

Виноградов Юрий Евгеньевич – инженер, окончил Приборостроительный факультет Политехнического института (г. Омск) и аспирантуру Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва по специальности Радиофизика.

e-mail: vinogradov.ge@mail.ru 129085 Москва, пр. Мира 91, корп. 3, кв. 433. (orcid.org/0000-0001-9313-5577).

Аннотация

Известно, что новые турбореактивные двигатели испытываются, чтобы получить два значения для числа оборотов турбины:

- число оборотов максимально допустимое для длительного режима работы;

- число оборотов, в режиме, с которого начинается разрушение двигателя. При этом значении количества оборотов двигателя в единицу времени, даже если прекратить подачу топлива в двигатель, то ротор продолжает ускоряться и число оборотов в секунду продолжает увеличиваться.

В статье поясняется причина такого поведения числа оборотов ротора двигателя во времени и обсуждается перспектива эксплуатации двигателя этом, пограничном с режимом разрушения двигателя, режиме работы двигателя.

Ключевые слова: испытания турбореактивных двигателей, режимы работы турбореактивных двигателей, бестопливный режим турбореактивного двигателя.

Даровая тяга турбореактивных двигателей.

*** По сведениям от лиц, которые участвовали в испытаниях турбореактивных авиационных двигателей.

Источник информации работал в МКБ «Гранит» на территории завода Салют с 1972 года.

Он участвовал в разработках новых типов авиационных двигателей.

Подобные испытания проводились в 2-х боксах на территории предприятия.

Первое было в 1978 году, второе в 1981 году.

Генеральным конструктором тогда был Шухов Федор Владимирович.

1. Нетрадиционный режим работы турбин

Известно, что при тестировании турбореактивного двигателя на предельные обороты должны быть определены два значения числа оборотов.

Обычно, при заданной нагрузке на вал, угловая скорость вращения вала двигателя увеличивается с увеличением подачи топлива в камеру сгорания двигателя, а при уменьшении подачи топлива в камеру сгорания, число оборотов вала в секунду, уменьшается.

По достижению некоего значения угловой скорости вала число оборотов начинает возрастать быстрее, чем увеличивается подача топлива в двигатель, а потом двигатель идёт вразнос и приходится перекрывать полностью подачу топлива.

Двигатель начинает работать в режиме поддержания оборотов без подачи топлива с медленным увеличением угловой скорости вала.

Для предотвращения разгона вала к нему подсоединяют маховик. Маховик отнимает энергию вала, угловая скорость вала уменьшается и двигатель возвращается в режим, когда для поддержания числа оборотов вала нужно подавать топливо в камеру сгорания.

Так определяется значение угловой скорости вала, которое не следует достигать при эксплуатации двигателя.

Второе значение угловой скорости соответствует разрушению двигателя.

При испытаниях люди прячутся в бункере, двигатель доводят до режима саморазгона, отключают подачу топлива и наблюдают самопроизвольное увеличение угловой скорости вала двигателя. Регистрируют параметры двигателя при разгоне угловой скорости вала и производят видеосъёмку разрушения двигателя.

Так определяется значение угловой скорости вала, при которой двигатель разрушается.

По сведениям из этого же источника, конструкторы если и задавались вопросом о том, откуда черпается энергия в режиме саморазгона турбореактивного двигателя, то ответа они не нашли.

Если эти сведения верны, то мы можно конструировать двигатели, устойчивые для управления в этом бестопливном режиме.

Разве плохо иметь устойчивый и управляемый режим двигателя, при котором двигатель не потребляет топливо, сохраняя число оборотов на валу и производительность компрессора?

2. А теперь ложка дёгтя в бочку меда.

Зачем сжигают топливо в камере сгорания реактивного двигателя, если давление создаётся компрессором, непрерывно нагнетающим сжатый воздух в камеру сгорания?

Ответ.

При сжатии воздуха компрессором в 25-35 раз, повышается температура воздуха перед камерой сгорания на величину от 250 до 300 градусов.

При сгорании смеси воздуха и топлива в камере сгорания, повышается температура смеси с 500 градусов Кельвина (температура воздуха перед камерой, до 2000 градусов Кельвина).

При повышении температуры в 4,0 (четыре) раза ($2000/500=4$) объём продуктов сгорания и поступившего воздуха увеличивается в четыре раза и тогда нагретым и расширившимся газам, приходится вытекать из сопла со скоростью в 4 раза большей, чем до нагрева сжиганием топлива, а тяга реактивного двигателя пропорциональна скорости истечения струи.

*** Форсаж – это ещё увеличение температуры впускных газов, дожигом смеси уже после турбины – перед соплом.

Вывод.

Для создания такой же тяги, как при сгорании топлива, нужно увеличить в 4 раза число турбореактивных двигателей на крыле.

Двигатели увеличат массу самолёта в 4 раза.

