

УДК 621.438

**«Струйные энергетические технологии»**

*Б. М. Кондрашов*

*Москва, Россия.*

*Рассмотрены способы преобразования низкопотенциальной энергии внешней среды в газотурбинных двигателях для получения мощности на валу, высокопотенциальной теплоты, «холода» и реактивной тяги. В них используется процесс последовательного присоединения дополнительных масс, который реализуется в эжекторных сопловых аппаратах ГТД. В отличие от известных преобразователей этой даровой энергии (ветровых, солнечных), эффективность её преобразования в предлагаемых ГТД не зависит от географических, временных и погодных условий, а их удельная мощность значительно выше и сопоставима с удельной мощностью двигателей традиционных схем. Они могут работать, используя разомкнутый цикл и рабочее тело - атмосферный воздух, а также по замкнутому циклу в воздухонезависимых системах. Выработка необходимого вида энергии бестопливными системами на базе таких ГТД осуществляется непосредственно в местах её потребления. Отсутствие в них материалов и устройств, связанных с использованием топлива, повышает надёжность работы, упрощает конструкцию, технологию, снижает затраты и делает производство этих систем возможным на большинстве машиностроительных предприятий, а эксплуатацию экологичной и безопасной.*

С каждым годом обостряются проблемы удовлетворения энергетических потребностей общества. Сокращаются запасы углеводородного сырья, растёт энергопотребление, ухудшается экология, а экологически чистые технологии использования возобновляемых источников энергии, в т. ч. атмосферы, не эффективны.

Неравномерный нагрев газов, сжатых под действием гравитации, вызывает изменения давления, нарушая равновесное состояние атмосферы. При его восстановлении потенциальная и тепловая энергия воздушных масс преобразуются в кинетическую. **В результате этого стохастического природного процесса энергия атмосферы становится доступной для использования** в ветродвигателях, выполняющих механическую работу без потребления кислорода и выработки продуктов сгорания. Их недостатки - низкая плотность энергии на единицу рабочей площади и неуправляемость процесса. Однако нарушать равновесное состояние атмосферы для преобразования потенциальной энергии воздушных масс в кинетическую можно и за счёт управляемых локальных воздействий, например, в эжекторных устройствах. Восстанавливая равновесное состояние, нарушаемое в них активной струей рабочего тела, атмосфера совершает механическую работу. Её объём зависит от величины, но в большей степени от способа воздействия, а также пара-

метров эжекторных устройств и сферы их применения. В эжекционном процессе - параллельного присоединения к стационарной реактивной струе тяга увеличивается без дополнительных затрат энергии топлива за счёт **«неуравновешенной силы внешнего давления на входной раструб (заборник) эжектора, появление которой обусловлено понижением давления на стенках раструба при втекании в него эжектируемого воздуха»** [1] (это утверждение Абрамовича Г.Н. констатирует **факт управляемого использования энергии атмосферы** для выполнения работы). Показатели эффективности процесса - **КПД** и коэффициент присоединения дополнительных масс  **$m$**  (равный отношению присоединяемой воздушной массы к массе активной струи) низкие из-за турбулентного смешения и трения, уменьшающих скорость активной струи  **$C_{aj}$** . В результате тяга и кинетическая энергия реактивной массы увеличиваются незначительно.

В другом процессе - последовательного присоединения (имеющего иную физическую основу, которая не обязательно связана со смешением объединяемых масс) воздействие пульсирующей активной струи создаёт периодическое разрежение в эжекторном насадке, при котором **за счёт неуравновешенной силы атмосферного давления**, вслед за каждым импульсом активной струи ускоряется воздух. **Процесс может происходить практически без смешения объединяемых масс и уменьшения скорости активной струи**, но лишь в узком диапазоне величин и соотношений основных параметров: расчётной частоты, формы, длительности и скорости газовой массы импульсов активной струи, скорости набегающего потока, а также конструктивных параметров эжекторного устройства. Только при их оптимальном значении присоединение происходит за счёт последовательного втекания воздушных масс вслед за газовой массой импульсов, при котором практически отсутствует их выталкивание из эжекторного насадка газовой массой следующего импульса и турбулентное смешение разделённых газовых масс, уменьшающие эффективность управляемого преобразования энергии атмосферы.

Одним из авторов открытия «Явление аномально высокого прироста тяги в газовом эжекционном процессе с пульсирующей активной струей» [2] О. И. Кудриным проведены экспериментальные исследования, подтвердившие эффективность этого процесса [3]. К сожалению, открытие не получило широкого применения. Вероятно потому, что изначально исследования были сконцентрированы в оборонной отрасли и направлены на получение реактивной тяги (дополнительной к тяге винтовых движителей поршневых авиационных двигателей). А если процесс присоединения дополнительных масс (обеспечивающий существенный прирост кинетической энергии реактивной струи) применяется для увеличения тяги реактивного движителя, то большая часть дополнительно полученной энергии не может быть использована для выполнения полезной работы и неизбежно рассеивается в атмосфере, создавая иллюзию низкой эффективности и самого процесса

присоединения. Специфика данной сферы применения и начавшееся в то же время освоение турбореактивных двигателей (со стационарно истекающей реактивной струей) вместо поршневых не способствовали его внедрению в авиации. А эти факторы и недостаток информации об экспериментальных исследованиях процесса стали препятствием для его внедрения также и в других отраслях, где *кинетическую энергию воздушной массы, получаемую в результате управляемого преобразования энергии атмосферы*, можно использовать не для образования реактивной тяги, а более эффективно. Кроме того, открытие было сделано в тот период, когда проблема уменьшения запасов традиционных энергоносителей и ухудшения экологической ситуации, обусловленного их применением, не были столь актуальны, как сейчас. Однако и сегодня в энергетических и транспортных системах оно «не работает», вероятно, ещё и потому, что использование энергии атмосферы традиционно ограничено ветроэнергетикой.

