

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИПЕРЗВУКОВЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Е.А. Вафина

veal6m270@student.bmstu.ru

SPIN-код: 4688-8679

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Гиперзвуковые летательные аппараты на сегодняшний день являются одним из самых эффективных средств преодоления противоракетной обороны противника. Создание гиперзвуковых ракет дает преимущество в политическом и военном аспекте отношений государств. В статье рассмотрены особенности использования гиперзвуковых летательных аппаратов, проанализированы методы управления такими аппаратами, их преимущества и недостатки, проблемы управления и возможные методы их решения. Также определены возможные области применения гиперзвуковых ракет и показаны примеры таких летательных аппаратов, которых в текущий момент немного из-за сложности их создания и проблем в реализации управления на высоких скоростях и температурах.

Ключевые слова

Гиперзвуковой летательный аппарат, управление, управляемость, методы управления, маневрирование, ракетная техника, средства поражения, процесс управления, эффективность управления

Поступила в редакцию 09.06.2021

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

Концепция гиперзвукового летательного аппарата (ЛА) является не самой современной, поскольку некоторые проекты были рассмотрены несколько десятилетий назад. В последнее время активное развитие систем противоракетной обороны (ПРО) способствовало актуализации работ над гиперзвуковым оружием. Сейчас ведется ряд научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, посвященных средствам защиты от такого вида оружия, как гиперзвуковое. Противодействовать будут боеприпасам, их носителям и системам наведения и прицеливания [1]. Создание такого оружия и принятия его на вооружение дает государству относительное преимущество в военном отношении. С каждым днем число целей для гиперзвуковых ракет увеличивается, так как совершенствуются системы ПРО, создавая весомую преграду для менее скоростных преград.

Современные системы ПРО служат высокоэффективным средством борьбы с ракетами противника. Преодоление ПРО является актуальной задачей для разработчиков военной техники. Одним из направлений решения подобных задач становится создание гиперзвуковых ЛА. Они способны развивать такие скорости, на которых борьба с ними будет низкоэффективной, поскольку реализовывать такие перегрузки ракетам ПРО будет сложно. Как было указано выше, развиваться гиперзвуковые ЛА начали давно, но ничем существенным в

связи с большой сложностью управления такими аппаратами эти разработки не закончились.

Сегодня гиперзвуковыми неправильно называют большой класс ЛА, которые способны развивать на отдельных участках траектории гиперзвуковые скорости, но они не способны эффективно управляться на таких скоростях. Примерами таких ЛА являются «Кинжал» и «Искандер-М». Эти ракеты неверно называть гиперзвуковыми, поскольку они не реализуют на всем участке траектории необходимых скоростей.

Основной задачей гиперзвуковых ЛА является поддержание гиперзвуковой скорости и управление на этих скоростях на конечном участке траектории, т. е. фактически, в зоне действия вражеского ПРО и в зоне действия нахождения точки финиша (объекта поражения). Управление такими ракетами должно быть основано на совершенно новых принципах, отличных от принципов действия аэродинамических органов управления. Только такой подход возможен для эффективного развития гиперзвуковых ЛА.

Для дальнейшего понимания направлений развития гиперзвукового оружия необходимо выяснить, что оно собой представляет, какие бывают их виды и варианты их применения, рассмотреть преимущества и недостатки таких ЛА, все проблемы и физические явления, возникающие при таких скоростях полета, и методы их решения.

Гиперзвуковые скорости достигают практически все спускаемые аппараты. Но такие ракеты не относят к гиперзвуковым, так как они не способны маневрировать в атмосфере. Таким образом, гиперзвуковой ЛА — это ЛА, который соответствует двум условиям: скорость, превышающая 5М (М — число Маха), и способность маневрирования в атмосфере. Такой выбор нижней границы гиперзвукового потока связан с возникновением процессов ионизации и диссоциации молекул в пограничном слое.

Выделим три типа гиперзвуковых ЛА, которые можно классифицировать по режиму полета. Первый тип — планирующий ЛА или планирующий крылатый блок, который характеризуется тем, что не имеет двигателя. Такому аппарату необходим разгонный блок или ускоритель, который поднимет его на высоту с гиперзвуковой начальной скоростью. Как правило, такой аппарат маневрирует при скоростях (8...28)М в верхнем слое атмосферы. Он «отталкивается» от атмосферы, подобно камню, пущенному по водной глади [2], благодаря чему может увеличивать дальность до тысячи километров [3]. Задача перехвата активно маневрирующего ЛА на высокой скорости признается невыполнимой [2]. Проблема планирующих ЛА — организация управления. Примером ЛА первого типа является российская ракета «Авангард», которая используется в первую очередь для доставки ядерного оружия. Второй тип — ЛА с гиперзвуковым воздушно-реактивным двигателем. Данному типу ЛА необходима атмосфера из-за состава топлива в двигателе. Такой ЛА имеет самую сложную конструкцию. Проблемы заключаются в двигателе, который на сегодняшний момент не может разогнаться с нулевой начальной скоростью. Примером является российская

