

УДК 621.438

## Способы преобразования низкопотенциальной энергии

Б. М. Кондрашов  
Москва, Россия

*Рассмотрены способы преобразования низкопотенциальной энергии окружающей среды с использованием процесса последовательного присоединения дополнительных масс для получения мощности в комбинированных, а также бестопливных (гравитационных) струйных двигателях.*

С каждым годом обостряются проблемы, связанные с удовлетворением энергетических потребностей общества. Сокращение запасов углеводородного сырья и ухудшающаяся экология при тенденции роста энергопотребления заставляют задуматься о совершенствовании технологий преобразования энергии альтернативных источников.

Гравитация, под действием которой сжаты атмосферные газы, аккумулирующие лучистую энергию солнца, — один из таких источников. Неравномерный нагрев газов вызывает изменение давления в атмосфере и нарушает ее равновесное состояние. При его восстановлении потенциальная и тепловая энергия воздушных масс преобразуется в кинетическую. Тем самым природа демонстрирует способ преобразования энергии атмосферы в вид, доступный для использования. Первой машиной, использующей ее энергию, стал парус. У паруса и ветродвигателей общий принцип работы — создание момента напором воздушной массы. Их преимущества перед тепловыми двигателями — выполнение механической работы без потребления кислорода и выработки продуктов сгорания, а недостатки — низкая плотность энергии на единицу рабочей площади и неконтролируемость изменения скорости ветра.

С помощью струйных эжекторных устройств осуществляется управляемый процесс создания необходимой разности потенциалов давлений для нарушения равновесного состояния между их открытой термодинамической системой и атмосферой за счет воздействия активной струей. При восстановлении равновесия атмосфера совершает механическую работу, объем которой зависит от величины, способа воздействия и параметров эжекторных устройств. Например, для усиления тяги струйных двигателей используются два процесса присоединения дополнительных воздушных масс к активной струе, в которых способы воздействия различные, поэтому отношение присоединяемой воздушной массы к массе активной струи — коэффициент присое-

динения  $m$  отличается в несколько раз. В процессе параллельного присоединения воздушных масс стационарной реактивной струей при установке эжекторного насадка на струйный движитель увеличивается его тяга за счет "неуравновешенной силы внешнего давления на входной раструб (заборник) эжектора, появление которой обусловлено понижением давления на стенках раструба при втекании в него эжектируемого воздуха" [1] без дополнительных затрат энергии топлива.

КПД и коэффициент  $m$  данного процесса низки из-за турбулентного смешения и трения потоков, при этом уменьшается скорость активной струи  $C_{AC}$ . Работа, получаемая за счет использования энергии атмосферы, — прирост тяги, незначительная. Второй процесс, т. е. последовательное присоединение по конструктивному принципу эжекторного устройства, в котором он происходит, и внешнему результирующему действию, может показаться аналогом эжекции, но он принципиально отличен от эжекции и имеет иную физическую основу, которая необязательно связана с трением и смешением потоков [2]. В этом процессе вслед за каждым импульсом газовой массы пульсирующей активной струи продуктов сгорания в эжекторном насадке составного реактивного сопла создается разрежение и возникает неуравновешенная сила атмосферного давления, за счет которой между импульсами активной струи присоединяется воздух. Его ускорение может происходить практически без смешения объединяемых масс, поэтому прирост реактивной массы резко увеличивается. Уже в 50-е годы О. И. Кудриным — автором открытия "Явление аномально высокого прироста тяги в газовом эжекционном процессе с пульсирующей активной струей" — была разработана теория процесса и проведены экспериментальные исследования, подтвердившие его высокую эффективность [3]. Этот процесс не применялся для преобразования и использования энергии атмосферы в энергетических и транспортных системах, так как предназначался

для увеличения тяги реактивных двигателей. Для выработки мощности на валу турбины он был применен до 2001 г. лишь в одном отечественном изобретении [4]. Автором статьи способы преобразования энергии с использованием данного процесса в тепловых струйных двигателях изложены в патенте на изобретение [5], а в бестопливных струйных двигателях — в международной заявке по системе РСТ. В связи с тем, что их описание и иллюстрации занимают большой объем, в статье излагается только сущность основных вариантов этих способов.

