспективного модифицированного степенного тела при числе Маха  $M = 2$  показано, что уменьшение (на  $50^\circ\text{C}$ ) температуры потока вблизи тела (в пределах теплового пограничного слоя) обеспечивает изменение структуры течения в области формирования висячей ударной волны (УВ) и тем самым уменьшение (на 12 %) интенсивности звукового удара (ЗУ) на местности. Увеличение эффективности температурного воздействия достигнуто за счёт вынужденной конвекции, путём распределенной инъекции хладагента с обтекаемой поверхности. В зависимости от схемы инъекции и режима истечения хладагента обеспечивается уменьшение интенсивности ЗУ до 40 %. Определены и изучены основные факторы, определяющие процесс криогенного воздействия, а также доли их вклада в уменьшение уровня ЗУ и аэродинамического сопротивления летательного аппарата.

*Ключевые слова:* сверхзвуковой самолёт, головная ударная волна, звуковой удар, криогенное воздействие, хладагент, структура течения, распределённая инъекция.

### ВВЕДЕНИЕ

Возникающие затруднения преодоления экологических ограничений на уровень ЗУ с помощью традиционных (пассивных) методов и перспектива ужесточения существующего ограничения до 15 Па указывают на необходимость разработки новых, нетрадиционных активных методов управления параметрами ЗУ, которые позволят радикально решить данную проблему [1].

*Остальная часть введения изъята*

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Как известно, скорость звука —  $a$ , определяющая скорость распространения возмущений, пропорциональна  $\sqrt{T}$ , где  $T$  — статическая температура потока. Это указывает на возможность её снижения путем уменьшения температуры потока. Из газодинамических соотношений на косой УВ можно получить прямую связь интенсивности УВ  $\Delta\bar{P}_s = (P_s - P_\infty) / P_\infty$ , с соотношением статических температур за и перед УВ [12]. Здесь  $P$  — статическое давление, а индексы  $s$  и  $\infty$  относятся к параметрам потока за и перед УВ соответственно.

$$\frac{T_s}{T_\infty} = (1 + \Delta\bar{P}_s) \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \left( \frac{4\gamma}{(\gamma - 1)(\gamma + 1) \left( 1 + \Delta\bar{P}_s + \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \right)} + 1 \right) \quad (1)$$

*Остальная часть раздела 1 изъята*

### 2. УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования проводились с использованием разработанного в ИТПМ СО РАН экспериментально-расчётного метода [15, 16]. Метод основан на измерении профилей возмущенного давления вблизи модели, установленной в рабочей части аэродинамической трубы, и дальнейшем пересчёте их на большие расстояния с помощью квазилинейной теории [17].

Экспериментальные исследования проводились на сверхзвуковой аэродинамической трубе ИТПМ СО РАН Т-313 с размерами рабочей части  $0,6 \times 0,6 \times 2,0$  м на режиме  $M_\infty = 2,03$ ,  $Re_1 = 25 \cdot 10^6$  1/м,  $T_\infty = 260 \dots 300$  К [18]. Модель 1 на хвостовой державке 2 устанавливалась на кронштейне 3 жёстко закреплённом на верхней стенке рабочей части трубы (рисунк 3).

Основные измерения проведены при удалении дренированной поверхности измерительной пластины от нижней стенки рабочей части на 250 мм. Мерная база измерительной пластины, включающая 100 дренажных отверстий диаметром 0,5 мм, расположенных с постоянным шагом 3,5 мм, позволяла регистрировать профиль давления на длине 346,5 мм. Для уменьшения протяженности дренажных трасс и, следовательно, времени выравнивания в них давления датчики 6 располагались в камере давления аэродинамической трубы. Сигналы с датчиков давления через автоматизированную систему коммутации поступали на 45-канальные регистрирующие вольтметры НР34970А 7, обеспечивающие регистрацию 5,5 десятичных разрядов с последующей передачей цифровой информации на ЭВМ 8 для записи в базу данных и обработки. Использовались тензометрические датчики абсолютного давления отечественного производства типа ТДМ9-А-0.1, ТДМ9-А-0.06 с номиналами соответственно 0,1 и 0,06 МПа и зарубежные КРУ42-А с номиналом 0,16 МПа. Перед каждой серией экспериментов проводились тарировки датчиков. Погрешности измерений датчиков по результатам тарировок, проведенных в диапазоне давлений от 0 до 1 ата, контролируемых с помощью стационарного измерителя абсолютного давления с точностью до 13,4 Па, не превышали 60 Па.