ракета «Циркон», которая используется для уничтожения систем ПРО. Третий тип — квазибаллистические ракеты [2], способные летать на низкой, в основном баллистической траектории. Эти ЛА из-за низкой траектории малозаметны. Также существуют гиперзвуковые аэробаллистические ракеты. Отличительной особенностью таких аппаратов является их траектория, которая может быть как баллистической, так и полученной с использованием аэродинамических или газовых рулей. Достоинство ЛА такого типа — его простая конструкция.

Гиперзвуковые ЛА также можно классифицировать по назначению [2]:

- пилотируемые самолеты (самолет North American X-15);
- беспилотные ЛА (Boeing X-43);
- гиперзвуковые ракеты с ГПВРД (ракета «Циркон»);
- планирующие боевые блоки (ракетный комплекс «Авангард»);
- космоланы и космолеты («Буран» и Space Shuttle, достигшие скорости 25М).

Гиперзвуковой поток имеет ряд отличительных особенностей от сверхзвукового. При обтекании гиперзвуковым потоком возникают такие явления, как тонкий слой ударной волны, образование вязких ударных слоев, появление волн неустойчивости в пограничном слое [4] и плазма (частично или полностью ионизированный газ, который образуется из нейтральных атомов и заряженных частиц), которая образуется при достижении скорости (9...10)М [5, с. 99].

Гиперзвуковой полет, как и сверхзвуковой, характеризуется наличием скачков уплотнения, но на гиперзвуке он работает не только снаружи, но и внутри ракеты. Сжатые потоки возникают под крылом и корпусом из-за наличия угла атаки и таким образом создают подъемную силу ракеты.

Плазма, формирующаяся вокруг такого ЛА, способствует большому нагреву оболочки (до 3000 К) [2], поэтому необходимо изготовление термостойких материалов, либо использование нескольких слоев теплозащиты. Но даже с использованием таких материалов и/или увеличением слоя теплозащиты ЛА все равно будет сильно нагреваться, из-за чего в процессе полета потеряет форму и, как следствие, аэродинамическое качество. Ракета в форме конуса будет окружена плазмой по всей поверхности, поэтому целесообразно изготавливать ракету в форме дротика, во-первых, для устойчивости, во-вторых, для смещения слоя плазмы назад, дальше от частей с наибольшей чувствительностью, например, антенн [6].

У гиперзвукового ЛА существует такая проблема, как обеспечение управляемого полета в воздухе, параметры которого в зависимости от высоты меняются. Но при больших скоростях в атмосфере требуется достаточно точное определение аэродинамических характеристик [7]. Температура на низких высотах всегда больше, чем на высоких. Поэтому для гиперзвукового полета, который и так характеризуется повышенной температурой, необходимы высоты с большей разреженностью атмосферы — стратосфера. На такие высоты ракета может подниматься, например, с помощью ускорителя.

Необходимо понимать, что скорость планирующих ЛА при сближении с поверхностью, где находится цель, ниже, чем у боевых блоков баллистических ракет, поэтому существует вероятность перехвата. Кроме того, в результате силь-

ного нагрева планирующего гиперзвукового блока появляется возможность его обнаружения с помощью инфракрасных датчиков, но плазма вокруг ЛА усложнит выдачу целеуказаний [8].

Гиперзвуковой ЛА должен иметь большую точность попадания в цель, но следует принимать во внимание высокую скорость полета и маневрирование, из-за которых будет происходить существенное накапливание ошибок. Это является главной проблемой гиперзвукового оружия. Плазма затрудняет использование навигации. Из-за этого на гиперзвуковых скоростях невозможно использовать головки самонаведения. Поэтому система она должна быть автономной, быстро обрабатывать задание и иметь низкую погрешность в вычислениях. Командное наведение не сможет обеспечить высокую точность.

Связь с таким ЛА также является проблемой из-за плазмы, формирующейся вокруг ЛА. Эту проблему можно решить, например, торможением или переходом в космическое пространство. Второе свойственно планирующему блоку, который маневрирует на высоте 100 км, «отталкиваясь» от атмосферы.

