**Принципиально новые - струйные энергетические технологии**

Б.М.Кондрашов

С каждым годом сокращаются запасы углеводородного сырья, растёт энергопотребление, ухудшается экология, а известные технологии использования возобновляемых и экологически чистых источников энергии, в т. ч. атмосферы, не эффективны.

Неравномерный нагрев газов, сжатых под действием гравитации, вызывает изменения давления в атмосфере, нарушающие её равновесное состояние, при восстановлении которого потенциальная и тепловая энергия воздуха преобразуются в кинетическую энергию воздушных потоков, доступную для использования. Например, в ветродвигателях, выполняющих механическую работу без потребления кислорода и выработки продуктов сгорания. Недостатки этих двигателей - 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 воздействий, например, в эжекторных устройствах. При воздействии пульсирующей активной струёй в эжекторном насадке такого устройства периодически создаётся разрежение, при котором за счёт неуравновешенной силы атмосферного давления, вслед за каждым импульсом активной струи ускоряется воздух. Присоединение происходит за счёт последовательного втекания (при котором практически отсутствует смешение разделённых газовых масс) только при оптимальном значении и соотношениях основных параметров процесса: частоты, формы, длительности и скорости газовой массы импульсов активной струи в насадке, а также конструктивных параметров эжекторного устройства.

О. И. Кудриным, одним из авторов открытия "Явление аномально высокого прироста тяги в газовом эжекционном процессе с пульсирующей активной струей", зарегистрированного в 1951г., проведены экспериментальные исследования, показавшие эффективность этого процесса. К сожалению, открытие не получило широкого применения. Вероятно потому, что изначально исследования были направлены на получение реактивной тяги (дополнительной к тяге винтовых движителей поршневых авиационных двигателей). Следует отметить, что если процесс присоединения дополнительных масс 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 при этом иллюзию низкой эффективности и самого процесса присоединения. Это, наряду с недостатком информации об экспериментальных исследованиях, стало препятствием для его внедрения 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.

Рассмотрим четыре основных способа преобразования низкопотенциальной энергии внешней среды с использованием процесса последовательно присоединения.

Первый способ. Низкопотенциальная энергия атмосферы преобразуется в струйном двигателе с эжекторным сопловым аппаратом и рабочим телом, получаемым при сгорании топлива в камере периодического сгорания. В данном случае процесс присоединения состоит из повторяющихся с заданной периодичностью двух последовательных термодинамических циклов. В каждом цикле имеется свой источник энергии и рабочее тело. В первом цикле (при сгорании топлива в постоянном объёме камеры) 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 валу. За счёт полученного в насадке разрежения, источником энергии во втором цикле становится потенциальная и тепловая энергия сжатого силой гравитации атмосферного воздуха, который под действием разности давлений втекает в насадок, расширяясь, охлаждаясь и ускоряясь как в природном атмосферном процессе, но в заданном направлении, образуя при истечении из эжекторного насадка вторую часть реактивной массы с расчётными термодинамическими параметрами, также воздействующую на лопатки. При этом за счёт ускорения присоединяемого воздуха в насадке понижается давление, увеличивая разность потенциалов давлений перед истечением в насадок 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 высокопотенциального источника в следующем периоде.

Таким образом, 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 скорости активной струи. А в результате объединённая масса воздействует на лопатки турбины с возросшей кинетической энергией (по сравнению с кинетической энергией активной струи), увеличивая момент на её валу без дополнительных затрат топлива. Эксперименты показали, что кинетическая энергия объединённой реактивной массы значительно больше, чем кинетическая энергия активной струи. При эжектировании атмосферного воздуха пульсирующей струёй продуктов сгорания О.И. Кудриным был получен прирост реактивной силы до 140%, т.е. тяга увеличилась в 2.4 раза. Кинетическая энергия объединённой реактивной массы при этом может быть более чем в 10 раз больше кинетической энергии активной струи, так как в зависимости от параметров процесса присоединения может увеличиваться не только реактивная масса, но и её скорость. Причём полученная кинетическая энергия не рассеивается в атмосфере, как при создании реактивной тяги движителя, а практически, полностью используется для воздействия на лопатки турбины. 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, создающей момент на силовом валу.

Сегодня возможности повышения эффективности традиционных ГТД (со сгоранием топлива при постоянном давлении) практически исчерпаны, а комбинированные двигатели для реализации данного способа могут быть более чем на порядок экономичнее традиционных (с соответствующим уменьшением выброса в атмосферу продуктов сгорания).

Второй способ. Проведенные эксперименты показали, что оптимальное значение скорости активной струи продуктов сгорания, необходимое для увеличения кинетической энергии объединённой массы в процессе присоединения, находится в диапазоне скоростей, которые можно получать, не используя для сжатого рабочего тела дополнительный подогрев (за счёт сжигания топлива) перед его расширением в реактивном сопле. Следовательно, продукты сгорания можно заменить сжатым воздухом, а камеру сгорания пневмоаккумулятором. Кинетическая энергия объединённой массы и в этом случае будет больше кинетической энергии активной струи более чем в 2.4 раза и, соответственно закону сохранения энергии, больше потенциальной энергии, необходимой для получения рабочего тела - сжатого воздуха, образующего эту пульсирующую активную струю при расширении. Совершенно очевидно, что такой баланс энергии позволяет сжимать атмосферный воздух в компрессоре за счёт мощности, полученной в результате процессов преобразований энергии атмосферы в предыдущих периодах, т. е. использовать обратный цикл Карно (цикл воздушного теплового насоса - холодильной машины), осуществляя привод компрессора за счёт преобразованной энергии атмосферы.