*** Двигатель CF6-80А для самолёта Боинг 747–400F имеет массу около 4,5 тонн. Масса топлива на борту самолёта - 243117 кг

Если добавить 6 двигателей – масса самолёта увеличится на 30 тонн, но не нужно будет нести на борту 249 тонн топлива, а автономность полёта станет безграничной.

Но, для такой эксплуатации разработчики должны понять физику, которая описывает поведение двигателя в таком режиме, создать аппаратуру для обеспечения устойчивой работы двигателя в этом режиме.

При нарушении режима на самолёте должен быть запас топлива, чтобы в режиме сжигания топлива опять вывести двигатель на бестопливный режим.

3. Откуда берётся энергия в таком режиме работы двигателя?

Вопрос можно задать другой: «Откуда берётся энергия в торнадо, а мощность торнадо соизмерима с мощностью ядерного заряда?».

Природа энергии, и в случае бестопливной работы турбореактивного двигателя и в случае с торнадо имеет одинаковый характер.

Если коротко, то, как оказалось, в природе известны процедуры преобразования энергии вращательных степеней свободы многоатомных молекул рабочего тела в энергию поступательного движения рабочего тела. При этом, рабочее тело ускоряется в поступательном движении, а внутренняя энергия (теплота) рабочего тела не изменяется, несмотря на увеличение кинетической энергии рабочего тела. Температура рабочего тела не меняется.

Применительно к торнадо известно, что скорость движения воздуха достигает околосвуковых скоростей около хобота торнадо, а температура воздуха несколько уменьшается перед входом в хобот торнадо у Земной поверхности.

Понижается температура потому, что внутренняя энергия воздуха у входа в хобот торнадо тратится на выполнение механической работы, при взаимодействии с поверхностью Земли, в том числе, работа тратится на разрушение инфраструктуры.

Проще всего показать возможность превращения энергии вращательной степени свободы объекта в кинетическую энергию линейного движения на примере из упражнения гимнастки с обручем.

Если кто не верит в возможность перераспределения энергии вращательного движения в поступательное усилие, пусть пройдёт по ссылке на видеоролик, кадр из которого приведен ниже <https://disk.yandex.ru/i/aQuTv5BUTwN-RA> .



Рис. 1. Кадр из видео фрагмента выступления гимнастки с обручем.

Гимнастка отбросила от себя вращающееся кольцо, придав ему энергию вращения, а через мгновение кольцо начнёт передавать энергию вращения в поступательное движение поверхности при трении о поверхность и начинает «подтягивать к себе и подмостки и гимнастку»! Шутка, но не совсем.

Так уж устроен человек, что не ввязывается он в проекты, в которых не всё понятно и для которых даже адекватного математического описания нет.

Например, несмотря на то, что в Штатбургском Университете профессором Францем Поппелом (Franz Poppe) подтвердили существование трубопроводов с самовсасыванием ещё в 1952 году [2], в мире не появилось примеров практического использования этого эффекта.

Хочется надеяться, что предприняв попытку объяснения физической подоплёки этого явления, будет приближена возможность осмысления этого явления учёными специальных и разных видов деятельности и станут они широко применять процедуры преобразования энергии степеней свободы многоатомных молекул из одной степени в другую.

4. В.Шаубергер и дисциплинирование молекул воды

Виктор Шаубергер получил ряд патентов на трубопроводы с самовсасыванием и реализовал несколько идей практически, в том числе создал условия протекания воды с брёвнами по руслу ручья так, что вода в русле ручья текла в гору.

В основе патентов по трубопроводам с самовсасыванием лежит форма сечения трубы, и она отличается от круга, хоть и близка к кругу. Такие трубы он назвал геликоидальными. В. Шаубергер считал, что их форму он усмотрел в форме рогов антилопы куду.

Как описывал Шаубергер в прошении патента:

« 1. В данной трубе для жидких и газообразных субстанций предотвращается образование осадка и сохраняется постоянная скорость течения благодаря тому, что форма сечения трубы состоит из нескольких полукругов и сама труба закручена в спиралевидную конфигурацию. Сечение трубы яйцевидное, с изгибом, расположенным ближе к более узкому концу яйца. Помимо того, что труба в целом закручивается в спираль воображаемого конуса, она закручена вокруг самой себя.

2. В соответствии с пунктом 1 труба должна закручиваться вокруг воображаемого конуса.

3. В соответствии с пунктами 1 и 2 трубу характеризует тот факт, что в целом спиралевидная конфигурация трубы может вращаться вокруг своей центральной оси.

4. В согласии с пунктами 1—3 площадь сечения трубы должна уменьшаться в одном направлении».

Конец цитаты прошения на патент.



Рис. 2. Рога антилопы куду.