При описании введем обозначения некоторых показателей и их взаимосвязей, характеризующие описываемые процессы преобразования энергии.

В результате процесса присоединения получается объединенная реактивная масса (ОМ)

$$OM = m + l, \quad (1)$$

где  $m$  — присоединенная масса, численно равная коэффициенту  $m$ ;  $l$  — масса активной струи.

Эффективность процесса присоединения наряду с коэффициентом присоединения  $m$  характеризует коэффициент скорости объединенной реактивной массы

$$\omega_{OM} = C_{OM} / C_{PC}, \quad (2)$$

где  $C_{OM}$  — скорость объединенной реактивной массы;

$C_{PC}$  — скорость пульсирующей реактивной струи, образованной рабочим телом с такими же параметрами, перед критическим сечением сужающегося реактивного сопла (как в процессе присоединения), но расширяющегося не в эжекторном насадке, а в таком же по диаметру, только коротком, насадке комбинированного сопла, в котором не образуется разрежение вслед за газовой массой импульсов реактивной струи рабочего тела.

$C_{OM} = C_{AC}$ , которая в зависимости от величины потерь на трение, а также от изменения давления на входе в эжекторный насадок может быть  $\leq$  или  $\geq C_{PC}$ . В связи с этим  $C_{OM}$  может быть  $\leq$  или  $\geq C_{PC}$ , а коэффициент (2)  $\omega_{OM} \leq 1$  или  $\geq 1$ .

Большие значения коэффициентов  $m$  и  $\omega_{OM}$  можно получать лишь в узком диапазоне величин и соотношений основных параметров процесса: расчетной частоты, формы, длительности и скорости импульсов активной струи, скорости набегающего потока, а также соотношения конструктивных параметров и пропорций струйного устройства и его эжекторного насадка. При оптимальном значении этих величин процесс присоединения происходит за счет последователь-

ного втекания дополнительных масс вслед за газовой массой импульсов активной струи. Поэтому практически отсутствуют их выталкивание из эжекторного насадка газовой массой импульса следующего цикла и турбулентное смешение разделенных газовых масс, при этом  $C_{AC} \geq C_{PC}$ , коэффициент  $\omega_{OM} \geq 1$ , а коэффициент  $m \geq 10$ .

### Способы преобразования низкопотенциальной энергии

Предлагаются три варианта способа преобразования низкопотенциальной энергии с использованием процесса последовательного присоединения.

*Первый вариант* заключается в преобразовании энергии атмосферы в струйном двигателе с эжекторным сопловым аппаратом и рабочим телом, получаемым при сгорании топливовоздушной смеси. В процессе сгорания продуктов в каждом цикле увеличивается потенциальная энергия продуктов сгорания перед их расширением в сопловом аппарате камеры. При истечении из сужающихся реактивных сопел за каждым импульсом газовой массы образуется разрежение в эжекторных насадках соплового аппарата, создающее разность потенциалов, необходимую для втекания и ускорения вслед за газовой массой импульса дополнительной массы атмосферного воздуха. В результате дискретного процесса из соплового аппарата истекают струи ОМ (1), состоящей из продуктов сгорания и массы воздуха, которая увеличивает реактивную массу, воздействующую на лопатки ротора. При этом происходит увеличение момента на валу ротора струйного двигателя без дополнительных затрат энергии топлива. Как следствие, в данном способе при получении равной мощности, топлива затрачивается меньше, чем в газотурбинных двигателях традиционных схем, как минимум, в количество раз, пропорциональное коэффициенту  $m$ , скорректированному на величину коэффициента  $\omega_{OM}$ .

Данный процесс присоединения состоит из двух последовательных циклов. В каждом цикле используется энергия своего источника, которая преобразуется в кинетическую энергию реактивной массы. В первом цикле ( $V_{const}$ ) энергия внесенного в двигатель топлива в итоге преобразуется в работу расширения рабочего тела — первой составной части реактивной массы, создающей момент на валу и одновременно разрежение в эжекторном насадке, необходимое для начала второго цикла.

