

В. І. ТИМОШЕНКО, В. П. ГАЛИНСЬКИЙ

**РОЗРАХУНКОВО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ
КОМПЛЕКСНИХ РОЗРАХУНКІВ НАДЗВУКОВОГО ОБТІКАННЯ
ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ З ПРЯМОТОЧНИМИ ПОВІТРЯНО-
РЕАКТИВНИМИ ДВИГУНАМИ**

Інститут технічної механіки

Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: vitymoshenko@nas.gov.ua; itm12@ukr.net

Обговорюються питання використання оперативного розрахунково-методичного забезпечення для розрахунку просторового надзвукового обтікання літального апарата та термогазодинамічних процесів у елементах прямооточного повітряно-реактивного двигуна, інтегрованого з корпусом літального апарата. Для проведення комплексних оперативних розрахунків використовуються маршові методи, що забезпечують зниження тимчасових витрат на два-три порядки щодо методів встановлення. Розрахунок просторових надзвукових течій навколо корпусу літального апарата, у вхідній частині повітрязабірного пристрою і в вихлопному струмені виконується з використанням моделі «в'язкого шару» або схеми Годунова для нев'язкого наближення. Дозвукові течії у вихідній частині повітрязабірного пристрою і в камері згоряння розраховуються з використанням моделі «вузького каналу» або квазіодномірної моделі. Надано більш детальний опис елементів розрахунково-методичного забезпечення, що доповнюють раніше запропоновану модель комплексного оперативного розрахунку. Описано спосіб завдання просторової форми поверхні літального апарата і стінок тракту прямооточного повітряно-реактивного двигуна. Запропоновано спрощений підхід для визначення критичної площини вихідного сопла з використанням квазіодновимірного наближення. Обґрунтовуються переваги маршових методів щодо методів встановлення для попереднього проєктування прямооточних повітряно-реактивних двигунів, в яких безпосередньо враховуються ефекти замикання потоку, що можуть виникати у камері згоряння чи у вихідному соплі. Представлені результати розрахунків просторових течій в окремих елементах і повного компонування літального апарата стилізованої форми. Основними перевагами запропонованого розрахунково-методичного забезпечення є комплексність і оперативність розрахунків. Використання розробленого розрахунково-методичного забезпечення розрахунку просторового надзвукового обтікання літального апарата з прямооточним повітряно-реактивним двигуном дозволяє скоротити терміни попереднього визначення конструктивних параметрів складових частин двигуна.

Ключові слова: літальний апарат, завдання форми, просторова течія, комплексний розрахунок, маршовий метод, прямооточний повітряно-реактивний двигун, аеротермогазодинамічний процес, розрахунково-методичне забезпечення, результат розрахунку.

- 1 Тимошенко В. И., Белоцерковец И. С., Галинский В. П. Концептуальные вопросы математического моделирования процессов аэрогазотермодинамики гиперзвукового летательного аппарата с прямооточным воздушно-реактивным двигателем. Аэрогидродинамика: проблемы и перспективы: сб. науч. трудов. Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. Авиац. ин-т». 2006. Вып. 2. С. 161–181.
- 2 Железнякова А. Л., Суржиков С. Т. Численное моделирование гиперзвукового обтекания модели летательного аппарата Х-43. Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2010. № 1. С. 3–19.
- 3 Задонский С. М., Косых А. П., Нерсесов Г. Г. Газодинамические особенности обтекания модели гиперзвукового летательного аппарата интегральной компоновки. Ученые записки ЦАГИ. 2012. Т. XLIII, № 1. С. 32–47. <https://doi.org/10.1615/TsAGISciJ.2012005188>
- 4 Волков К. Н., Емельянов В. Н., Карпенко А. Г. Численное моделирование газодинамических и физико-химических процессов при обтекании тел гиперзвуковым потоком. Вычислительные методы и программирование. 2017. Т. 18, № 1. С. 387–405. <https://doi.org/10.26089/NumMet.v18r433>
- 5 Жуков В. Т., Мануковский К. В., Новикова Н. Д. и др. Исследование картины течения в модельном тракте двигателя высокоскоростного летательного аппарата. М.: ИПМ им. Келдыша, 2015. 23 с. (Препринт /ИПМ им. Келдыша; ИПМ 2015-5).
- 6 Гуськов О. В., Копченков В. И., Липатов И. И. и др. Процессы торможения сверхзвуковых течений в каналах. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 168 с.
- 7 Лопатко В. М., Кухтин Е. П., Еланский А. В. Модель газодинамического процесса в двухконтурном СППРД. Авиационно-космическая техника и технология. 2016. № 4. С. 18–24.
- 8 Левин В. М. Проблемы организации рабочего процесса в ПВРД. Физика горения и взрыва. 2010. Т. 46, № 4. С. 408–417. <https://doi.org/10.1007/s10573-010-0055-z>
- 9 Котов Д. В., Суржиков С. Т. Расчет гиперзвукового течения и излучения вязкого химически реагирующего газа в канале, моделирующем участок ГПВРД. ТВТ. 2012. Т. 50, № 1. С. 120–130. <https://doi.org/10.1134/S0018151X12010099>
- 10 Гутков Б. И., Звягинцев В. И., Мельников А. Ю. Влияние теплоподвода в камере сгорания на течение в диффузоре сверхзвукового воздухозаборника. Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2017. № 50. С. 15–25. <https://doi.org/10.15593/2224-9982/2017.50.02>