При описании предлагаемых способов преобразования низкопотенциальной энергии введём показатели и их зависимости, характеризующие происходящие процессы.

В процессе присоединения получается объединённая реактивная масса:

$$TM = I + m \quad (1.1)$$

где  $I$  - масса активной струи;  $m$  - присоединённая масса, численно равная коэффициенту присоединения  $m$ .

Эффективность процесса последовательного присоединения характеризует также коэффициент скорости объединённой реактивной массы:

$$w_{tm} = C_{tm} / C_{pj} \quad (1.2)$$

где  $C_{tm}$  – скорость объединённой реактивной массы ( $C_{tm}$  равна  $C_{aj}$ , которая зависит от периодического изменения давления в эжекторном насадке);  $C_{pj}$  - скорость пульсирующей реактивной струи, образованной рабочим телом с такими же параметрами как при образовании активной струи, но расширяющимся в объёме с неизменным давлением.

Рассмотрим четыре основных способа преобразования низкопотенциальной энергии в струйных двигателях с разными термодинамическими циклами.

**Первый** - в струйном двигателе с эжекторным сопловым аппаратом и рабочим телом, получаемым при сгорании топлива в камере периодического сгорания [4]. Процесс присоединения в нём состоит из повторяющейся с заданной периодичностью пары последовательных, но разных термодинамических циклов - в каждом цикле свой источник энергии и рабочее тело. В первом: после сгорания топлива (при  $V = \text{const}$ ) энергия продуктов сгорания, истекающих из реактивного сопла, преобразуется в кинетическую энергию первой части реактивной массы, которая движется в эжекторном насадке как газовый поршень и создаёт вслед за собой разрежение, а при истечении воздействует на лопатки турбины, создавая момент на её валу. *За счёт полученного разрежения, источником*

*энергии во втором цикле становится потенциальная и тепловая энергия сжатого силой гравитации атмосферного воздуха, который под действием разности давлений втекает в насадок, расширяется, охлаждается и ускоряется (также, как в стохастическом природном процессе, но в заданном направлении и с расчётными термодинамическими параметрами)*, образуя при истечении из эжекторного насадка вторую часть реактивной массы, воздействующую на лопатки. При ускорении присоединяемой воздушной массы в насадке понижается давление, увеличивая разность потенциалов давлений перед истечением импульса активной струи следующего периода и, соответственно, его кинетическую энергию. Как следствие повышается степень разрежения в насадке во втором цикле этого периода и скорость присоединяемого в нём воздуха. Тем самым, *в результате преобразования энергии низкопотенциального источника в предыдущем периоде создаются условия для повышения эффективности преобразования энергии другого - высокопотенциального источника в следующем периоде.*

Таким образом, в отличие от процесса параллельного присоединения, в котором уменьшается кинетическая энергия эжектирующего потока за счёт перераспределения его первоначальной энергии на большую массу газа, *периодическое нарушение равновесного состояния атмосферы в эжекторном насадке воздействием пульсирующей активной струи создаёт в нём с заданной частотой разность потенциалов давлений, обеспечивающую при восстановлении равновесного состояния ускорение присоединяемых воздушных масс, а также увеличение кинетической энергии активной струи.* А в результате этого дискретного процесса объединённая масса (1.1) воздействует на лопатки с кинетической энергией, возросшей в процессе присоединения за счёт преобразования и использования энергии атмосферы, увеличивая момент на валу турбины без дополнительных затрат топлива. При этом для получения одинаковой мощности топлива затрачивается меньше, чем в ГТД традиционных схем, как минимум, в количество раз, пропорциональное коэффициенту  $m$ , скорректированному на величину коэффициента  $w_{im}$  (1.2).

Необходимо отметить, что после начала истечения продуктов сгорания уменьшается их давление в камере, а также перед критическим сечением сопла и, соответственно, степень расширения «хвостовой» части газовой массы импульса в первом цикле и её скорость. Как следствие, происходит снижение степени разрежения в насадке, уменьшение присоединяемой во втором цикле газовой массы и её скорости. При этом «головная» часть импульса продуктов сгорания следующего периода выталкивает из насадка «хвостовую» часть присоединяемой воздушной массы предыдущего периода, имеющую меньшую скорость. Результат - частичное смешение разделённых газовых масс, снижающее  $C_{im}$ .

