



Системы скрамджет для космонавтики будущего

Использование международной космонавтики в гражданских целях в современном мире актуально как никогда – не в последнюю очередь из-за роста спроса на спутники с самыми различными задачами.

**Уве Гайсбауер,
Бернхард Вайганд**

Институт
аэродинамики и газовой
динамики, университет
Штутгарта

Однако стоит заглянуть за кулисы космонавтики, как выясняется, что единственный выход в космос обеспечивают все еще только классические ракеты. Без сомнения, ракетные технологии по праву доминировали в космонавтике в последние десятилетия. Но также очевидно, что в отношении своей эффективности эта технология уже достигла своих пределов. Сегодня типичная система космических перевозок характеризуется очень большой взлетной массой и очень низким весом полезного груза, который составляет от одного до трех процентов общего веса. Причиной тому является большая доля жидкого кислорода (от 20 до 30%), который необходимо везти на борту и который служит для сжигания, в том числе во время полета через слои атмосферы, богатые кислородом. Возможным путем повышения эффективности классических ракет, таким образом,

ким научно-исследовательским сообществом (DFG) аспирантский колледж под названием «Термодинамическая конструкция двигателя скрамджет для космических перевозок будущего», который в 2014 году может похвастаться очень высокими результатами. Благодаря Колледжу 1095 в Германии возникла рабочая группа, которая на основании имеющейся экспертизы смогла внести огромный вклад в разработку скрамджетов. В общей сложности для Колледжа было написано почти 50 докторских и бесчисленное множество выпускных работ в университетах-участниках: РВТУ Ахена, Техническом университете Мюнхена и Германском центре авиации и космонавтики в Кёльне.

В связи с особенностями темы исследований очень быстро деятельность колледжа приобрела международную направленность, в особенности в сторону России. Более 20 лет между Университетом Штутгарта и Институтом теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича (ИТПМ) в Новосибирске поддерживают тесное сотрудничество, в частности благодаря необычным экспериментальным установкам, позволяющим создавать в аэродинамических трубах ИТПМ условия, сходные с условиями настоящего полета со сверхзвуковой скоростью на больших высотах. На основании данных, полученных при работе на данной установке и в ходе исследований в рамках Колледжа 1095, был построен работоспособный демонстратор скрамджета – а при финансовой поддержке DFG и Университета Штутгарта в последнем был запущен собственный проект по апробации целого ПВРД в реальных полетных условиях.

Спроектированный и сконструированный в Университете Штутгарта демонстратор был весьма успешно протестирован в период с 2011 по 2014 гг. в ИТПМ в общей сложности в трех испытательных кампаниях, и впервые помимо стабильного сверхзвукового сгорания при использовании специально разработанной системы впрыска удалось получить тягу в условиях реального полета. В качестве топлива был использован водород. Эта совместная работа представляет собой важную веху в исследовании скрамджетов. Русские и немецкие ученые вместе сделали большой шаг в будущее, который, возможно, через несколько лет сможет изменить всю гражданскую космонавтику. ■

Без сомнения, ракетные технологии по праву доминировали в космонавтике в последние десятилетия.

представляется использование новой системы запуска, которая после взлета ракета, при полете через атмосферу, могла бы использовать кислород, содержащийся в воздухе. Такие «дышащие воздухом двигатели» (скрамджеты – гиперзвуковые прямоточные реактивные двигатели, ГПВРД) технически весьма сложны и предъявляют новые требования ко всей структуре ракеты. Одновременно с этим они, однако, способны значительно повысить общую эффективность, увеличить массу транспортируемого полезного груза и снизить расходы, представляя собой важный шаг в направлении будущего.

Одна из трудностей заключается в очень широком диапазоне скоростей во время полета сквозь атмосферу, во много раз превышающих скорость звука. При этом для достижения необходимой тяги недостаточно использовать традиционные турбо- или реактивные двигатели (рамджет): все чаще необходимо прибегать к так называемым двигателям скрамджет, в которых весь процесс сгорания происходит при скоростях, многократно превышающих сверхзвуковые.

В связи с этим в 2005 году в Германии, в университете Штутгарта, был основан финансируемый Немец-

Scramjets für zukünftige Raumtransportsysteme

Die zivile Nutzung der internationalen Raumfahrt ist in unserer modernen Welt aktueller denn je, nicht zuletzt infolge des immer größeren Bedarfs an Satelliten mit unterschiedlichsten Aufgaben.



