

В. І. ТИМОШЕНКО, В. П. ГАЛИНСЬКИЙ, Ю. В. КНИШЕНКО

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З АЕРОГАЗОДИНАМІКИ
ОБ'ЄКТІВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Інститут технічної механіки

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

Наведено результати теоретичних досліджень з аерогазодинаміки об'єктів ракетно-космічної техніки, що отримано за період з 2016 р. до 2020 р. у відділі аерогазодинаміки і динаміки технічних систем Інституту технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України за напрямками: аеродинаміка ракет, математичне моделювання процесів аерогазотермодинаміки надзвукового літального апарату (ЛА) з прямоточним повітряно-реактивним двигуном (ППРД), струменеві течії, гідрогазодинаміка систем керуючих реактивних двигунів малої тяги. Стосовно до аеродинаміки ракет створено розрахунково-методичне забезпечення (РМЗ), що призначено для розрахунків надзвукового обтікання ракет з тонкими органами керування і стабілізації. Основною перевагою створеного РМЗ є оперативність розрахунку і простота комплектації компоновок ракет крилами, органами керування і стабілізації. З математичного моделювання процесів аерогазотермодинаміки надзвукового ЛА з ППРД отримано нові результати, пов'язані зі створенням оперативної методики комплексного розрахунку течій в трактах ППРД і узагальненням її на просторовий випадок обтікання ЛА з ППРД. Створено РМЗ, засноване на маршових методах розрахунку, що дозволяє моделювати течії в трактах ППРД з урахуванням обтікання корпусу ЛА перед входом до повітрязабірника і впливу струменя продуктів згоряння на хвостову частину корпусу ЛА і взаємодії його зі збуреним потоком, що набігає. Створене РМЗ рекомендовано до використання на попередньому етапі вибору форми елементів ППРД. Для течій струменів створено РМЗ, що призначено для маршового розрахунку турбулентних струменів продуктів згоряння ракетних двигунів з подачею води в тіло струменя. Виявлено основні закономірності впливу подачі води, змішання струменя з повітрям і догорання високотемпературного струменя ракетного двигуна в кисні повітря на структуру течії, термогазодинамічні і теплофізичні параметри струменя. З використанням створеного РМЗ процесів функціонування систем рідинних двигунів малої тяги проведено супроводження розробки та наземного вогневого відпрацювання принципово нової системи керуючих реактивних двигунів з живленням з магистралей маршового двигуна верхнього ступеня ракети космічного призначення «Циклон-4М», що розроблюється у Державному підприємстві «КБ «Південне» ім. М. К. Янгеля» (КБ «Південне»). Отримані розрахунковим шляхом результати дозволили підвищити інформативність даних вогневих випробувань при моделюванні льотних умов. Розроблене РМЗ передано до «КБ «Південне» для використання в проектних розрахунках.

Ключові слова: ракета-носіїв, літальний апарат, прямоточний повітряно-реактивний двигун, керуючий двигун малої тяги, аерогазодинаміка, струмінь продуктів згоряння палива, числове моделювання, маршовий метод.

1. Тимошенко В. І. Комп'ютерне моделювання аеротермогазодинамічних процесів у технічних об'єктах (ракетно-космічна техніка, енергетика, металургія). Вісник НАН України. 2017. № 3. С. 24–37. <https://doi.org/10.15407/vism2017.03.024>
2. Тимошенко В. И. Исследования газовых и газодисперсных течений в обеспечение разработки объектов ракетно-космической техники и отдельных технологических процессов. Техническая механика. 2018. № 3. С. 43–58. <https://doi.org/10.15407/itm2018.03.043>
3. Тимошенко В. И., Галинский В. П. Численное моделирование сверхзвукового обтекания ракет-носителей, оснащенных тонкими органами управления и стабилизации. Космическая наука и технология. 2017. Т. 23. № 5. С. 33–43. <https://doi.org/10.15407/knit2017.05.033>
4. Розин А. В. Исследование обтекания оперенного тела сверхзвуковым потоком газа. Аэродинамика входа тел в атмосферу планет. М.: Изд-во МГУ. 1983. С. 17–23.
5. Карпенко А. В. Оперативно-тактический ракетный комплекс «Гром-2». Военно-технический комплекс Бастион. 2018. URL: http://bastion-karpenko.ru/grom-2-ukraina_otr/ (Дата звернення 10.05.2021).
6. Комаров И. В., Зернюк Д. В., Епишин К. В. Разработка и тактика применения гиперзвуковых летательных аппаратов по материалам зарубежных источников. Инновация и экспертиза. 2017. Вып. 1 (19). С. 204–214.
7. Левин В. М. Проблемы организации рабочего процесса в ПВРД. Физика горения и взрыва. 2010. Т. 46. № 4. С. 45–55. <https://doi.org/10.1007/s10573-010-0055-z>
8. Задонский С. М., Косых А. П., Нерсесов Г. Г. Газодинамические особенности обтекания модели гиперзвукового летательного аппарата интегральной компоновки. Ученые записки ЦАГИ. 2012. Т. 43. № 1. С. 32–47. <https://doi.org/10.1615/TsAGISciJ.2012005188>
9. Жуков В. Т., Мануковский К. В., Новикова Н. Д., Рыков Ю. Г., Феодоритова О. Б. Исследование картины течения в модельном тракте двигателя высокоскоростного летательного аппарата. Препринт ИПМ им. М. К. Келдыша РАН. № 5. 23 с.
10. Малясов Д. В Украине разрабатывают новое супероружие – гиперзвуковую ракету, способную преодолевать противовоздушную оборону. URL: https://petrimazepa.com/v_ukraine_razrabatyvayut_novoe_superoruzhie (Дата звернення 10.05.2021).