Однако эксперимент [3] показал, что даже при наличии этих потерь объединённая реактивная масса может иметь кинетическую энергию:

$$E_{tm} = 0.5 (1 + m) C_{tm}^2 \quad (2.1)$$

на много большую, чем кинетическая энергия активной струи:

$$E_{aj} = 0.5 C_{aj}^2 \quad (2.2)$$

При эжектировании атмосферного воздуха пульсирующей струёй продуктов сгорания экспериментально получен прирост реактивной силы до 140% к исходной тяге [2,3]. Его величина зависит от параметров эжекторного устройства, изменения реактивной массы и скорости её истечения. Если коэффициент  $w_{tm}$  (1.2) больше 1, то прирост кинетической энергии в результате процесса присоединения больше прироста тяги. Чтобы получить такой же прирост тяги (в 2.4 раза) при  $w_{tm}$  меньше 1, присоединяемая воздушная масса должна быть равна  $2.4 m n$ , где  $n$  – коэффициент, на который уменьшается  $C_{aj}$  и  $C_{tm}$ . А для получения прироста кинетической энергии, равного приросту тяги, в процессе с  $w_{tm}$  меньше 1, необходим коэффициент  $m$ , увеличенный в  $n^2$  раз. Так, для прироста в 2.4 раза, если даже предположить, что уменьшение  $C_{tm}$  по сравнению с  $C_{pj}$  возможно, например, в 2 раза (что маловероятно в этом процессе),  $m$  должен быть равен  $2.4 \times 2^2$  т.е. 9.6. А коэффициент  $m$ , полученный экспериментально [3], больше 10, поэтому прирост кинетической энергии и при таком гипотетическом предположении больше прироста тяги.

Таким образом, при максимально возможном уменьшении  $w_{tm}$  (1.2), экспериментально полученная  $E_{tm} = 0.5 (1 + 2.4mn^2) (C_{tm}/n)^2$  больше, чем в 2.4 раза кинетической энергии активной струи (2.2). Причём она, не рассеиваясь в атмосфере, как при создании реактивной тяги двигателя, используется для выполнения механической работы. Следовательно, большая часть мощности данным способом получается за счёт преобразования потенциальной энергии и низкопотенциальной теплоты сжатых под действием гравитации газов в кинетическую энергию воздушной массы, воздействующей на лопатки турбины. Поэтому эффективность комбинированных струйных ГТД для его реализации оценивается суммарным **КПД**, который равен **КПД** теплового двигателя, увеличенному на произведение коэффициентов  $m$  и  $w_{tm}$ . Причём сегодня возможности повышения эффективности ГТД с циклом при  $P = \text{const}$ . практически исчерпаны, а значения коэффициента  $m$  процесса присоединения, полученные экспериментально [2] - от 10 до 50, т. е. эффективность комбинированных двигателей более чем на порядок выше эффективности современных ГТД с соответствующим уменьшением выброса в атмосферу продуктов сгорания.

Автором статьи разработан стендовый вариант комбинированного струйного ГТД (а совместно с «НПО Машиностроение», г. Реутов - конструкторская документация), который, наряду с численным моделированием, позволяет варьировать и оптимизировать основные параметры процесса последовательного присоединения, в т.ч. с учетом скорости набегающего потока.

**Второй способ.** Проведенные эксперименты [3] показали, что оптимальное значение  $C_{aj}$  продуктов сгорания в процессе присоединения находится в диапазоне скоростей, которые можно получать при расширении сжатого рабочего тела, не используя для него дополнительный подогрев. Следовательно, продукты сгорания можно заменить сжатым воздухом, а камеру сгорания пневмоаккумулятором [5]. При истечении воздуха из пневмоаккумулятора давление перед критическим сечением сопла в течение цикла остаётся постоянным. Поэтому «хвостовая» часть газовой массы импульсов активной струи, снижающая эффективность процесса присоединения, отсутствует, что практически исключает смешение последовательно движущихся разделённых воздушных масс и, следовательно, потери на их трение. Коэффициент  $w_{tm}$  становится больше 1. Так как  $C_{tm}$  равно  $C_{aj}$ , то в результате кинетическая энергия объединённой массы (2.1) будет больше кинетической энергии активной струи (2.2), т. е.  $E_{tm}$  больше  $E_{aj}$ , и, соответственно, больше потенциальной энергии рабочего тела для образования активной струи  $E_{ace}$ , не менее, чем в  $m$  раз. Причём величина  $m$  (которая будет больше, чем в процессе с активной струёй продуктов сгорания, при прочих равных параметрах) изменяется в зависимости от параметров процесса присоединения в диапазоне от 10 до 50 [3], поэтому  $E_{ace}$  составляет лишь от 1/10 до 1/50 от  $E_{tm}$ . Для повышения давления воздуха в пневмоаккумуляторе перед его расширением в струйном устройстве можно использовать различные способы и источники энергии. Например, такой *баланс энергии позволяет использовать мощность, полученную в результате процессов преобразований энергии атмосферы в предыдущих периодах, для механического сжатия рабочего тела, образующего активную струю.*

Суммарные энергозатраты и потери в процессах преобразований будут:

$$E_{exp} = E_{ace} + E_{ce} + E_{te} + E_{oe} \quad (2.3)$$

где  $E_{ce}$  – **потери** энергии при сжатии воздуха в компрессоре;  $E_{te}$  – **потери** энергии при преобразовании  $E_{tm}$  в турбине;  $E_{oe}$  – прочие **потери** энергии.

При этом общий удельный вес технологических **потерь** ( $E_{ce} + E_{te} + E_{oe}$ ), будет не выше 25% от  $E_{tm}$ , в том числе:  $E_{ce}$  20% от  $E_{ace}$ ;  $E_{te}$  15% от  $E_{tm}$ ;  $E_{oe}$  2% от  $E_{aj}$ . (*выделение слова **потери** подчеркивает, что данный способ преобразования энергии не противоречит второму началу термодинамики*) В основном их величина зависит от потерь в турбине, а удельный вес потерь в компрессоре и прочих потерь при больших величинах  $m$  незначителен и составляет, соответственно, 1% и 0.1% от  $E_{tm}$ , увеличиваясь с уменьшением  $m$ .

