

## За гранью звука: как воздухозаборник решает судьбу двигателя



На петербургском предприятии Объединённой двигателестроительной корпорации (входит в Госкорпорацию Ростех) подвели итоги конкурсного отбора на стипендию имени Владимира Яковлевича Климова. В 2024 году лауреатами стали 20 студентов ведущих вузов и колледжей Санкт-Петербурга.

Студенты колледжей получат единовременную выплату, а учащиеся высших учебных заведений — ежемесячную надбавку к стипендии. Стипендия присуждается за высокие академические результаты, активную научно-исследовательскую деятельность и проекты, представляющие интерес для авиационного двигателестроения.

Среди стипендиатов — **четыре студента Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого**, которые представили свои исследования и инженерные разработки на рассмотрение специальной комиссии.

Одним из победителей стал **Глеб Мелькин**, студент Высшей школы энергетического машиностроения. Его проект посвящён одной из ключевых задач современной аэрокосмической инженерии.

### Тема проекта:

**Проектирование и оптимизация входных устройств сверхзвуковых летательных**

**аппаратов.**

О том, почему он выбрал эту тему, с какими инженерными вызовами столкнулся и почему идеального воздухозаборника не существует, Глеб рассказал в интервью.

**Почему ты выбрал тему сверхзвуковых воздухозаборников и в чём ты видел главную инженерную проблему этого проекта?**

В процессе изучения авиационных двигателей мне стало интересно рассчитать весь воздушный тракт. С самого начала нужно было понять, как вообще воздух попадает в двигатель. Я начал изучать научные статьи и учебные материалы по этой теме, что в итоге и подтолкнуло меня к созданию данного проекта.

Основная инженерная проблема здесь — обеспечить необходимый расход воздуха через воздухозаборник при минимальных потерях давления.

**Почему компрессор двигателя не может работать со сверхзвуковым потоком и что именно должен сделать воздухозаборник?**

Осевой компрессор авиационного двигателя не может работать со сверхзвуковым набегающим потоком сразу по нескольким причинам.

Во-первых, скачки уплотнения будут буквально бить по лопаткам, что негативно скажется на их прочности и может привести к разрушению.

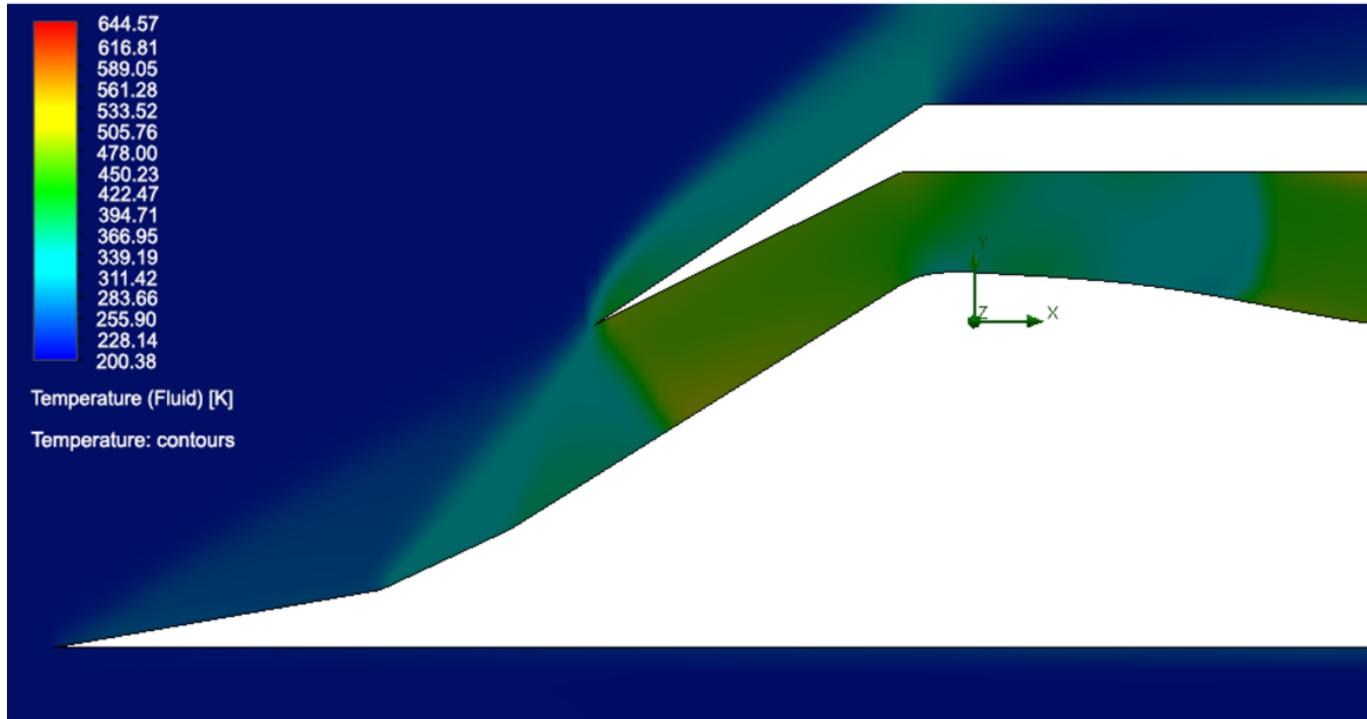
Во-вторых, скачки уплотнения на лопатках вызывают отрыв потока, а это провоцирует помпаж. В-третьих, сверхзвуковой поток, в отличие от дозвукового, ускоряется в расширяющихся каналах. А именно такими являются межлопаточные каналы компрессора — это приводит к снижению давления вместо его повышения. То есть даже если бы существовал компрессор, способный работать со сверхзвуковым набегающим потоком, он не смог бы работать с дозвуковым.