11. Тимошенко В. И., Белоцерковец И. С., Галинский В. П. Концептуальные вопросы математического моделирования процессов аэрогазотермодинамики гиперзвукового летательного аппарата с прямоточным 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.
12. 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. 3–18. <https://doi.org/10.15407/knit2020.02.003>
13. Тимошенко В. И., Дешко А. Е. Особенности торможения сверхзвукового потока в канале переменного сечения. Технічна механіка. 2016. № 1. С. 3–10.
14. Тимошенко В. И., Галинский В. П. Особенности алгоритмов расчета течения в канале воздухозаборного устройства с противодавлением. Технічна механіка. 2017. № 3. С. 16–22. <https://doi.org/10.15407/itm2017.03.016>
15. Тимошенко В. И. Теоретические основы технической газовой динамики. Киев: Наукова думка, 2013. 426 с.
16. Бойко В. М., Папырин А. Н., Поплавский С. В. О динамике дробления капель в ударных волнах. ПМТФ. 1987. № 2. С. 108–115. <https://doi.org/10.1007/BF00918731>
17. Тимошенко В. И., Дешко А. Е. К вопросу о рациональной организации процессов смешения и горения в камере сгорания ПВРД. Авиационно-космическая техника и технология. 2015. № 8 (125). С. 75–81.
18. 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. 14–23.
19. Андреев О. В., Зюзиков В. П., Синильщиков Б. Е. и др. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных о взаимодействии струи с газотражателем в случае приосевого впрыска воды. Космонавтика и ракетостроение. 2009. № 3 (56). С. 5–14.
20. Моченов Р. А., Сотниченко А. В., Иваницкий Г. М., Сало М. П. Исследование силового и теплового воздействия сверхзвуковых струй ракет космического назначения на газоход стартового комплекса при работе системы водоподачи. Космічна наука і технологія. 2020. Т. 26, № 3. С. 3–19. <https://doi.org/10.15407/knit2020.03.003>
21. Тимошенко В. И., Дешко А. Е. Численное моделирование истечения сверхзвуковой многокомпонентной химически-реагирующей струи продуктов сгорания ракетного двигателя. Космічна наука і технологія. 2017. Т. 23. № 6. С. 3–11. <https://doi.org/10.15407/knit2017.06.003>
22. Тимошенко В. И. Квазигомогенная модель газодисперсных течений с химическими реакциями и фазовыми переходами. Доповіді НАН України. 2018. № 2. С. 34–42. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.02.034>
23. Тимошенко В. И. Влияние подачи воды в тело струи продуктов сгорания реактивного двигателя при ее истечении в затопленное пространство. Инженерно-физический журнал. 2020. Т. 93, № 4. С. 918–925. <https://doi.org/10.1007/s10891-020-02191-8>
24. Циклон-4М. URL: <https://www.yuzhnoye.com/technique/launch-vehicles/launch-vehicles/cyclone-4m/> (Дата звернення 10.05.2021).
25. Тимошенко В. И., Кнышенко Ю. В., Дураченко В. М., Анищенко В. М. Вопросы отработки управляющей жидкостной реактивной системы с питанием из магистралей маршевого двигателя последней ступени ракеты-носителя. Космічна наука і технологія. 2016. Т. 22. № 1. С. 20–35. <https://doi.org/10.15407/knit2016.01.020>
26. Тимошенко В. И., Кнышенко Ю. В., Дураченко В. М., Анищенко В. М., Корельский А. В. Расчетно-методическое обеспечение наземной отработки жидкостно-реактивной системы управления движением III ступени РКН «Циклон-4». Космическая техника. Ракетное вооружение. 2016. № 3. С. 3–14.
27. Тимошенко В. И., Кнышенко Ю. В. Влияние газонасыщенности жидкости на особенности неустановившихся течений в сложных трубопроводах. Инженерно-физический журнал. 2018. Т. 91. № 6. С. 1506–1516. <https://doi.org/10.1007/s10891-018-1878-9>
28. Тимошенко В. И., Кнышенко Ю. В., Дураченко В. М., Асмоловський С. Ю. Аналіз роботи керуючих реактивних двигунів верхнього ступеня РН «Циклон-4М» при запусках та зупинках маршового двигуна. Технічна механіка. 2020. № 2. С. 22–35. <https://doi.org/10.15407/itm2020.02.022>
29. Тимошенко В. И., Кнышенко Ю. В., Кошкин М. И. Расчетно-экспериментальное обеспечение разработки реактивных двигательных установок малой тяги. Технічна механіка. 2005. № 2. С. 50–64.
30. Беляев Н. М., Белик Н. П., Уваров Е. И. Реактивные системы управления космических летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1979. 232 с.

Отримано 19.05.2021
в остаточному варіанті 08.06.2021