С учётом энергозатрат и потерь (2.3), энергия для потребителей будет:

$$E_{us} = E_{tm} - E_{exp}. \quad (2.4)$$

Если принять  $E_{tm}$  равной 100%, то, при средних значениях коэффициентов  $m$  равного 20 и  $w_{tm}$  равного 1,  $E_{us} = 100\% - (5\% + 1\% + 15\% + 0.1\%) = 78.9\%$ , а  $E_{exp}$  равна 21.1% от  $E_{tm}$ . Если основные параметры процесса и/или их соотношения отклоняются от опти-

мальных величин, то значения  $m$  и  $w_{tm}$  уменьшаются. Для компенсации технологических энергозатрат и потерь (2.3) в процессах преобразования, достаточно увеличить кинетическую энергию (2.1), по сравнению с (2.2), на 44%, т.е. для самоподдержания этого процесса  $E_{tm}$  должна быть больше  $E_{aj}$  лишь в 1.44 раза. Полученная сверх этого энергия используется внешними потребителями. Например, при  $m$  равном 1 удельный вес технологических затрат и потерь, за исключением  $E_{te}$ , значительно увеличивается:  $E_{ace}$  до 50%,  $E_{ce}$  до 10%,  $E_{oe}$  до 1%, а  $E_{us} = 100\% - (50\% + 10\% + 15\% + 1\%) = 24\%$  от  $E_{tm}$ . Это значит, что даже *при такой малой величине  $m$ , равной 1* (достижимой при не самых оптимальных параметрах этого процесса присоединения), невысоких **КПД** турбины 0.85 и компрессора 0.8, *для сжатия рабочего тела можно использовать энергию, полученную в предыдущих циклах*, оставляя потребителям **24%** располагаемой  $E_{tm}$ .

*Результаты эксперимента также подтверждают возможность преобразований энергии атмосферы при сжатии рабочего тела за счёт мощности, полученной в результате её преобразований в предыдущих циклах.* Если экстраполировать увеличение кинетической энергии (в 2.4 раза), полученное экспериментально в процессе последовательного присоединения с активной струёй из продуктов сгорания [3], на аналогичный процесс с использованием сжатого воздуха для образования этой струи (без учёта реального снижения потерь на смешение и трение объединяемых масс, повышающего эффективность этого процесса), то  $E_{us} = 100\% - (41.7\% + 8.3\% + 15\% + 0.8\%) = 34.2\%$  от  $E_{tm}$ .

Согласно второму началу термодинамики не вся энергия одного неисчерпаемого источника в предлагаемом способе преобразуется в работу - часть в теплоту упомянутых выше **потерь**. А при механическом сжатии рабочего тела - в высокопотенциальную теплоту, температуру которой можно регулировать в зависимости от степени сжатия и охлаждения рабочего тела перед расширением, для полезного использования, например, в системах отопления. При расширении сжатого и охлаждённого, например, до атмосферной температуры рабочего тела значения  $C_{aj}$  и  $C_{tm}$  будут находиться в диапазоне величин коэффициента скорости  $\lambda$  до 2.45, вполне достаточном для получения окружных скоростей, обеспечивающих высокий **КПД** турбомашин.

Температура высокопотенциального рабочего тела, а также низкопотенциального - воздуха в процессах преобразований энергии понижается. Управляя количеством атмосферного и отработавшего - холодного воздуха, возвращаемого в эжекторные насадки в качестве присоединяемых масс, можно получать температуру воздушной массы, необходимую, например, в системах кондиционирования. Если отработавший в одном устройстве присоединения или эжекторном сопловом аппарате воздух направлять в качестве присоединяемых масс в другое или следующий сопловой аппарат и т.д., то его можно охлаждать до расчётных сверхнизких температур, используемых в криогенной технике.