Основной источник энергии во втором цикле — потенциальная энергия атмосферных газов. Под

действием атмосферного давления в насадке ускоряется присоединяемая воздушная масса — вторая составная часть реактивной массы. За счет ее ускорения понижается давление на входе в насадок, увеличивая тем самым разность потенциалов давлений при расширении газовой массы следующего импульса первого цикла и, соответственно, увеличивая его скорость, от которой зависят степень разрежения в насадке и скорость воздушных масс, присоединяемых в следующем втором цикле.

Таким образом, во взаимозависящих последовательных термодинамических циклах параметры процесса преобразования энергии источника, используемого в одном цикле, влияют на эффективность преобразования энергии другого источника в следующем цикле.

В связи с тем, что после начала истечения продуктов сгорания (из объема камеры периодического сгорания, рассчитанной на массу одного импульса) уменьшается их давление, то, соответственно, уменьшается давление перед критическим сечением сопла, степень расширения "хвостовой" части газовой массы импульса в первом цикле и ее скорость. Как следствие, во втором цикле происходят прогрессирующее снижение степени разрежения в насадке и уменьшение скорости присоединяемой массы. Масса "головной" части импульса продуктов сгорания следующего цикла выталкивает "хвостовую" часть присоединяемой воздушной массы предыдущего цикла, имеющую меньшую скорость. В результате происходят частичное смешение разделенных газовых масс и уменьшение  $C_{AC}$ . Однако потери  $C_{AC}$  можно минимизировать за счет оптимального соотношения объема камеры сгорания и времени истечения продуктов сгорания, а за счет увеличения разности потенциалов давлений на входе в насадок, увеличивающей  $C_{AC}$ , их можно компенсировать. В связи с этим коэффициент  $\omega_{OM}$  в данном процессе может достигать единицы. Причем присоединенная масса в проведенных экспериментах [3] в десятки раз превышает массу активной струи, т. е. коэффициент  $m \geq 10$ .

Большая часть мощности в данном способе получается не за счет использования тепловой энергии от сжигания топлива, а за счет потенциальной энергии сжатых под действием гравитации атмосферных газов. Поэтому двигатель для его реализации можно отнести к комбинированным (атмосферным двигателям), а эффективность оценивать суммарным КПД, равным КПД цикла Карно, увеличенным на произведение коэффициентов  $m$  и  $\omega_{OM}$ .

*Второй вариант.* Эксперименты показали, что оптимальная  $C_{AC}$  находится в диапазоне скоро-

стей, которые можно получать при расширении рабочего тела после его механического сжатия без подогрева в камере сгорания. Например, можно сжимать в компрессоре атмосферный воздух до расчетной степени, обеспечивающей при расширении необходимые скорость и разрежение вслед за воздушной массой импульсов активной струи в эжекторной насадке. При этом отсутствие процессов наполнения, сгорания, продувки увеличивает диапазон возможных расчетных частот импульсов и их длительности и, соответственно, диапазон параметров для оптимизации процесса присоединения, а также для управления получаемой мощностью. Давление сжатого воздуха перед критическим сечением реактивного сопла при истечении из большого объема, например пневмоаккумулятора, не уменьшается, поэтому "хвостовая" часть истекающей газовой массы импульса активной струи, снижающая эффективность процесса, отсутствует. Тем самым практически исключаются смешение последовательно движущихся разделенных газовых масс и потери на трение. В связи с этим коэффициент  $\omega_{OM} \geq 1$ , а так как  $C_{AC} = C_{OM}$ , то располагаемая кинетическая энергия получаемой объединенной массы

$$E_{КОМ} = \{(m + 1) C^2_{OM}\} / 2$$

больше располагаемой кинетической энергии активной струи —  $E_{КАС} = 1 C^2_{AC} / 2$  в количестве раз, пропорциональное коэффициенту  $m$ . Причем его величина (больше, чем в процессе присоединения с использованием продуктов сгорания в качестве рабочего тела) в зависимости от расчетных параметров может быть от 10 до 50, т. е.  $E_{КОМ}$  больше  $E_{КАС}$  в десятки раз. Поэтому сжимать атмосферный воздух (рабочее тело) можно за счет мощности, полученной после процесса присоединения в результате преобразования  $E_{КОМ}$ , тем самым осуществляя преобразование энергии атмосферы в механическую работу за счет энергии, получаемой в результате ее преобразования в процессе последовательного присоединения. Энергозатраты для преобразования при этом составляют:

$$E_{ЗАТ} = E_{КАС} + E_{ПК} + E_{ПТ} + E_{Ппр},$$

где  $(E_{КАС} + E_{ПК})$  — энергозатраты на механическое сжатие воздуха для образования активной струи;