Преимуществом гиперзвуковой ракеты с двигателем является дальность полета, которая может существенно превышать дальность полета по сравнению с планирующим ЛА. Но для таких ракет имеются сложности в создании двигателя. Полученные в настоящее время результаты по достижению гиперзвуковой скорости показывают, что предельная скорость гиперзвукового ЛА с прямоточным воздушно-реактивным двигателем (ПВРД) составляет около (6...7)М [5, с. 99]. Для такого полета был создан гиперзвуковой прямоточной воздушно-реактивной двигательной установки (ГПВРД). Работа ГПВРД основывается на принципе сжатия потока воздуха из окружающей среды. Двигатель сжигает в этом сжатом воздухе топливо и разгоняет воздух с помощью реактивного сопла, которое является не соплом Лавала, а лишь его частью (сопло Лавала сначала сужается, потом расширяется). В сужающейся части сопла поток дозвуковой. Расширяющаяся (диффузор) часть нужна для разгона потока, и в ней поток уже сверхзвуковой. Для ГПВРД необходимо специальное топливо. Недостатком такого двигателя является невозможность старта с Земли при нулевой начальной скорости (в настоящий момент такой двигатель не создан). ГПВРД способен работать при разгоне конструкции ракеты на скорости выше 3М [9].

Маневрирование гиперзвуковой ракеты крайне затруднено, однако большая скорость позволяет препятствовать перехвату. Полет гиперзвуковой ракеты может складываться из обхода элементов зон ПРО и локального маневрирования при поступлении информации о запуске противоракеты [3].

Для активных маневров необходима большая подъемная сила, которая на гиперзвуке создается в результате сжатия потока скачками уплотнения под крыльями и корпусом и наличия угла атаки. Соответственно, для увеличения подъемной силы необходимо повысить аэродинамическое качество. Уменьшения лобового сопротивления можно добиться с помощью острых передних кромок.

Главным образом, технологии гиперзвукового полета исследуются применительно к военному оружию как средство поражения цели. Можно также рас-

смотреть выведение КА на орбиту с помощью гиперзвуковой установки — ГПВРД. Ее удельный импульс составляет 1000...4000 с в теории [9], а для ракеты на сегодняшний день — 460 с (ракета РД-701) [10]. Но с ростом скорости значение удельного импульса уменьшается.

У обычной ракеты топливо примерно на 75 % состоит из окислителя. ГПВРД не требует использования окислителя, и это является большим преимуществом такого двигателя, поскольку позволяет либо уменьшить стартовую массу ЛА, либо увеличить полезную нагрузку, тем самым снизив стоимость доставки грузов на орбиту.

Недостатком ГПВРД является низкое отношение тяги к массе ЛА, что увеличивает долю двигателя в стартовой массе. Также необходимо обеспечить начальную скорость запуска ГПВРД, что приводит к дополнительным расходам.

Технологии создания гиперзвуковых ЛА охватывают большой круг задач, определяемых установкой различных боевых частей. Создание такого ЛА является технологически сложной задачей. Управление такими ЛА сопряжено со многими технологическими сложностями, но эти проблемы являются незначительными по сравнению с преимуществами, которые дает гиперзвуковой ЛА как средство поражения объекта противника.

Литература

- [1] Лавров А. Заглянуть за гиперзвук: чем Россия будет защищаться от нового оружия. *iz.ru: веб-сайт*. URL: <https://iz.ru/1101811/anton-lavrov/zaglianut-za-giperzvuk-chem-rossiia-budet-zashchishchatsia-ot-novogo-oruzhiia> (дата обращения: 15.04.2021).
- [2] Козюлин В. Всемирный забег на гиперзвуковую скорость. *expert.ru: веб-сайт*. URL: <https://expert.ru/2019/06/18/vsemirnyj-zabeg-na-giperzvukovuyu-skorost/> (дата обращения: 12.04.2021).
- [3] Цыгикало Н. Гиперзвуковая крылатая ракета и ее скачки. *Коммерсантъ наука*, 2020, № 24. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4501975>
- [4] Федоров А. Transition and stability of high-speed boundary layers. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 2011, no. 43, pp. 79–95. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-122109-160750>
- [5] Анцупов О., Ищук П., Косяк И. Гиперзвуковые летательные аппараты: реальна ли опасность. *Воздушно-космическая сфера*, 2016, № 2, с. 96–105.
- [6] Демпси М. Гонка в создании гиперзвуковых самолетов. Кто впереди всех? *bbc.com: веб-сайт*. URL: <https://www.bbc.com/russian/features-53987396> (дата обращения: 22.03.2021).
- [7] Пробстин Р.Ф., Хейз У.Д. Теория гиперзвуковых течений. М., ИЛ, 1962.
- [8] Стефанович Д.В. Русский гиперзвук: что, когда и почему? *Новый оборонный заказ. Стратегии*, 2020, № 2. URL: <https://dfnc.ru/arhiv-zhurnalov/2020-2-61/russkij-giperzvuk-hto-kogda-i-pochemu/>
- [9] Гиперзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель (ГПВРД). *engine.space: веб-сайт*. URL: <http://engine.space/science/develop/giperzvukovoy-pryamotochnyy-vozdushno-reaktivnyy-dvigatel-gpvr8700/> (дата обращения: 09.05.2021).
- [10] Двигатели для многоразовых систем. *buran.ru: веб-сайт*. URL: <http://www.buran.ru/hm/40-3.htm> (дата обращения: 07.04.2021).