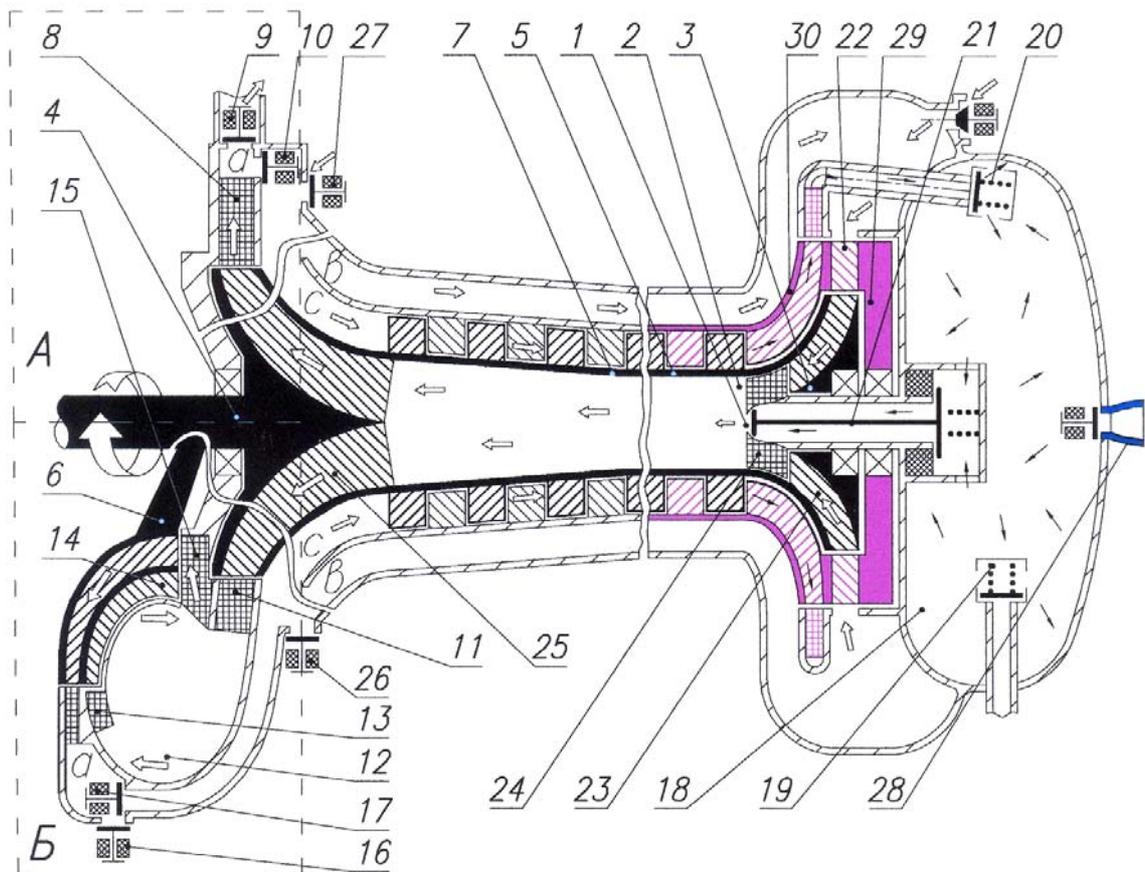
Процесс последовательного присоединения дополнительных масс воздуха в рассмотренном бестопливном способе преобразования энергии атмосферы также состоит из повторяющейся с заданной периодичностью пары последовательно связанных термодинамических циклов со своими источниками энергии и рабочими телами: из обратного цикла Карно (цикла воздушного теплового насоса – холодильной машины) и второго цикла - охлаждения атмосферного воздуха при его расширении и ускорении. Часть мощности, полученной в результате преобразований энергии атмосферы в предыдущих периодах, используется для сжатия атмосферного воздуха в обратном цикле Карно. За счёт работы расширения высокопотенциального рабочего тела – сжатого воздуха в нём создаются условия для начала второго цикла с использованием энергии атмосферы.

Таким образом, *за счёт энергии атмосферы, преобразованной в процессе последовательного присоединения предыдущих периодов, осуществляется привод воздушного теплового насоса, при работе которого создаются условия для преобразования в следующих периодах низкопотенциальной энергии внешней газовой массы, находящейся в равновесном состоянии, в доступную для использования кинетическую энергию, высокопотенциальную теплоту и «холод» расчётной температуры.*

В этом способе отработавшая газовая масса холодная и не содержит продуктов сгорания. Источники энергии - низкопотенциальная теплота атмосферного воздуха и гравитация, создающая атмосферное давление (также как в природном стохастическом процессе). А условия для преобразования энергии атмосферы создаются при расширении сжатого воздуха, сжимаемого за счёт части мощности, полученной в предыдущих периодах. Поэтому устройства, осуществляющие этот способ с использованием открытых термодинамических циклов - *атмосферные бестопливные струйные двигатели.*

Эффективность преобразования энергии в них, по сравнению с известными преобразователями даровой энергии - ветровыми, солнечными, геотермальными, не зависит от географических, временных и погодных условий, а удельная мощность значительно выше и сопоставима с удельной мощностью тепловых двигателей традиционных схем. Отсутствие жаростойких материалов, и систем, связанных с использованием топлива, упрощает конструкцию, технологию, снижает себестоимость, повышает надёжность и, наряду с возможностью одновременной выработки трёх видов энергии, расширяет сферу применения бестопливных двигателей. Их эффективность зависит, в основном, от значений  $m$  и  $w_{tm}$ , технологических потерь, а также видов используемой потребителями энергии и сферы применения - в энергетических стационарных и мобильных системах, для привода различных устройств и типов движителей. Её можно оценивать величиной удельной мощности или отношением  $E_{us}/E_{tm}$ , числитель которого увеличивается на величину энергии, используемой дополнительно сверх получаемой мощности.