$E_{ПК}$  — потери энергии при сжатии в компрессоре;

$E_{ПТ}$  — потери энергии в турбине при преобразовании  $E_{КОМ}$  в механическую работу;

$E_{Ппр}$  — прочие потери.

Технологические потери ( $E_{ПК} + E_{ПТ} + E_{Ппр}$ ) составляют 20—25 % от  $E_{КОМ}$ , в том числе:  $E_{ПК} \approx 20$  % от  $E_{КАС}$ ;  $E_{ПТ} \approx 15$  % от  $E_{КОМ}$ ;  $E_{Ппр} \approx 2$  % от  $E_{КАС}$ . В основном они зависят от потерь в турбине, по сравнению с которыми потери в компрессоре и прочие (например, охлаждение после сжатия, при расширении в соплах), при больших величинах  $m$  незначительны и составляют, соответственно, 1 и 0,1 % от  $E_{КОМ}$ .

С учетом всех энергозатрат энергия для использования потребителями будет

$$E_{ПОТ} = E_{КОМ} - E_{ЗАТ}.$$

Если принять  $E_{КОМ} = 100$  %, то при средних значениях коэффициентов  $m = 20$  и  $\omega_{ОМ} = 1$   $E_{ПОТ} = 100$  % - (5 % + 1 % + 15 % + 0,1 %) = 78,9 % от  $E_{КОМ}$ . Величина  $E_{ЗАТ}$ , необходимая для организации процесса преобразования энергии атмосферы в механическую работу, в этом случае составит 21,1 % от  $E_{КОМ}$ . Причем для выработки минимальной мощности, необходимой для самоподдержания этого процесса (т. е. минимальной мощности, необходимой для сжатия воздуха с учетом технологических потерь), коэффициент  $m$  может быть  $\leq 1$ . Например, при  $m = 1$ , и прочих равных условиях,  $E_{ПОТ} = 100$  % - (50 % + 1 % + 15 % + 0,1 %) = 33,9 % от  $E_{КОМ}$ . Это означает, что даже при такой низкой эффективности процесса присоединения можно осуществлять процесс преобразования энергии атмосферы за счет энергии, полученной в результате ее преобразования, и использовать при этом для потребителей оставшиеся 33,9 %  $E_{КОМ}$ .

Если запуск процесса присоединения осуществлять с помощью импульсов активной струи, образованной из воздуха, сжатого за счет ранее полученной мощности и накопленного в пневмоаккумуляторе, то преобразование энергии атмосферы будет полностью осуществляться без использования тепловой энергии от сжигания топлива.

Таким образом, энергию атмосферных газов, находящихся в равновесном состоянии, можно без использования высокопотенциальной тепловой энергии преобразовывать в кинетическую энергию реактивной массы для получения удельной мощности струйного двигателя, сопоставимой с удельной мощностью тепловых двигателей.

Оптимальное соотношение параметров в данном процессе может быть достигнуто при использовании в качестве рабочего тела сжатого воздуха, охлажденного перед расширением до температуры окружающей среды. При этом в зависимости от степени сжатия  $C_{АС}$  и  $C_{ОМ}$  будут находиться в диапазоне коэффициента скорости

$\lambda \leq 2,45$ , который вполне достаточен для получения расчетных окружных скоростей, обеспечивающих высокий КПД турбомашин. Получаемую при сжатии воздуха высокопотенциальную теплоту с температурой, зависящей от степени сжатия, можно утилизировать. В зависимости от  $C_{АС}$  и степени ускорения присоединяемых масс температура ОМ понижается, и после выполнения полезной работы становится на несколько десятков градусов ниже атмосферной. Если отработавшую ОМ частично возвращать в эжекторные насадки этого же соплового аппарата в качестве присоединяемых масс следующих циклов, то, управляя количеством возвращаемой ОМ и используемого в процессе присоединения атмосферного воздуха, струйный двигатель можно использовать для "выработки холода" необходимой температуры. Для получения более широкого диапазона низких температур отработавшую в одном эжекторном сопловом аппарате ОМ можно направлять в качестве присоединяемых масс в следующий и т. д.