Вафина Елена Альбертовна — студентка кафедры «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Клишин Алексей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Вафина Е.А. Особенности использования гиперзвуковых летательных аппаратов. *Политехнический молодежный журнал*, 2021, № 06(59). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-06-710>

FEATURES OF HYPERSONIC AIRCRAFT USE

E.A. Vafina

vea16m270@student.bmstu.ru

SPIN-code: 4688-8679

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

Today, hypersonic aircraft are one of the most effective means of overcoming enemy missile defenses. The creation of hypersonic missiles gives an advantage in the political and military aspect of relations between states. The article discusses the features of hypersonic aircraft use, analyzes the control methods of such vehicles, their advantages and disadvantages, control problems and possible methods for their solution. Possible areas of application of hypersonic missiles are also identified and examples of such aircraft are shown, which are currently few due to the complexity of their creation and problems in the implementation of control at high speeds and temperatures.

Keywords

Hypersonic aircraft, control, controllability, control methods, maneuvering, missile technology, weapons, control process, control efficiency

Received 09.06.2021

© Bauman Moscow State Technical University, 2021

References

- [1] Lavrov A. Zaglyanut' za giperzvuk: chem Rossiya budet zashchishchat'sya ot novogo oruzhiya [Look beyond hypersound: how will Russia defend from a new weapon]. *iz.ru: website* (in Russ.). URL: <https://iz.ru/1101811/anton-lavrov/zaglianut-za-giperzvuk-chem-rossiia-budet-zashchishchatsia-ot-novogo-oruzhiia> (accessed: 15.04.2021).
- [2] Kozyulin V. Vsemirnyy zabeg na giperzvukovuyu skorost' [World race with hypersonic speed]. *expert.ru: website* (in Russ.). URL: <https://expert.ru/2019/06/18/vsemirnyij-zabeg-na-giperzvukovuyu-skorost/> (accessed: 12.04.2021).
- [3] Tsygikalo N. Hypersonic winged missile and its jumps. *Kommersant'' nauka*, 2020, no. 24. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4501975> (in Russ.).
- [4] Fedorov A. Transition and stability of high-speed boundary layers. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 2011, no. 43, pp. 79–95. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-122109-160750>
- [5] Antsupov O., Ishchuk P., Kosyak I. Hypersonic aircraft: if danger is real. *Vozdushno-kosmicheskaya sfera* [Aerospace Sphere Journal], 2016, no. 2, pp. 96–105 (in Russ.).
- [6] Dempsi M. Gonka v sozdanii giperzvukovykh samoletov. Kto vpered i vsekh? [Race in hypersonic aircraft design. Who's ahead?] *bbc.com: website* (in Russ.). URL: <https://www.bbc.com/russian/features-53987396> (accessed: 22.03.2021).
- [7] Hayes W.D., Probst R.F. Hypersonic flow theory. Academic press, 1959. (Russ. ed.: *Teoriya giperzvukovykh techeniy*. Moscow, IL Publ., 1962.)
- [8] Stefanovich D.V. Russian hypersound: what, where and why? *Novyy oboronnyy zakaz. Strategii* [New Defense Order. Strategy], 2020, no. 2. URL: <https://dfnc.ru/arhiv-zhurnalov/2020-2-61/russkij-giperzvuk-cto-kogda-i-pochemu/> (in Russ.).

- [9] Giperzvukovoy pryamotochnyy vozdušno-reaktivnyy dvigatel' (GPVRD) [Hypersonic ramjet engine (GPVRD)]. *engine.space: website* (in Russ.). URL: <http://engine.space/science/develop/giperzvukovoy-pryamotochnyy-vozdušno-reaktivnyy-dvigatel-gpvrd8700/> (accessed: 09.05.2021).
- [10] Dvigateli dlya mnogorazovykh system [Engines for reusable systems]. *buran.ru: website* (in Russ.). URL: <http://www.buran.ru/htm/40-3.htm> (accessed: 07.04.2021).

Vafina E.A. — Student, Department of Dynamics and Flight Control of Rockets and Spacecraft, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Klishin A.N., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Dynamics and Flight Control of Rockets and Spacecraft, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Vafina E.A. Features of hypersonic aircraft use. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2021, no. 06(59). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-06-710.html> (in Russ.).