Воздухозаборник решает эту проблему: он обеспечивает торможение потока до дозвуковых скоростей на всех режимах работы двигателя и летательного аппарата, тем самым гарантируя нормальную работу компрессора.

**В чём принципиальная проблема прямого скачка уплотнения на высоких числах Маха?**

Потери давления напрямую зависят от того, насколько резко тормозится поток. Число Маха за прямым скачком уплотнения всегда меньше единицы, поэтому при повышении числа Маха на входе поток будет тормозиться всё более резко — а значит, потери будут расти.

На низких, но всё ещё сверхзвуковых скоростях прямой скачок уплотнения вполне уместен: потери давления остаются допустимыми, а простота конструкции становится ключевым преимуществом.



Поле статической температуры.  $M=2.5$ ,  $H = 11$  км. (22700 Па, 216К)

16



## Почему многоскаковые системы сжатия оказываются намного эффективнее одного прямого скачка?

Потому что они тормозят воздух ступенчато, а не рывком. Многоскаковая система создает серию косых скачков уплотнения. В каждом из них скорость падает понемногу, а давление растет плавно. Это позволяет сохранить гораздо больше полного давления, чем при одном жестком прямом торможении.

## Что такое срыв работы воздухозаборника и почему он считается одним из самых опасных режимов для двигателя?

Срыв воздухозаборника — это аварийный режим работы входного устройства, при котором резко падает его пропускная способность и возрастает аэродинамическое сопротивление летательного аппарата.

По своей сути сверхзвуковой воздухозаборник напоминает обратное сопло Лаваля: одна часть канала расширяющаяся, другая — сужающаяся, а между ними находится самое узкое сечение (горло). Если пропускной способности этого горла не хватает, происходит запирание потока. Оно сопровождается низкочастотными колебаниями давления, которые бьют по конструкции самолёта, и возможными обратными течениями.

В этом случае камера сгорания двигателя не успевает отработать изменения: пламя может либо погаснуть, либо произойдёт заброс температуры, способный повредить турбину. Помимо этого, у летательного аппарата резко возрастает сопротивление, создающее разворачивающий момент — а это недопустимо на сверхзвуковых скоростях.

## **Какие технологии будущего — адаптивная геометрия, активное управление или машинное обучение — ты считаешь наиболее перспективными и почему?**

Сегодня всё больше компаний используют технологии, так или иначе связанные с искусственным интеллектом. Адаптивная геометрия позволяет существенно расширить диапазон работы воздухозаборника. Активное управление даёт возможность корректировать нестационарные явления, неизбежные в полёте. А машинное обучение способно связать всё это воедино и управлять системой в реальном времени.

Мне сложно выделить какую-то одну технологию как доминирующую — все они требуют значительных научных и финансовых вложений. Поэтому целесообразность каждой будет зависеть от конкретных задач летательного аппарата.

## **Можно ли сказать, что идеального воздухозаборника не существует?**

Да, именно так. Дело в том, что каждый летательный аппарат проектируется под конкретную скорость, и воздухозаборник будет максимально эффективен только на своём расчётном режиме. Но даже в этом случае потери неизбежны.

Более того, чем выше скорость — тем сложнее конструкция, а значит ниже надёжность. Поэтому проектирование воздухозаборника — это настоящая инженерная задача, где приходится искать компромисс между газодинамическим совершенством и практической надёжностью.

Например, воздухозаборник с внутренним сжатием обладает наименьшим сопротивлением и потерями, но его эксплуатация крайне затруднена: он работоспособен только на расчётном режиме, из которого его очень легко вывести.

Подводя итог: идеального воздухозаборника на сегодняшний день, не существует, но перспективные технологии позволяют делать входные устройства всё более надёжными и эффективными.