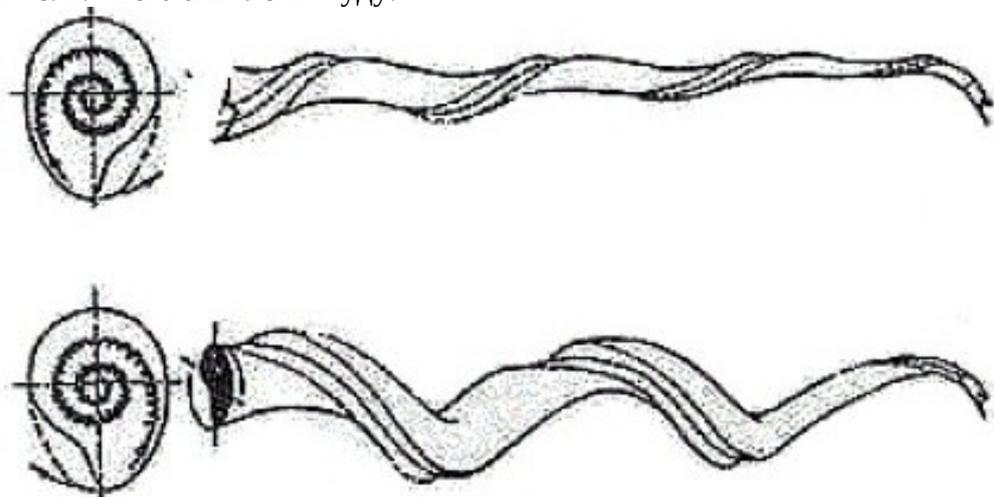


Рис. 3. Геликоидальные трубопроводы

Коль скоро даже прямые геликоидальные трубопроводы имеют спиральную нарезку в виде вмятины в профиль тубы, то вода, при движении по трубопроводу будет закручиваться вокруг оси трубы.

Однако, вращающийся поток воды, на подветренной стороне преграды (а вмятина это преграда) будет генерировать поток с противоположным вращением потока воды.

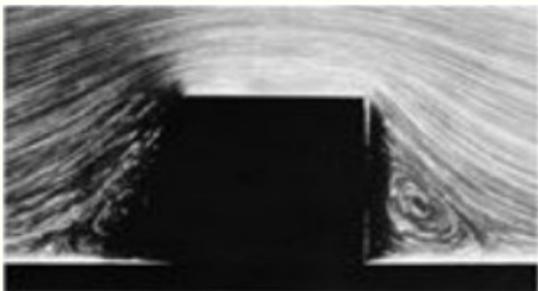


Рис. 4. Обтекание препятствия воздухом.

На рисунке 4 поток закручен и движется против часовой стрелки (судя по вихрю на подветренной, на правой стороне преграды).

Если с этим знанием обратиться к поведению воды в геликоидальной трубе, то придётся признать, что в объеме сечения трубы (в узкой её части) тоже существует поток воды, закрученный в обратную сторону.



Рис. 5. Обтекание основным потоком вмятины в трубопровод.

Основной поток воды вращается против часовой стрелки в широкой части трубы (см. надпись «Основной поток» на рис. 5). Молекулы дисциплинируются круговым движением воды вокруг оси трубопровода, и каждая тоже вращается против часовой стрелки вокруг своей оси. Это и называем «дисциплинирование».

Молекулы в зоне контакта с трубопроводом (левее вмятины) цепляются за стенку и создают трение, как колёса у автомобиля, у которого включена задняя передача, а автомобиль силой тащат вперёд.

Молекулы над углублением трубопровода не цепляются за стенку трубопровода, но они катятся по другим, нижним по рисунку молекулам (молекулам подстилки) и точка касания молекулы и подстилки перемещается вместе с потоком,

с линейной скоростью, которая получилась от движения молекул основного потока и сопутствующего в завихрении. Трения в этом месте для основного потока нет, но нет трения и у подстилающего потока, ибо молекулы из подстилающего потока катятся (увлекаемые энергией вращательной степени свободы молекул) и ускоряют сопутствующий поток.

*** Соприкасающиеся молекулы потока и подстилки в месте контакта потоков ведут себя как шестерёнки с зацеплением и потому вращаются в разные стороны.

В углублении формируется круговой поток – вихрь завихрения – турбулентности. Его направление вращения противоположное основному потоку в широкой части трубы – т.е. в турбулентности вращение вихря по часовой стрелке. Молекулы тоже дисциплинируются вихрем и даже в большей степени, ибо угловая скорость рабочего тела в вихре выше. Но, молекулы вихря турбулентности бегут (при контакте с дном углубления) в сторону основного потока, выбегая из углубления от вмятины в основную часть трубы, оттесняют основной поток от стенки трубы, и становятся самодвижущейся прокладкой между основным потоком и стенкой трубы. А далее интересно...

Прокладка - то своеобразная. Прокладка за счёт внутренней энергии вращательной степени свободы молекул ускоряется при контакте с поверхностью и увлекает за собой основной поток, но ускоряет не вечно, а пока не израсходуется энергия вращательной степени свободы молекул на границе раздела потока и трубы.

Вот тут и наступает ситуация с поиском оптимума параметров.