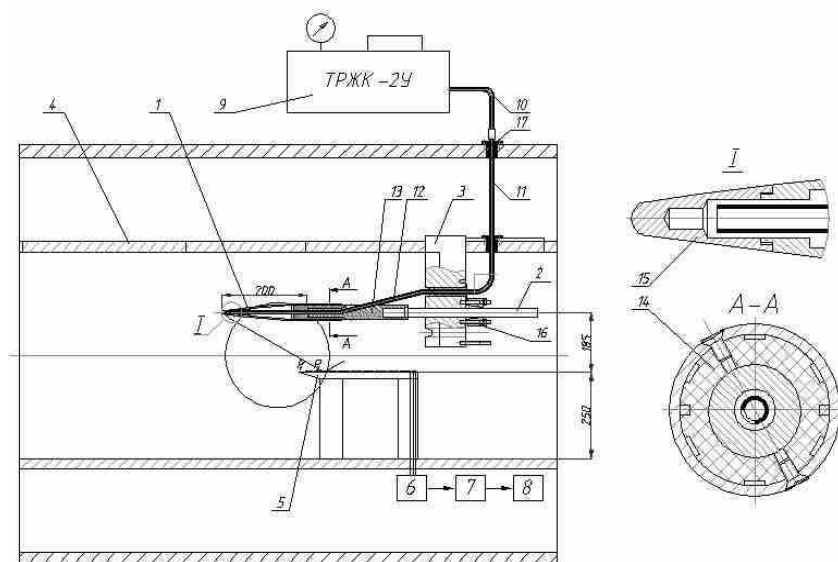


Рисунок 3. Схема проведения эксперимента:

- 1 — модель; 2 — хвостовая державка; 3 — кронштейн; 4 — рабочая часть аэродинамической трубы;  
 5 — измерительная дренированная пластина; 6 — датчики давления; 7 — система регистрации; 8 — ПЭВМ;  
 9 — резервуар с жидким азотом; 10 — магистраль подвода жидкого азота к камере давления;  
 11 — трубопровод  $d = 8$  мм; 12 — трубопровод  $d = 6$  мм; 13 — промежуточная державка;  
 14 — фторопластовая проставка; 15 — сменный носик модели; 16 — цанговый зажим; 17 — термоизолятор

*Остальная часть раздела 2 изъята*

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

#### 3.1. ОХЛАЖДЕНИЕ ОБТЕКАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Для определения влияния уменьшения температуры поверхности модели на формирование вихрей УВ проведены исследования исходной модели (без перфорации) [21]. На *рисунке 5,а* представлены профили относительного избыточного статического давления за отраженной ГУВ, измеренные вблизи (на удалении  $K = H/d_M = 3,7$  калибра) модели, находящейся в охлажденном и неохлажденном состояниях.

*Остальная часть раздела 3 и другие разделы статьи изъята*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фомин В. М., Чиркашенко В. Ф., Волков В. Ф. Исследование проблемы звукового удара в ИТПМ СО РАН. Проблемы современной механики. — М.: Омега-Л, 2008. — С. 554–581.
2. Чиркашенко В. Ф., Юдинцев Ю.Н. Исследование режимов взаимодействия и влияния на параметры головной ударной волны и сопротивление тела струи истекающей из носовой части тонкого тела навстречу сверхзвуковому потоку: Отчёт № 981 / ИТПМ СО АН СССР. — Новосибирск, 1978. — 98 с.
3. Чиркашенко В. Ф., Юдинцев Ю. Н. Исследование влияния встречной сверхзвуковому потоку струи, истекающей из тела, на параметры создаваемого им звукового удара и сопротивление // Тез. докл. IV Междунар. конф. по неравновесным процессам в соплах и струях / XIX Международный семинар по струйным, отрывным и нестационарным течениям, Санкт-Петербург, Россия, 2002. — СПб, 2002. — С. 431–432.
4. Гаранин А. Ф., Третьяков П. К., Чиркашенко В. Ф., Юдинцев Ю. Н. Управление параметрами ударных волн путем подвода массы и энергии // Изв. АН, Сер. МЖГ. — 2001. — № 5. — С. 186–193.
5. Фомин В. М., Третьяков П. К. Активные способы воздействия на сверхзвуковое обтекание тел // Современные проблемы науки: Материалы научной сессии СО РАН и СО РАМН, 25–26 ноября 2003. — Новосибирск, 2003. — С. 185–208.
6. Третьяков П. К., Гаранин А. Ф., Грачев Г. Н. и др. Управление сверхзвуковым обтеканием тел с помощью мощного оптического пульсирующего разряда // Докл. РАН. — 1966. — Т. 351. — № 3. — С. 339–340.
7. Майлс Р. Б., Мачерет С. О., Шнайдер Н. М. и др. Управление сверхзвуковым обтеканием путем стационарного и нестационарного подвода в поток энергии // Американский институт аэронавтики и космонавтики. — 2003. — № 3862. — 2003.
8. Патент РФ № 2107010. Способ обеспечения безударного сверхзвукового движения летательного аппарата в атмосфере и летательный аппарат / А. Ф. Александров, С. Н. Чувашов, И. Б. Тимофеев; приоритет от 26.12.1996; опубл. 20.03.1998 // БИ. 1998. № 8, ч. II. С. 374.
9. Патент США № 5263661. Поглотитель звукового удара / Ж. К. Рилей / приоритет 11.09.1992; дата выдачи патента 23.11.1993.
10. Патент РФ № 2271307. Способ управления аэродинамическим обтеканием летательного аппарата и генератора плазмы / В. А. Иванов, В. С. Сухомлинов; приоритет от 17.05.2004; опубл. 10.03.2006.
11. Патент РФ № 2268198. Способ управления обтеканием сверхзвуковым воздушным потоком летательного аппарата / А. Г. Прудников, Ю. Г. Яновский; приоритет от 09.07.2004; опубл. 20.01.2006.
12. Фомин В. М., Харитонов А. М., Чиркашенко В. Ф., Волков В. Ф. Управление уровнем звукового удара путем криогенного воздействия на процесс обтекания летательного аппарата // Препринт ИТПМ СО РАН; № 5. — Новосибирск, 2007. — С. 40.
13. Чиркашенко В. Ф., Юдинцев Ю. Н. Параметры ударных волн создаваемых телами вращения в однородной атмосфере // Известия РАН. МЖГ. — Том. 14, № 6, ноябрь–декабрь 1985. — С. 31–39.
14. Благосклонов В. И., Васильченко В. И., Гродзовский Г. Л. Аэромеханика сверхзвукового обтекания тел вращения степенной формы и др. — М.: Машиностроение, 1975. — С. 183.