Рассмотрим некоторые дополнительные возможности повышения эффективности и расширения сферы применения бестопливных двигателей с использованием схемы:



### Принципиальная схема бестопрявного струйного двигателя

Она содержит эжекторный сопловой аппарат, состоящий из сужающегося реактивного сопла 1 и эжекторного насадка - устройства присоединения 2. Проточная часть устройства присоединения, а также турбин 3 и 4, закреплённых на концах силового вала 5, находится внутри этого полого вала. Снаружи вала расположены роторы компрессоров 6,7. Выход ступеней компрессора 30, не закреплённого на валу 5, связан через обратный клапан 20 с пневмоаккумулятором 18 рабочего тела. Сжатый воздух в него подаётся через клапаны 19 или 20. Клапан 21 обеспечивает расчетную периодичность и длительность истечения сжатого воздуха из реактивного сопла 1. Вслед за воздушной массой импульса в устройстве 2 образуется разрежение. Под действием атмосферного давления присоединяемый воздух через клапаны 26,27, лопатки 22 турбины 29, лопатки 23 турбины 3, направляющий аппарат 24 ускоряется вслед за воздушной массой импульса. От геометрических параметров сопла 1, устройства 2, их соотношения и термодинамических параметров реактивной массы импульсов зависит степень получаемого в устройстве 2 разрежения и период времени, в течение которого оно сохраняется. А от этого зависит количество присоединяемого воздуха, его скорость и суммарный напор, создающий момент на валу 5 за счёт воздействия втекающей воздушной массы на лопатки 23 турбины 3 и объединённой реактивной массы на лопатки 25 турбины 4, закреплённой на другом конце этого вала.

Полученная суммарная мощность используется для привода компрессоров 6,7 и внешними потребителями.

В варианте, выделенном пунктирной линией и обозначенном *A*, отработавшая объединённая масса направляется в центробежный диффузор 8, в котором её оставшаяся кинетическая энергия преобразуется в потенциальную перед выбросом во внешнюю среду по каналу *a* через клапан 9 для повышения эффективности процесса присоединения, и/или повторного использования через канал *b* в качестве присоединяемых масс.

Сжимая отработавшую массу в компрессоре 7 за счёт части  $E_{us}$ , можно повысить эффективность процесса присоединения и стравливать её во внешнюю среду с повышенным давлением через клапан 9 и/или повторно использовать, подавая через клапан 10 по каналам *b* и *c*. При этом, за счёт разрежения, получаемого перед входом в компрессор 7, увеличивается разность потенциалов давлений при образовании импульсов, а в результате - скорость активной струи и кинетическая энергия объединённой реактивной массы (2.1) с понижением температуры и увеличением момента на валу 5.

Получать разрежение для увеличения разности потенциалов давлений можно без дополнительных затрат энергии. Для этого струи, истекающие из лопаток 25 турбины 4 после создания момента, через направляющий аппарат 11 закручиваются по спирали (вариант *B*). В объёме 12, в который происходит истечение, за счёт их оставшейся кинетической энергии создается вихревой эффект, образующий в центральной части разрежение, увеличивающее разность потенциалов давлений при расширении рабочего тела. Одновременно в периферийной части созданного вихря повышается давление объединённой массы, которая через направляющий аппарат 13 воздействует на лопатки 14 турбины 4, а затем (сразу или после сжатия в компрессоре 6) через клапан 16 выбрасывается и/или через клапан 17 направляется для повторного использования. В варианте *B* можно дополнительно увеличивать разность потенциалов давлений за счёт использования части  $E_{us}$ , соединив центр объёма 12 через направляющий аппарат 15 со входом компрессора 6.

При сжатии низкотемпературной отработавшей массы уменьшаются затраты энергии на работу сжатия, по сравнению со сжатием воздуха с атмосферной температурой, поэтому двигатели с открытым циклом, наряду с получением мощности, можно использовать в качестве эффективных генераторов высокопотенциального рабочего тела для более мощных бестопливных систем, создания низкотемпературных реактивных струй (в соплах 28) и тяги. Эффективность сжатия можно повысить также, используя биротативные компрессоры 7 и 30 с вращающимися в противоположные стороны рабочими колёсами без неподвижных направляющих аппаратов.

**Третий способ.** Процесс последовательного присоединения можно использовать для получения мощности, высокопотенциальной теплоты и «холода» также и вне атмосфер-

ных условий, преобразуя тепловую энергию внешней среды в замкнутом термодинамическом цикле [5].

Представим, что атмосферный бестопливный струйный двигатель помещён в изолированный от внешней среды объём, заполненный газом - воздухом или гелием. При работе двигателя, за счёт охлаждения отработавшей массы, в нём понизятся температура и давление. Параметры процесса присоединения изменятся настолько, что в какой-то момент  $E_{tm}$  станет недостаточно для создания расчётной мощности компрессора, сжимающего рабочее тело для образования активной струи. В каждом цикле будет уменьшаться степень сжатия и  $C_{aj}$ . Процесс присоединения постепенно «затухнет» и двигатель, «заморозившись», остановится.

Этого не произойдёт, если изолированный объём используется в качестве низкотемпературного теплоприёмника для истечения отработавшей газовой массы и соединён с теплообменным устройством. А выход этого устройства соединён с входами устройства присоединения и компрессора, образуя замкнутый контур. Под действием неуравновешенной силы давления газов, возникающей при создании разрежения за газовой массой импульсов активной струи, часть отработавшей газовой массы из этого объёма направляется в теплообменное устройство. В нём, получая тепло и понижая температуру внешней среды, она нагревается до расчётной температуры перед выполнением функций присоединяемых масс следующих периодов. Другая часть отработавшей газовой массы через теплообменное устройство (или минуя его) направляется в компрессор для сжатия и дальнейшего использования в качестве высокопотенциального рабочего тела.