Чем больше площадь кармана за вмятиной по отношению к площади основного сечения трубы, тем хуже дисциплинирование молекул в вихре турбулентности, и тем меньше доля дисциплинированных молекул. А тогда и «прокладка» из плохо дисциплинированных молекул, которые не создают трения и даже ускоряют поток, не оказывает существенного влияния на самовсасывание трубы.

Опять же расход воды играет роль в обнаружении эффекта.

Если расход воды большой через основное сечение, то энергия, заключённая в «прокладке» распределяется на большую массу воды и не вызывает её ускорения. Значит, не только геометрия трубы и вмятины играет роль при движении потока, но и расход воды через трубопровод с вмятиной.

Кроме того, как показали эксперименты, проведенные Поппелом [2], не все материалы при одинаковых геометрических размерах трубопроводов демонстрируют эффект самовсасывания.

*** Читатель уже понял ли, что нужно иметь пространственное воображение для осмысления действия геликоновых труб? Не только воображение в трехмерном пространстве, но и в пространстве сопутствующих знаний.

Далее, пригодятся ещё и следующие сведения.

Есть понятие «статическое» и «гидродинамическое» давление.

Если увеличенное давление прижимает движущуюся жидкость к поверхности трубопровода, то от вида поверхности или прокладки именно этот участок взаимодействия с потоком будет оказывать воздействие на поведение потока в большей степени.

Статическое давление распространяется одинаково во все стороны внутри замкнутого сосуда с жидкостью.

При размешивании сахара в стакане круговыми движения чайной ложечки создаётся вращательное движение жидкости в стакане и возникает углубление-впадина поверхности жидкости в центре стакана, см. рис. 6, слева. Перепад уровня дна впадины и высота гребня воды у края стакана характеризует повышение радиального давления у края стакана по отношению к осевому давлению у оси вращения. Этот перепад давления определяется гидродинамическим давлением у стенки стакана. Это давление и выдавливает воду вверх по стакану.

На рис. 6, справа, схема создания дополнительного давления при вращении сосуда с жидкостью вокруг оси, не совпадающей с осью сосуда.

Именно такое соотношение возникает при протекании жидкости по закрученной вокруг воображаемого конуса геликоидальной трубе с рис. 3 и рис. 5. В таких трубах поток закручивается вокруг оси, не проходящей вообще через сечение трубы (ось вращения может быть вне полости трубы).

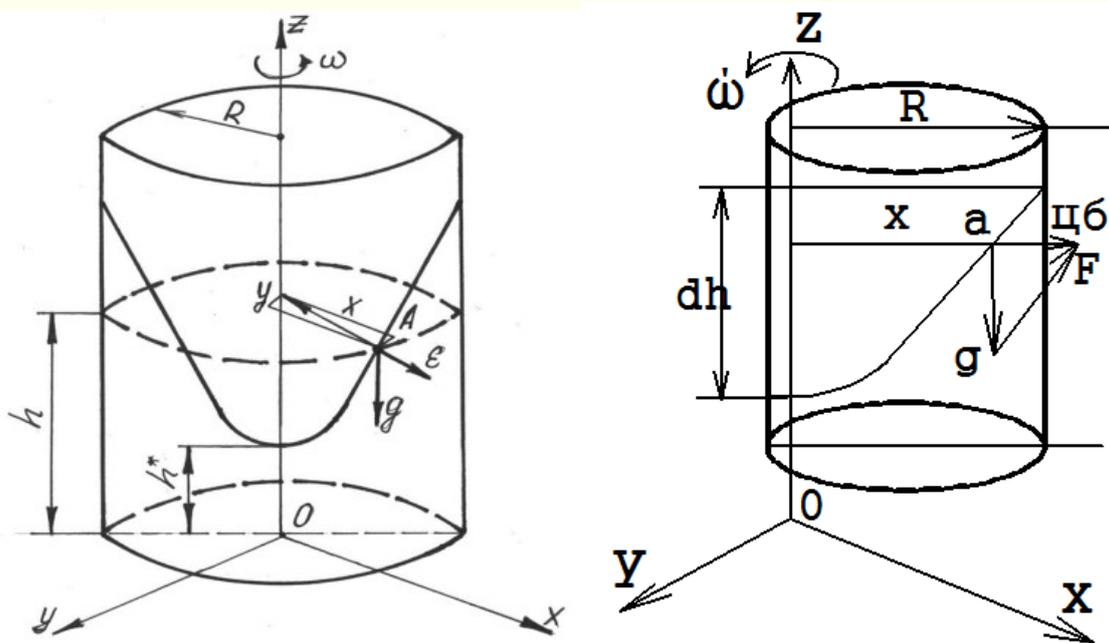


Рис. 6. Давление во вращающемся сосуде.

Если внимательно посмотреть на рис. 6, то нужно отметить, что удалённая по радиусу вращения часть трубы представляет собой поверхность за вмятиной. Эта та область трубы, в которой существует прокладка из активных молекул, не тормозящих, а ускоряющих поток. Молекулы чем плотнее прижаты к поверхности,

тем лучше сцепляются и лучше обеспечивают передачу момента вращения на ускорение всей массы потока от воздействия прокладки.