Остающуюся после создания момента на валу кинетическую энергию ОМ можно утилизировать и использовать для сжатия отработавшей в предыдущих циклах ОМ, которую затем направлять в качестве присоединяемых масс следующих циклов в насадки соплового аппарата и/или в выхлопной канал, связанный с внешней средой через обратный клапан. В процессе этого сжатия одновременно создается разрежение в области истечения ОМ из насадков, увеличивающее разность потенциалов давлений при образовании ОМ в следующих циклах. За счет этого увеличения повышаются коэффициент присоединения  $m$ ,  $C_{ОМ}$  и дополнительно понижается температура отработавшей ОМ. А из выхлопного канала сжатую ОМ можно стравливать через обратный клапан во внешнюю среду с повышенным давлением, например при работе под водой, или расширять в реактивных соплах для создания низкотемпературных реактивных струй, используемых, например, в криогенной технике или при получении реактивной тяги движителя.

Данный процесс также состоит из двух взаимозависящих циклов: обратного цикла Карно (цикла воздушного теплового насоса — холодильной машины) [6] и второго цикла — преобразования энергии атмосферы. За счет части механической работы, полученной во втором цикле в результате преобразований энергии атмосферы, сжимают атмосферный воздух в обратном цикле Карно, а за счет расширения сжатого воздуха в обратном цикле создают условия для начала второго цикла. В этих двигателях, как и в тепловых, используются открытые (ра-

зомкнутые) циклы, т. е. отработавшая ОМ с пониженной температурой в итоге выбрасывается в атмосферу и заменяется воздухом с атмосферной температурой. Однако в отличие от тепловых двигателей в них давление рабочего тела для выполнения работы расширения повышается за счет механического сжатия без подвода высокопотенциальной теплоты. Источником энергии, которая до процесса присоединения аккумулируется атмосферой, затем в процессе присоединения преобразуется в кинетическую энергию газовой массы, а в итоге — в энергию, доступную для использования, является гравитация, наряду с низкопотенциальной тепловой энергией, также аккумулированной атмосферными газами.

Поэтому их можно отнести к атмосферным бестопливным (гравитационным) струйным двигателям (АБТСД). Имея простую конструктивную схему, состоящую из компрессора, эжекторного соплового аппарата и турбины, они могут применяться в различных стационарных и мобильных системах, например для создания мощности в энергетических установках и/или привода двигателей транспортных средств. Преимущества АБТСД перед другими преобразователями даровой энергии (ветровыми, солнечными, геотермальными и т. д.) — большая удельная мощность и независимость от влияния географических, временных, погодных и других внешних условий. Наряду с получением мощности АБТСД можно использовать для получения высокопотенциальной теплоты, а также "холода" в широком диапазоне низких и сверхнизких температур. Технология производства этих двигателей проще технологии газотурбинных двигателей традиционных схем, так как не требует применения жаростойких материалов.

*Третий вариант.* Процесс последовательного присоединения используется для создания мощности в струйных двигателях вне атмосферных условий. Он осуществляется в замкнутом термодинамическом цикле с внешним подводом теплоты без замены рабочего тела и присоединяемых масс. Представим, что АБТСД помещен в изолированный от внешней среды объем, который заполнен газом, например гелием. При работе двигателя за счет охлаждения отработавшей ОМ в нем понизятся температура и давление до величин, при которых параметры процесса присоединения изменятся настолько, что  $E_{\text{КОМ}}$  будет недостаточно для создания расчетной мощности компрессора, сжимающего рабочее тело перед расширением.  $S_{\text{АС}}$  постепенно уменьшится, процесс присоединения затухнет. В итоге двигатель, "заморозившись", остановится. Этого не произойдет, если объем, в который истекает