**Uwe Gaisbauer,
Bernhard Weigand**
Institut für Aerodynamik
und Gasdynamik (IAG),
Universität Stuttgart

Bei einem Blick hinter die Kulissen der Raumfahrt muss man jedoch feststellen, dass zurzeit der einzige Zugang zum All wiederum nur über die klassische Rakete gegeben ist. Zweifelsohne hat die Raketentechnologie die Raumfahrt in den letzten Jahrzehnten zu Recht dominiert. Allerdings ist es genauso sichtbar, dass diese Technologie hinsichtlich ihrer Effizienz allmählich gewisse Grenzen erreicht. Ein typisches heutiges Raumtransportsystem ist durch eine sehr hohe Abflugmasse gekennzeichnet, ganz im Gegensatz zu einer sehr geringen Nutzlastmasse, die anteilig in einem Bereich von ein bis drei Prozent liegt. Ursächlich hierfür ist insbesondere der große Anteil an mitzuführendem flüssigem Sauerstoff (20 bis 30%), der zur Verbrennung auch während des Fluges durch die sauerstoffreiche Atmosphäre benötigt wird. Ein denkbarer Weg zur Effizienzsteigerung der klassischen Rakete wäre somit, ein neuartiges Antriebssystem zu verwenden, das nach dem Abheben der Rakete, beim Flug durch die Atmosphäre, den Luftsauerstoff zur Verbrennung verwenden kann. Diese „luftatmenden Antriebssysteme“ (Scramjets – Supersonic Combustion Ramjets) sind technisch sehr komplex und stellen neue Herausforderungen auch an die gesamte Missionsstruktur. Gleichzeitig versprechen sie allerdings eine deutliche Steigerung der Gesamteffizienz und der zu transportierenden Nutzlast, können zur Kostensenkung beitragen und stellen einen gewaltigen Schritt in Richtung Zukunft dar.

Eine dieser Herausforderungen liegt in dem sehr großen Geschwindigkeitsbereich beim Flug durch die Atmosphäre, bis hin zu einem Vielfachen der Schallgeschwindigkeit. Hierbei ist es nicht mehr möglich, mit herkömmlichen Turbo- oder Strahltriebwerken (Ramjet) den benötigten Schub zu erzeugen, vielmehr müssen nun so genannte Scramjet-Antriebe zum Einsatz kommen, bei denen der gesamte Verbrennungsvorgang bei mehrfacher Überschallgeschwindigkeit stattfindet.

Der zurzeit einzige Zugang zum All ist nur über die klassische Rakete gegeben.

Vor diesem Hintergrund wurde 2005 in Deutschland, an der Universität Stuttgart, ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziertes Graduiertenkolleg (GRK), mit dem Titel „Aero-thermodynamische Auslegung eines

Scramjet Antriebssystems für zukünftige Raumtransportsysteme“ eingerichtet und 2014 sehr erfolgreich abgeschlossen. Durch das Graduiertenkolleg 1095 entstand in Deutschland ein Arbeitsteam, das aufgrund der vorhandenen Expertise in der Lage war, einen ganz entscheidenden Beitrag auf dem Gebiet der Scramjet-Antriebssysteme zu leisten. Insgesamt wurden, verteilt auf die beteiligten Universitäten RWTH Aachen, TU München und am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt Köln, nahezu 50 Doktorarbeiten und unzählige studentische Abschlussarbeiten durchgeführt.

Während der Laufzeit des GRK erfolgte themenbedingt sehr schnell eine starke internationale Ausrichtung, insbesondere auch nach Russland. Seit mehr als 20 Jahren besteht zwischen der Universität Stuttgart und dem Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics (ITAM) in Novosibirsk

Zweifelsohne hat die Raketentechnologie die Raumfahrt in den letzten Jahrzehnten zu Recht dominiert.

eine sehr enge wissenschaftliche Kooperation, ganz speziell wegen der außergewöhnlichen experimentellen Anlagen, die es ermöglichen, in den Windkanälen am ITAM Bedingungen zu erzeugen, wie sie bei einem echten Flug mit mehrfacher Schallgeschwindigkeit in großer Höhe herrschen. Basierend auf dieser Anlage sowie auf den Arbeiten innerhalb des GRK 1095 sollte ein funktionsfähiger Scramjet-Demonstrator gebaut werden, und es entstand, finanziert von der DFG und der Universität Stuttgart, an der Universität Stuttgart ein eigenes Projekt zur Erprobung eines kompletten Scramjet-Antriebs unter realen Flugbedingungen.

Der an der Universität Stuttgart entworfene und gebaute Demonstrator wurde zwischen 2011 und 2014 in insgesamt drei Messkampagnen sehr erfolgreich am ITAM getestet, sodass erstmalig neben einer stabilen Überschallverbrennung bei Verwendung eines speziell entwickelten Einspritzsystems auch Schub unter realen Flugbedingungen, nachweisbar erreicht werden konnte. Als Treibstoff wurde Wasserstoff verwendet. Diese gemeinsamen Arbeiten stellen einen Meilenstein in der Scramjet-Forschung dar. Deutsche und russische Wissenschaftler haben gemeinsam einen gewaltigen Schritt in die Zukunft getan, der vielleicht in einigen Jahren die gesamte zivile Raumfahrt verändern kann. ■