С другой стороны, на обратной стороне трубы (ближе к оси воображаемого конуса, вокруг которого навита спираль геликоидальной трубы) возникает разрежение (меньшее прижатие воды к стенке трубы) и тогда даже не правильно вращающиеся молекулы, плохо прижатые к поверхности трубы, не будут создавать трение (трение зависит от величины нормальной составляющей усилия на объект). Не прижатые слои рабочего тела к поверхности трубы не будут сильно препятствовать движению основного потока.

В.Шаубергер использовал ещё и другое, что преподносил как необходимость агрегатам «дышать», т.е. агрегаты должны иметь возможность подсасывать воздух в поток воды (см. рис. 7). И необходимость в этом тоже объяснима.

По сути, при поступлении воздуха в область низкого гидродинамического давления вообще разрывались условия трения воды о стенку, ибо создавалась прослойка из воздуха в нужном месте между потоком воды и стенкой геликоидальной трубы. А трение воды с воздухом много меньше, чем трение между водой и твёрдой стенкой.

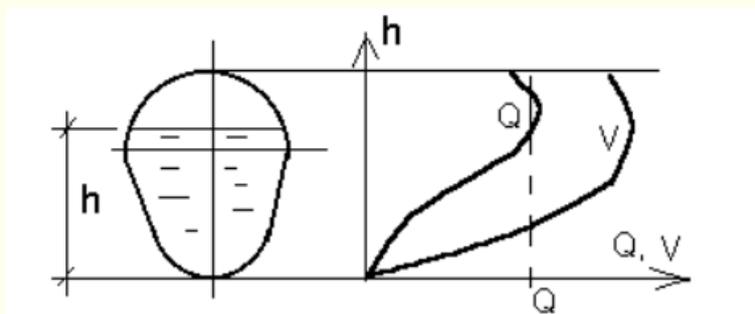


Рис. 7. Наличие в трубе воздуха влияет на расход воды Q и скорость V воды в трубе.

При оптимальном коэффициенте заполнении трубы воздухом и при оптимальной форме сечения трубы, скорость жидкости максимальная и расход жидкости в трубе получается больше, чем при полностью заполненной жидкостью трубе.

Совместным воздействием двух факторов:

- снижения трения в области пониженного гидродинамического давления и;
- ускорения потока «самодвижущейся прокладкой» за счёт правильного направления вращения молекул и их хорошего прижатия к поверхности трубы,

создаются условия для трансформации энергии вращательных степеней свободы молекул в энергию поступательного движения молекул и всей массы воды в трубе и это увеличение скорости и расхода не требует затрат внешней энергии.

Вот так долго, но предоставлена версия физических процессов, описанных в эксперименте В.Шаубергера и повторенного в Штутгартском технологическом университете.

*** Ни до, ни после эксперимента пояснения эффекту самовсасывания не появилось.

Вот пример ответа на один из вопросов по поводу эффекта самовсасывания:

Вопрос такой: - «Почему медные геликоидальные трубы показывают результаты, отличные от труб из стекла?»

Читаем в отчёте Поппела:

«Это сокращение уровня трения при прохождении водных потоков через медные трубы может объяснить только тот факт, что медь более благоприятна для формирования закручивающегося потока, чем стекло. Как было уже обнаружено ранее, силы всасывания проявляются в потоке воды через это закручивающееся движение».

*** Понятно нам стало, почему?

Нам же объяснили: - «... медь более благоприятна». Мы должны это понять...

И это речи профессора...

Хотя, и семьдесят лет спустя профессора и академики не получили должных компетенций, чтобы ответить на этот вопрос.

Опыты по сравнению трубопроводов на самовсасывание были проведены в начале 1952 года в Институте гигиены при Штутгартском технологическом университете, руководителем которого как раз и являлся профессор Франц Поппель (Franz Poppel) [2].

*** Изначально Поппель был настроен категорически против идей В.Шаубергера и на первом их обсуждении в Штутгартском университете 9 февраля 1952 года заявил «о нецелесообразности проверки взглядов и утверждений Виктора и Вальтера Шаубергеров». В результате переговоров эксперимент запустили и создали отчёт после обработки результатов эксперимента.