***В результате - нагрев отработавшей газовой массы в теплообменном устройстве, позволяет осуществлять процесс последовательного присоединения в струйных двигателях с замкнутым циклом сколь угодно долго и независимо от давления внешней среды, которая при этом выполняет функции нагревателя - источника теплоты, преобразуемой в работу.***

Отличие бестопливных двигателей с замкнутым от двигателей с разомкнутым циклом заключается в организации теплообмена с внешней средой и возможности варьировать давление и температуру в теплоприёмнике. Причём эффективность этих двигателей в значительной степени зависит от разности температур между источником теплоты внешней среды и теплоприёмником перед нагревом отработавшей газовой массы, используемой в следующих периодах. Варьируя параметры процесса присоединения, а также давление и температуру в теплоприёмнике и перед повторным использованием отработавшей массы, можно управлять мощностью двигателя и расширять диапазон используемых источников теплоты внешней среды до отрицательных температур. На основе струйных двигателей с замкнутым циклом можно создавать ***воздухонезависимые бестопливные***

*энергетические системы*, способные работать за счёт низкопотенциальной теплоты в экстремальных условиях внешней среды.

**Четвёртый способ.** В двух предыдущих бестопливных способах преобразования низкопотенциальной энергии внешней среды рабочее тело для получения активной струи сжимали в многоступенчатом механическом компрессоре.

Рассмотрим варианты использования рабочего тела без механического сжатия – при его ускорении в результате нагрева за счёт теплоты различных источников энергии. Например, низкопотенциальным теплом внешней среды в замкнутом объёме пневмоаккумулятора. В этом случае необходимое давление в пневмоаккумуляторе может быть получено за счёт его заполнения отработавшей в предыдущих периодах низкотемпературной массой, а расчётная разность температур перед нагревом сменяющейся массой внешнего теплоносителя достигается за счёт многократного использования отработавшей массы в процессе присоединения. Нагревается она, по меньшей мере, в двух пневмоаккумуляторах, которые должны поочередно соединяться со струйным устройством после нагрева и отсоединяться для удаления остатков нагретого рабочего тела (при снижении давления ниже расчётного уровня) и очередного заполнения отработавшей массой. Причём в двигателях с открытым циклом при расширении удаляемых остатков можно выполнять полезную работу, например, привод устройств, ускоряющих нагнетание низкотемпературной массы в другой пневмоаккумулятор, а в двигателях с замкнутым циклом – выполнять работу и использовать в следующих периодах процесса присоединения в качестве присоединяемых масс. Для данного варианта нагрева необходимы большой объём пневмоаккумуляторов и площадь рабочей поверхности теплообменного устройства. Поэтому он может применяться в тех энергетических установках, в которых объём и масса не играют существенной роли и не может - в двигателях большинства транспортных средств.

Снизить массу *бескомпрессорных двигателей* можно, нагревая рабочее тело с использованием электроэнергии, генерируемой в предыдущих периодах за счёт части получаемой мощности.

При нагреве низкотемпературного рабочего тела в пневмоаккумуляторе высокопотенциальным теплом до температуры внешней среды: не нужно теплообменное устройство; уменьшается время нагрева; масса электрогенератора меньше, конструкция проще и технологичней, а производство и эксплуатация по сравнению с компрессором менее затратны; потери энергии при получении расчётного уровня давления меньше, чем при механическом сжатии рабочего тела. Такой вариант эффективнее варианта нагрева рабочего тела за счёт низкопотенциальной теплоты и позволяет получить удельную мощность, даже большую чем при механическом сжатии газов.

В другом варианте - при использовании электрореактивного устройства для образования активной струи - низкотемпературную массу в пневмоаккумуляторе нужно нагревать лишь до минимального уровня давления или использовать иной способ, обеспечивающий поступление рабочего тела в это устройство, для последующего ускорения за счёт электроэнергии, генерируемой в предыдущих периодах. Принципы ускорения рабочего тела в импульсном электрореактивном устройстве могут применяться различные (термоэлектрический, электромагнитный и т. д.), а использование этого устройства в процессе последовательного присоединения увеличивает скорость активной струи, коэффициент  $m$  и удельную мощность *бестопливного бескомпрессорного струйного двигателя*.

Если за счёт мощности, полученной в результате преобразований низкопотенциальной энергии внешней среды генерировать электроэнергию для ускорения активной струи и одновременно для внешнего использования, то получается универсальный источник электроэнергии с неограниченной сферой применения. Основное преимущество способа – простота конструкции, надёжность и высокая удельная мощность двигателей для его реализации - качества необходимые большинству двигателей транспортных средств, а особенно авиационным двигателям. Электрореактивному устройству для образования активной струи в процессе присоединения необходима лишь одна часть от полученной электроэнергии, а оставшаяся (численно равную коэффициенту  $m$ ), можно использовать, например, в *электрореактивном движителе* этого двигателя для создания реактивной тяги, с возможностью получения гиперзвуковой скорости истечения реактивной массы, которая будет ускоряться за счёт электроэнергии, полученной также в результате бестопливных и бескомпрессорных преобразований низкопотенциальной энергии внешней среды. А при истечении реактивной струи из импульсного электрореактивного движителя в атмосфере её можно использовать в качестве активной для увеличения тяги этого движителя без дополнительных затрат электроэнергии.

В заключение, принципиально важно отметить, что не вся теплота внешних источников преобразуется в работу, часть её (согласно второму началу термодинамики) в разной степени, но во всех способах рассеивается во внешнюю среду в процессах преобразования энергии. Кроме того, важно подчеркнуть - реактивная тяга и кинетическая энергия объединённой массы, получаемые в результате процесса последовательного присоединения, больше тяги и кинетической энергии активной струи. На этом утверждении, подтвержденном экспериментально [2,3] и современными методами численного моделирования, основаны предлагаемые бестопливные способы преобразования энергии, которые отличаются лишь организацией теплообмена с окружающей средой, различными вариантами подготовки рабочего тела для образования активной струи и её ускорения.