- 11 Гунько Ю. П., Мажуль И. И. Исследование некоторых факторов взаимодействия воздухозаборника и планера гиперзвукового летательного аппарата. Ученые записки ЦАГИ. 2002. Т. 33, № 1-2. С. 3–15.
- 12 Борисов А. Д., Васютинцев А. С., Лаптев И. В. К выбору параметров воздушно-реактивного двигателя, обеспечивающих заданный режим маршевого полета летательного аппарата. Труды МАИ. 2017. Вып. 100. 15 с.
- 13 Тимошенко В. И., Галинский В. П. Математическое моделирование процессов аэрогазотермодинамики сверхзвукового летательного аппарата с прямоточным воздушно-реактивным двигателем. Космічна наука і технологія. 2020. Т. 26, № 2. С. 33–43. <https://doi.org/10.15407/knit2020.02.003>
- 14 Тимошенко В. И., Галинский В. П. Маршевые алгоритмы расчета термогазодинамических процессов в прямоточных воздушно-реактивных двигателях, интегрированных с летательным аппаратом, с учетом пространственных эффектов. Вестник двигателестроения. 2019. № 2. С. 14–21.
- 15 Тимошенко В. П., Галинский В. П., Книшенко Ю. В. Теоретичні дослідження з аерогазодинаміки об'єктів ракетно-космічної техніки. Технічна механіка. 2021. № 2. С. 46–59. <https://doi.org/10.15407/itm2021.02.046>
- 16 Комаров И. В., Зернюк Д. В., Епишин К. В. и др. Разработка и тактика применения гиперзвуковых летательных аппаратов по материалам зарубежных источников. Инноватика и экспертиза. 2017. Вып. 1 (19). С. 204–214.
- 17 Босняков С. М., Коваленко В. В., Михайлов С. В., Ремеев Н. Х. Численное решение задачи обтекания трапециевидного клина сверхзвуковым потоком идеального газа. Ученые записки ЦАГИ. 1989. Т. 20, № 1. С. 29–39.
- 18 Зарубин А. Г. Расчет трехмерных сверхзвуковых течений с дозвуковыми зонами на основе уравнений Эйлера. Ученые записки ЦАГИ. 1977. Т. 8, № 4. С. 110–115.
- 19 Тимошенко В. И., Дешко А. Е. Особенности торможения сверхзвукового потока в канале переменного сечения. Техническая механика. 2016. № 1. С. 3–10.
- 20 Тимошенко В. И. Теоретические основы технической газовой динамики. Киев: Наукова думка, 2013. 426 с.
- 21 Ковеня В. М., Черный С. Г. Применение метода расщепления в задачах газовой динамики. М.: Наука. 1981. 304 с.

Отримано 18.05.2022,
в остаточному варіанті 21.06.2022