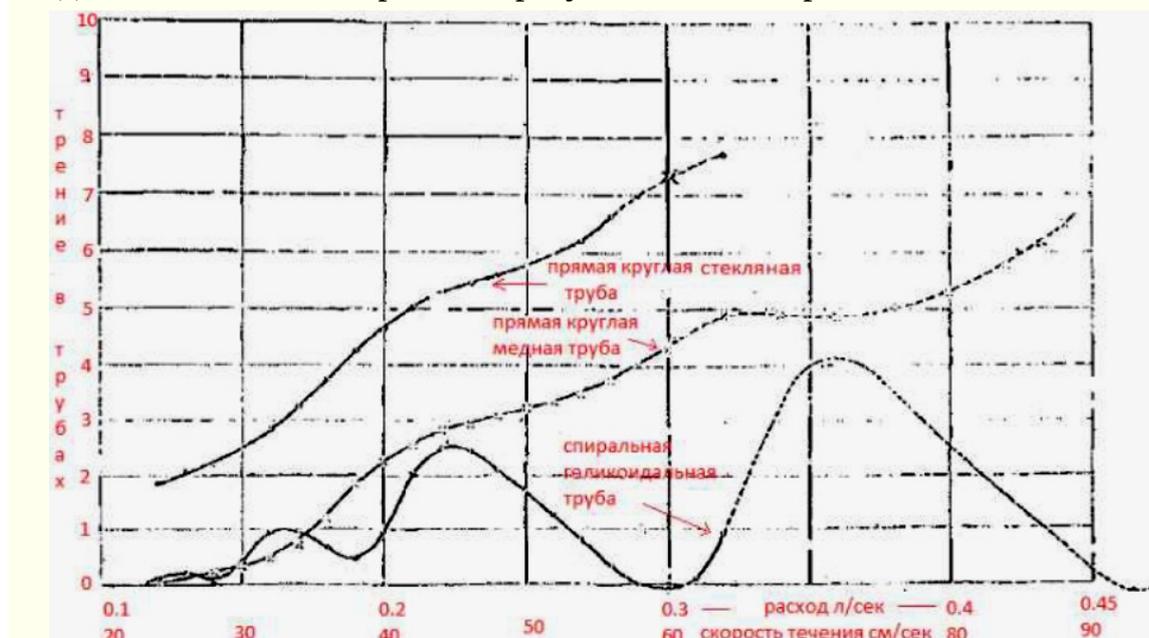


Рис. 8. Результаты представлены в виде графиков. Снизу геликоидальная, в середине медная с круглым сечением, вверху стеклянная с круглым сечением. По вертикали значения величины трения о стенки сосуда.

Основная часть отчёта профессора Поппела посвящена измерению сопротивления потоку воды в трубах разного профиля и сечения, изготовленных из различных материалов (стекло, медь) [2].

5. Выводы сделанные Попеллам

Спиралевидная геликоидальная медная труба:

- во-первых, почти во всём диапазоне измерений регистрируются потери давления в ней, но они существенно меньше, чем у круглых труб.

- во-вторых, колебания графика сопротивления перемещению воды в ней носят совсем другой характер — мягко сказать, не прогнозируемы (даже с уровня сегодняшних знаний),

- в третьих, как осторожно замечает Поппель, *«в спиралевидной или спиралевидной геликоидальной трубе было замечено фактическое уменьшение силы трения до нуля»*.

*** Как отмечают исследователи, вряд ли Поппель не понимал, что рисовать график с **отрицательными** потерями — это совсем не то же самое, что рисовать график с **нулевыми** потерями!

Ведь отрицательное трение означает разгон (продолжают исследователи) и, следовательно, получение дополнительной механической энергии из неоткуда!

Тем не менее, два нулевых отсчёта в таблице результатов при расходах 0.18 и 0.30 л/с, заставили его нарисовать график именно так.

Что же касается вопроса о форме и материале труб, то здесь вывод Поппеля однозначен: **«форма и материал труб имеют решающее значение для формирования завихряющегося движения и влияют на силу всасывания и всасывающую способность течения»**.

Штутгарт, 15 марта 1952 г.

6. Оценка потенциала количества присоединённой энергии из вращательной степени свободы.

Применительно к ГЭС с плотиной высотой 100 метров.

Один килограмм воды на высоте плотины высотой 100 метров имеет потенциал в количестве $m \cdot g \cdot h = 1,0 \cdot 9,8 \cdot 100 = 980$ Дж.

Молекула воды имеет 6 степеней свободы, и внутренняя энергия воды равномерно распределена между степенями свободы. В интервале температур одного градуса вода содержит энергии 4,18 кДж/(кг).

Вращательная степень свободы, в одном градусе содержит 696 Дж, но если начать отнимать эту энергию, то энергия станет пополняться из запаса энергии других степеней свободы и тогда можно выкачать через трансформацию вращательной степени молекул воды в работу, 4,18 кДж/(кг), а вода охладится на один градус.

ГЭС сработала и получила возможность из потенциальной энергии воды в верхнем водоёме величиной 980 Дж/кг получить механическую работу. А могла бы получить ещё 4180 Дж (в пять раз больше) и при этом вода на выходе из агрегатов ГЭС стала бы холоднее всего на один градус.

7. А что с воздухом и турбиной?

В торнадо, как и в авиационной турбине, рабочее тело воздух.

Образуется торнадо вокруг восходящего потока (см. рис. 9 верхний фрагмент).