При этом суммарные технологические энергозатраты и потери в процессах преобразований в турбине и сжатия воздуха в компрессоре, а также прочие потери энергии не превышают 25% от получаемой кинетической энергии объединённой реактивной массы. В основном величина этих потерь зависит от КПД турбины и может составлять 15-20%, а удельный вес потерь в компрессоре и прочих потерь незначителен.

Для компенсации технологических энергозатрат и потерь достаточно увеличить кинетическую энергию в результате процесса присоединения дополнительных масс на 44%, т.е. для самоподдержания этого процесса кинетическая энергия объединённой массы должна быть больше кинетической энергии активной струи лишь в 1.44 раза. Полученная сверх этого энергия может быть использована внешними потребителями. Если экстраполировать увеличение кинетической энергии, полученное экспериментально в процессе последовательного присоединения с активной струёй из продуктов сгорания, на аналогичный процесс с использованием сжатого воздуха для образования этой струи, то энергия для использования внешними потребителями составит более 34% от получаемой кинетической энергии объединённой реактивной массы. Согласно второму началу термодинамики не вся энергия одного неисчерпаемого источника преобразуется в работу - часть превращается в теплоту. 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. Температура высокопотенциального рабочего тела, а также низкопотенциального - воздуха при расширении и выполнении работы понижается. Управляя количеством атмосферного и холодного отработавшего воздуха, возвращаемого в эжекторные насадки в качестве присоединяемых масс, можно получать воздух с регулируемой температурой для использования в системах кондиционирования. Если отработавший в одном эжекторном сопловом аппарате воздух направлять в качестве присоединяемых масс в следующий и т.д., то его можно охлаждать до сверхнизких температур, используемых в криогенной технике.

Таким образом, за счёт энергии атмосферы осуществляется привод воздушного теплового насоса, в результате работы которого создаются условия для преобразования в эжекторном насадке низкопотенциальной энергии внешней газовой массы, находящейся вне насадка в равновесном состоянии, в доступную для использования кинетическую энергию, высокопотенциальную теплоту и "холод" необходимой температуры. Данный бестопливный способ преобразования энергии атмосферы отличается от способа её преобразования в традиционных ветродвигателях управляемостью процесса создания воздушной струи, воздействующей на лопасти (лопатки), и высокой плотностью энергии на единицу рабочей площади. Устройства для осуществления этого способа - атмосферные бестопливные струйные двигатели. Их эффективность, по сравнению с известными ветровыми, солнечными и геотермальными преобразователями даровой и экологически чистой энергии, 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 таких бестопливных двигателей.

Третий способ. Процесс последовательного присоединения можно использовать для получения мощности, высокопотенциальной теплоты и "холода" также и вне атмосферных условий, преобразуя низкопотенциальную тепловую энергию внешней среды в замкнутом термодинамическом цикле. 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 кинетической энергии получаемой объединённой массы станет недостаточно для создания расчётной мощности компрессора, сжимающего рабочее тело для образования активной струи. В каждом цикле будет уменьшаться степень сжатия и, соответственно, скорость активной струи. 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 температуры, необходимой для выполнения функции присоединяемых масс следующих периодов. Другая часть газовой массы через теплообменное устройство (или минуя его) направляется в компрессор для сжатия и дальнейшего использования в качестве высокопотенциального рабочего тела.

В результате нагрева отработавшей газовой массы в теплообменном устройстве процесс последовательного присоединения в струйных двигателях с замкнутым циклом продолжается 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 температуры 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 различных экстремальных условиях.

Четвёртый способ. В двух предыдущих бестопливных способах преобразования низкопотенциальной энергии внешней среды рабочее тело для получения активной струи сжимали в 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 её нагревом теплотой внешней среды достигается за счёт многократного использования отработавшей массы в процессе присоединения (в двигателях с замкнутым циклом - без промежуточного подогрева в теплообменнике). Нагревать отработавшую массу нужно, 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 низкотемпературной 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 бестопливных бескомпрессорных двигателей можно, нагревая рабочее тело с использованием электроэнергии, генерируемой в предыдущих периодах за счёт части получаемой мощности, так как при нагреве низкотемпературного рабочего тела в пневмоаккумуляторе высокопотенциальной теплотой не нужно применять теплообменное устройство. При этом уменьшается время нагрева. Потери энергии при получении расчётного уровня давления меньше, чем при механическом сжатии рабочего тела. Такой вариант эффективнее варианта нагрева рабочего 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. Для ускорения рабочего тела в импульсном электрореактивном устройстве можно применять различные методы (термоэлектрический, электромагнитный и т. д.). При использовании этого устройства в процессе последовательного присоединения увеличивается скорость активной струи и удельная 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 не ограниченной сферой применения. Основное преимущество такого способа - простота конструкции, надёжность и высокая удельная мощность двигателей для его реализации - качества необходимые большинству двигателей транспортных средств, а особенно авиационным двигателям.

В заключение, необходимо 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 внешней среде 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 и современными методами численного моделирования, основаны рассмотренные бестопливные способы преобразования низкопотенциальной энергии внешней среды, которые отличаются лишь организацией теплообмена с этой средой, различными вариантами подготовки рабочего тела для образования активной струи и её ускорения. 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. Величина прироста кинетической энергии зависит от соотношений основных параметров процесса последовательного присоединения, а также соотношения конструктивных параметров и пропорций эжекторного устройства. 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.

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.