Фомин Василий Михайлович, д. ф.-м. н., академик, директор Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской Академии наук. Основное направление научных исследований — математическое моделирование задач механики сплошных сред и машиностроение.

Автор более 650 научных публикаций.

E-mail: fomin@itam.nsc.ru

Чиркашенко Владимир Фёдорович, к. т. н., с. н. с. Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской Академии наук. Основное направление научных исследований — экспериментальное изучение аэротеплофизических процессов обтекания перспективных летательных аппаратов и разработка методов управления применительно к аэродинамическим нагрузкам и параметрам звукового удара.

Автор более 130 научных публикаций.

E-mail: chirkash@itam.nsc.ru

Волков Владислав Фёдорович, к. ф.-м. н., с. н. с. Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской Академии наук. Основное направление научных исследований — математическое моделирование, вычислительная математика, численное исследование пространственных сверхзвуковых течений в возмущенной области совместно обтекаемых группы тел, внешняя сверхзвуковая аэродинамика оперенных тел вращения большого удлинения.

Автор более 80 научных публикаций.

E-mail: volkov@itam.nsc.ru

Харитонов Анатолий Михайлович, д. т. н., г. н. с. Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской Академии наук. Основное направление научных исследований — экспериментальная аэрогазодинамика летательных аппаратов.

Автор более 200 научных публикаций.

E-mail: khar @itam.nsc.ru

### Дополнение: пример оформления таблиц

(из статьи Н. П. Сохи «Электроавиация. Новые возможности и перспективы»)

Максимальные значения механической энергоёмкости для различных ИП и авиационного бензина, полученные по формулам 1–4 при типовых значениях КПД  $\eta_{эд} = \eta_{п} = \eta_{эг} = 0,9$ ,  $\eta_{тэ} = 0,4$  и  $\eta_{двс} = 0,15 \dots 0,3$ , представлены в таблице 2.

Таблица 2. Механическая энергоёмкость различных ИП и авиационного бензина

№	Технология ИП	$H_u, E_0, \text{Вт} \cdot \text{ч/кг}$	$E_1, \text{Вт} \cdot \text{ч/кг}$
1	Li-Ion (Li-Pol) АКБ	240	190
2	Li-S, Li-Fe АКБ	500	400
3	Li-Air АКБ	1000	800
4	АКБ на расплавах солей [13]	8900	7200
5	Топливные элементы $\text{H}_2$ [12]	33 313	13 300
6	Гибридный ИП	12 220	1350...2700
7	Авиационный бензин	12 220	1800...3600

Из анализа данных в таблице 2 следует, что ни одна из технологий, основанных на использовании лития в АКБ, не способна полностью вытеснить бензин, поскольку в несколько раз проигрывает ему по максимальной механической энергоёмкости. Вместе с тем, сегодня применение литий-ионных АКБ достигло массовых масштабов, и продолжают интенсивные разработки в этой области, обещающие дальнейшее улучшение характеристик. Поэтому данный тип ИП очень удобен в тестовых и демонстрационных проектах, как самый доступный и, следовательно, обеспечивающий минимальную стоимость разработки. К недостаткам литиевых АКБ относятся длительное время зарядки, а также повышенная пожароопасность.