После начала энергичного вращения потока воздуха вокруг центра восходящего потока (вращение инициируется различием скоростей воздуха на диаметрально противоположных сторонах восходящего потока), в центре вращения возникает разрежение под действием центробежной силы на каждую молекулу воздуха (см. рис. 9, средний и нижний фрагмент рис. 9).

В регион пространства с разрежением/пониженным давлением будет стремиться внешний воздух, а его стремлению будет противодействовать сила центробежная, действующая на молекулы, вращающиеся внутри хобота торнадо вокруг оси хобота.

Ну и вообще, воздуху хочется попасть в разрежённую часть, но воздух движется мимо центра разрежения и промахивается, как Луна, которая стремится к Земле, но движется по орбите и вечно промахивается мимо Земли.

Проще всего внешнему воздуху преодолеть действие центробежной силы там, где она меньше, а меньше центробежная сила у поверхности, ибо поверхность Земли тормозит скорость кругового потока вокруг центра восходящего потока, а сила пропорциональна квадрату скорости. Уменьшение скорости уменьшает центробежную силу.

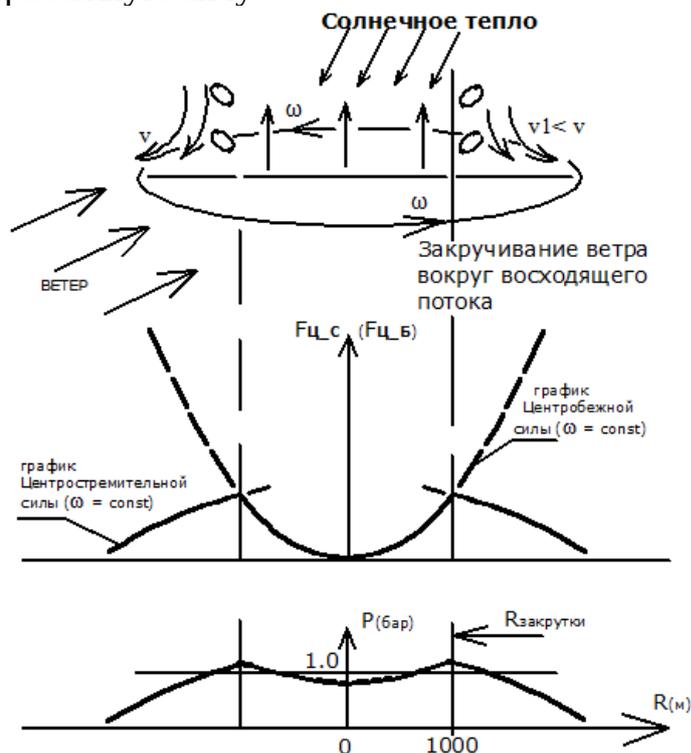


Рис. 9. Распределение давлений и скоростей воздуха в районе хобота торнадо.

Потому и засасывается воздух из приповерхностного слоя воздуха (иногда вместе с водой из озера и вместе с рыбой) в центр вихря, по хоботу поднимается воздух вверх, а центр вихря называют хоботом вихря.

А вот тут опять начинается интересное.

*** На рисунке 10, как обычно принято в подобных схемах, отображающих трёхмерное пространство, крестиком обозначают стрелку движения, направленного за плоскость рисунка, а точкой, стрелку движения, направленного от рисунка к читателю.

Воздух вращался вокруг центра восходящего потока по часовой стрелке и молекулы воздуха стали вращаться, обегая восходящий поток, каждая, как волчки гироскопа, и так вращаться, что оси вращения молекул стали параллельны оси хобота торнадо, а направление вращения совпали у всех молекул (по часовой стрелке, смотри рис. 10).