*А принцип увеличения кинетической энергии одинаков во всех способах: прирост происходит при восстановлении газовыми массами низкопотенциального рабочего тела равновесного состояния, нарушаемого газовой массой импульсов активной струи в эжекторном насадке.* Причём присоединяемые массы могут ускоряться практически без потерь на трение, а вследствие их ускорения - увеличивается скорость активной струи. Величина прироста кинетической энергии объединённой массы зависит от соотношений основных параметров процесса последовательного присоединения, а также соотношения конструктивных параметров и пропорций эжекторного устройства. Только в узком диапазоне их оптимальных значений отсутствует смещение и трение газовых масс в процессе присоединения и возможен значительный прирост кинетической энергии.

Таким образом, использование процесса последовательного присоединения дополнительных масс в энергетических системах позволяет без ущерба для экологии преобразовывать неисчерпаемую, даровую природную энергию в любом месте и независимо от условий внешней среды в необходимый вид энергии, доступный для потребления непосредственно в местах выработки. При использовании источников теплоты, можно управлять их агрегатным состоянием, а при масштабном применении этих систем - локально изменять климатические условия.

Бестопливные струйные двигатели могут иметь широкий диапазон мощностей и сферы применения. В зависимости от используемых циклов и назначения они способны работать в любых условиях внешней среды: в атмосфере, космосе, под водой. Их производство проще, эффективнее аналогичных традиционных и возможно на большинстве машиностроительных предприятий.

Б. М. Кондрашов

#### Литература:

1. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. М. Наука, 1969.
2. Открытие 314 СССР Явление аномально высокого прироста тяги в газовом эжекционном процессе с пульсирующей активной струей / О. И. Кудрин, А. В. Квасников, В. Н. Челомей// Открытия и изобретения. 1951.
3. Кудрин О. И. Пульсирующее реактивное сопло с присоединением дополнительной массы. Труды МАИ. 1958. Выпуск 97.
4. Пат. 2188960 RU F 02 C 3/32, 5/12 Способ преобразования энергии в струйной установке (варианты), струйно-адаптивном двигателе и газогенераторе / Б. М. Кондрашов // Бюл. Изобретений. 2002. № 25.
5. Международная заявка PCT/RU2002/000338 F 02 C 3/32 Способ преобразования энергии в струйных двигателях / Б.М.Кондрашов//ВОИС PCT WO2004/008180A1

### Список принятых обозначений:

- $m$  - коэффициент присоединения дополнительных масс.
- $C_{aj}$  - скорость активной струи.
- $TM$  - объединённая реактивная масса.
- $w_{tm}$  - коэффициент скорости объединённой реактивной массы.
- $C_{tm}$  - скорость объединённой реактивной массы.
- $C_{pj}$  - скорость пульсирующей реактивной струи.
- $E_{tm}$  - кинетическая энергия объединённой реактивной массы.
- $E_{aj}$  - кинетическая энергия активной струи.
- $E_{exp}$  - затраты и потери энергии в процессах преобразования.
- $E_{ace}$  - энергия для сжатия воздуха, образующего активную струю
- $E_{ce}$  - потери энергии при сжатии воздуха в компрессоре.
- $E_{te}$  - потери энергии при преобразовании  $E_{tm}$  в турбине.
- $E_{oe}$  - прочие потери энергии.
- $E_{us}$  - энергия, используемая потребителями.

#### в т. ч. в схеме бестопливного струйного двигателя:

**1** - сужающееся реактивное сопло; **2** - эжекторный насадок - устройство присоединения дополнительных масс эжекторного соплового аппарата; **3** - первая турбина силового вала; **4** - вторая турбина силового вала; **5** - силовой вал; **6** - центробежный компрессор силового вала; **7** - осевой компрессор силового вала; **8** - центробежный диффузор; **9** - выпускной пневмоклапан; **10** - пневмоклапан; **11** - направляющий аппарат; **12** - объём вихревой камеры – низкотемпературного теплоприёмника; **13** - направляющий аппарат на входе второй ступени турбины **4**; **14** - лопатки второй ступени турбины **4**; **15** - направляющий аппарат на входе компрессора **6**; **16** - выпускной пневмоклапан; **17** - пневмоклапан; **18** - пневмоаккумулятор рабочего тела; **19** - обратный клапан для подачи рабочего тела, сжатого внешними устройствами; **20** - обратный клапан для подачи рабочего тела, сжатого в компрессоре двигателя; **21** - электромагнитный клапан для периодической подачи рабочего тела; **22** - турбинные лопатки - направляющий аппарат на входе в турбину **3**; **23** - турбинные лопатки турбины **3**; **24** - направляющий аппарат на выходе турбины **3**; **25** - лопатки первой ступени турбины **4**; **26, 27** - клапаны впускные; **28** - реактивное сопло; **29** – турбина, не закреплённая на силовом валу; **30** - компрессор, кинематически не связанный с силовым валом.

Кондрашов Борис Михайлович,

Тел/факс (095) 1403306, E-mail [kbm@mail.ru](mailto:kbm@mail.ru)