отработавшая ОМ, соединить с теплообменным устройством, а другой конец этого устройства будет сообщаться с входами в эжекторные насадки соплового аппарата и входом компрессора, образуя замкнутый контур. При этом часть отработавшей в предыдущих циклах ОМ под действием неуравновешенной силы давления газов, возникающей при создании разрежения за движущейся в насадке газовой массой импульсов активных струй, направится в теплообменное устройство. В нем, получая тепло и понижая температуру внешней среды, она нагреется до расчетной температуры перед выполнением функций присоединяемых масс следующих циклов. Параллельно под действием разрежения, создаваемого в компрессоре за счет центробежных сил, часть отработавшей ОМ через теплообменное устройство (или минуя его) направляется в компрессор для сжатия и использования в следующих циклах в качестве рабочего тела.

Таким образом, используя низкопотенциальное тепло внешней среды для нагрева отработавшей в предыдущих циклах ОМ в теплообменном устройстве, процесс последовательного присоединения с замкнутым циклом можно осуществлять вне атмосферных условий сколь угодно долго.

Изменяя его параметры, в том числе температуру отработавшей ОМ перед присоединением и сжатием, можно управлять мощностью, получаемой на валу воздухонезависимых бестопливных струйных двигателей (ВБТСД). Эти двигатели могут работать в различных условиях внешней среды, например под водой, используя ее теплоту для выработки мощности. А получаемую при сжатии рабочего тела высокопотенциальную теплоту можно также, как в АБТСД, отводить через теплообменное устройство потребителям. Для использования источников теплоты с отрицательной температурой ОМ, отработавшая в предыдущих циклах, направляется в качестве присоединяемых масс в эжекторные насадки других сопловых аппаратов. При истечении ОМ из каждого следующего соплового аппарата, наряду с увеличением момента, дополнительно понижается температура отработавшей ОМ. За счет увеличения разности потенциалов температур перед ее нагревом в теплообменном устройстве можно уменьшить расчетную массу теплообменного устройства или при той же разности использовать внешний источник теплоты с соответственно пониженной температурой. Кроме того, отработавшую ОМ можно сжимать (как в АБТСД) и лишь затем направлять по замкнутому контуру для нагрева. При этом увеличивается разность потенциалов давлений в процессах присоединения следующих циклов,

коэффициенты  $m$  и  $\omega_{OM}$  и удельная мощность ВБТСД с замкнутым циклом.

На основе данного способа можно создавать автономные бестопливные энергетические системы различного назначения и диапазона мощностей, а в качестве источников теплоты использовать воду, лед и низкотемпературный воздух атмосферы. Локально изменяя термодинамические параметры используемых источников, можно менять их агрегатное состояние, а в зависимости от масштаба применения бестопливных технологий локально изменять климатические условия.

### Заключение

Низкопотенциальную энергию экологически чистых неисчерпаемых источников можно использовать для преобразования в местах ее потребления независимо от изменений условий внешней среды и без затрат на разработку и транспортировку энергоносителей.

Создание систем, использующих бестопливные технологии, на профильных предприятиях возможно без дополнительных инвестиций и может послужить катализатором подъема промышленности.

### Литература

1. *Абрамович Г. Н.* Прикладная газовая динамика. — М.: Наука, 1969. С. 505.
2. *Кудрин О. И., Квасников А. В., Челомей В. Н.* Открытие. 314 СССР. Явление аномально высокого прироста тяги в газовом эжекционном процессе с пульсирующей активной струей// Открытия и изобретения, 1951.
3. *Кудрин О. И.* Пульсирующее реактивное сопло с присоединением дополнительной массы: Тр./ МАИ, 1958. Вып. 97.
4. А. с. 1820014 SU F 02 C 05/00. Способ работы газотурбинного двигателя малой мощности/ Р. С. Агачев, А. И. Архипов; Бюл. изобретений, 1993. № 21.
5. 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.
6. *Емин О. Н.* Турбохолодильные машины в системах охлаждения газотурбинных двигателей. — М.: Машиностроение, 1978.

## Methods of converter of the low-potential energy

*B. M. Kondrashov*  
Moscow, Russian

*Examined was methods of converter of the low-potential energy of surroundings using process of successive connation of the supplementary masses for obtaining output (capacity) in combined and non-fuel (gravitational) jet engines.*

\* \* \*