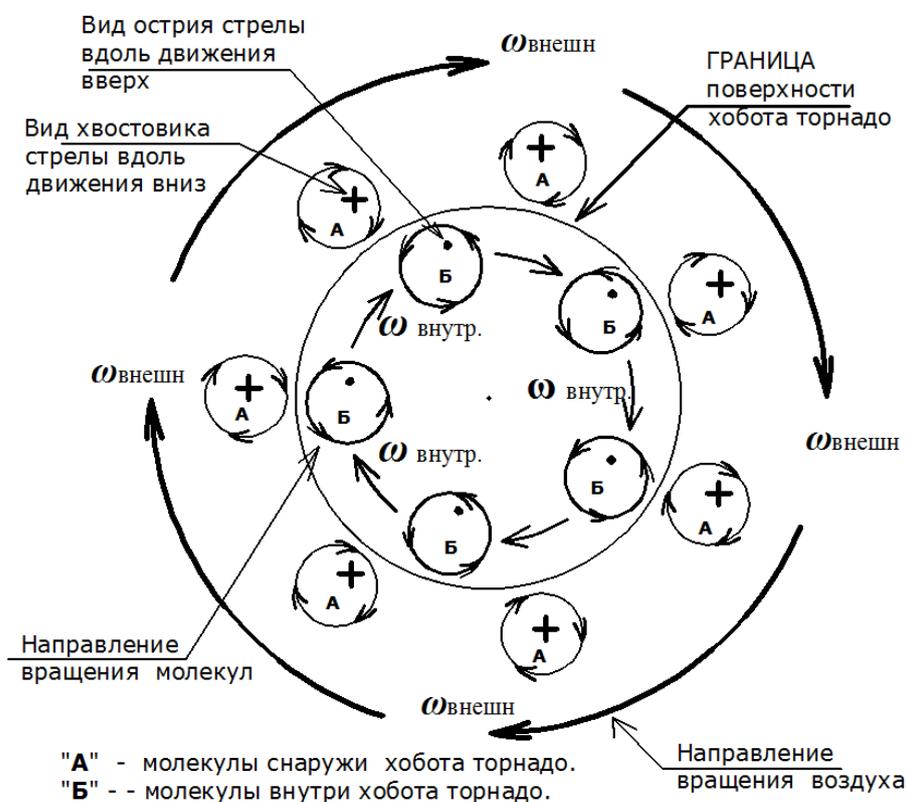


Рис. 10. Схема сечения торнадо в горизонтальной плоскости

Однако, у поверхности Земли, молекула, прежде чем попасть внутрь хобота изменяет характер вращения – молекула вращаясь, сначала двигалась вниз, потом параллельно поверхности и ось вращения молекулы стала параллельно поверхности, а потом, в хоботе, молекула устремилась вверх, но кончик штопора (вектора вращения) стал смотреть не вниз, а вверх.

*** Вектор вращения чего-то можно интерпретировать штопором с ручкой, которая вращается по нарисованному на чертеже направлению.

Молекула, попав в хобот торнадо, если смотреть сверху, стала вращаться против часовой стрелки, что отражено на рис. 10.

Воздух внешний, по отношению к хоботу, стремится в разряжённое пространство, которое внутри хобота, а навстречу ему давит воздух центробежной

силой вращения воздуха в хоботе, создаёт препятствие движению воздуха извне в хобот.

По этому препятствию (границе раздела внешнего и внутреннего воздуха по отношению к хоботу) катятся молекулы внешнего воздуха (каждая молекула вращается по часовой стрелке (ибо дисциплинирована вращением воздуха вокруг хобота). Так оторвавшееся от движущегося автомобиля колесо катится по дороге и катящиеся молекулы разгоняют поток прихоботного слоя воздуха до сверхзвуковых скоростей, обходя хобот по часовой стрелке.

А что в хоботе?

В хоботе молекулы вращаются против часовой стрелки (если смотреть сверху), катятся по разделительному слою воздуха, и передают энергию своих вращательных степеней свободы в окружное движение воздуха внутри хобота, но в направлении по часовой стрелке.

Совместными усилиями молекул снаружи и изнутри, взаимодействуя в слое сжатом центробежной силой и перепадом давления между атмосферой и разряжением в хоботе – разгоняют скорость поступательного движения воздуха, не изменяя количество внутренней энергии воздуха, образующего торнадо.

Слой молекул из внутреннего объёма хобота выступает в роли бегущего полотна дорожки, а по полотну катятся молекулы внешнего от хобота слоя воздуха и перемещают воздух в том же направлении, что и внутренние молекулы.

По мере увеличения скорости воздуха увеличивается центробежная сила, но и увеличивается перепад давления, ибо в хоботе разряжение увеличивается, вынося воздух из центра хобота к поверхности разделения слоёв центробежной силой.

В результате действия этих сил, на некотором расстоянии от центра хобота воздух уплотняется, влага из парообразного состояния в этой части воздуха вихря переходит в капельное состояние, а тогда в этом разделительном слое воздух становится не прозрачным, рассеивающим свет.

Рис. 71. Торнадо над водной поверхностью.

Ещё раз отметим, что физика торнадо нужна для понимания работы газа в компрессоре реактивного двигателя.

Нужно только определить те зоны в двигателе, где возникает разряжение (за неподвижными лопатками между секциями-ступенями компрессора) и осознать целесообразную форму лопаток, которая бы позволяла преобразовывать энергию вращательных степеней свободы молекул воздуха в движение потока воздуха вдоль оси вала компрессора, но на как можно более низких оборотах вала компрессора.

*** сегодня двигателестроители тоже думают о форме лопаток, но с позиций избежания срыва потока воздуха на выпуклых поверхностях лопаток.

Т.е. требуется решить некую обратную задачу и задачу управления поворотом лопаток для достижения устойчивой работы компрессора в бестопливном режиме эксплуатации турбореактивного двигателя.

Литература

1. Видеоролик фрагмента выступления гимнастки с обручем.
<https://disk.yandex.ru/i/aQuTv5BUTwN-RA>
2. Франц Поппел, *Предварительное исследование геликоидальных труб*, статья в Интернете. <https://tech.wikireading.ru/hpM6rufcg4>