

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-140-149

УДК 621.397

**В. А. Ерофеев,
В. А. Жуков,
А. С. Прякин**

НЕТОЧНОСТЬ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ И ТЕРМИНОВ — ПУТЬ К ВЕЧНОМУ ДВИГАТЕЛЮ ВТОРОГО РОДА

Статья содержит анализ научных работ, посвященных исследованию циклов тепловых двигателей, в которых имеют место отклонения от классических определений термодинамических понятий и некорректное использование терминов. На основании рассмотренных в статье публикаций показано, что неточное использование терминов и определений приводит к неверным научным выводам, снижая результативность исследований. В статье представлен термодинамический метод исследований как основной инструмент изучения и анализа циклов, показано различие теоретических и действительных циклов тепловых двигателей, указано на необходимость обязательного учета диссипации и деградации энергии в реальных процессах и действительных циклах тепловых двигателей. Особое внимание в статье обращено на недопустимость применения термодинамических уравнений, полученных для идеальных газов при исследовании и сравнении циклов действительных тепловых двигателей с реальным рабочим телом. Представлена схема процесса перехода от первичного энергоносителя (топлива) к полезной механической работе и сопряженная с ним система коэффициентов полезного действия, а также приведены соотношения, связывающие их. Представлен гипотетический идеальный цикл для реальных интервалов температур и давлений, обобщающий идеальные циклы двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных двигателей, позволяющий установить предельно достижимый термический коэффициент полезного действия идеального цикла в реальных условиях. Содержащиеся в статье рекомендации относительно циклов тепловых двигателей позволяют более точно сформулировать цели исследований, корректно использовать термодинамический метод, основные законы термодинамики и термодинамические формулы, получать точные научно обоснованные выводы во избежание изобретения вечного двигателя второго рода.

Ключевые слова: циклы тепловых двигателей, теоретические и действительные процессы, термодинамический метод, диссипация и деградация энергии, коэффициент полезного действия цикла и двигателя, вечный двигатель второго рода.

Введение

Великий ученый Альберт Эйнштейн писал: «Теория производит тем большее впечатление, чем проще ее предпосылки, чем разнообразнее предметы, которые она связывает, и чем шире область ее применения. Отсюда глубокое впечатление, которое произвела на меня классическая термодинамика. Это единственная теория общего содержания, относительно которой я убежден, что в рамках применимости ее основных понятий она никогда не будет опровергнута» [1]. Основные понятия термодинамики, такие как теплота, работа, внутренняя энергия, круговой процесс (цикл), термический коэффициент полезного действия (КПД) и др., а также основные положения термодинамики и прежде всего «первое и второе начала термодинамики» изложены в многочисленных учебниках, в том числе в работе [2]. Применение теоретических положений, опирающихся на основные понятия и определения, для решения теплотехнических задач предложено в работе [3], рекомендованной студентам высших учебных заведений. Однако изучение опубликованных в последние годы научных статей и тезисов, а также электронных ресурсов по тепло- и хладотехнике вызывает сомнение в научной компетенции ряда авторов. Ряд публикаций удивляет поверхностными обобщениями в стремлении обосновать существенное повышение КПД тепловых двигателей. При более подробном анализе предлагаемые и описываемые авторами тепловые дви-

гатели оказываются вечным двигателем второго рода. Данная статья направлена на анализ подобных публикаций с целью предостережения исследователей от ошибок и заблуждений, возникающих в результате пространного толкования термодинамических определений и терминов, а также отрицания принятых термодинамических законов — опровержения постулатов термодинамики, базирующихся на всеобщих законах природы.

Основная часть

Выступая с сообщением на тему: «Способ осуществления цикла поршневого ДВС» [4] на семинаре секции судовых энергетических установок Российского научно-технического общества судостроителей им. акад. А. Н. Крылова в апреле 2016 г., В. П. Сладкевич высказал предположение о возможности создания теплового двигателя с КПД выше, чем термический КПД идеального цикла Карно.

Согласно мнению автора работы [5] В. И. Карагусова, КПД идеальных циклов Карно, Стирлинга, Эриксона равны единице, что явно противоречит второму началу термодинамики. Автор работы [6] В. А. Коваленко предлагает повышать удельную мощность тепловых машин при помощи так называемого «совершенствования термодинамики», заявляя при этом, что *«подавляющее большинство изготавливаемых промышленностью тепловых машин работают на основе наименее эффективного из всех известных термодинамических циклов — цикла Карно»*. Анализируя преимущество двигателя Стирлинга, автор той же публикации далее пишет: *«... можно аккумулировать механическую энергию, тормозя двигателем. В этом случае двигатель превращается в тепловой насос»*. Необходимо напомнить, что тепловой насос — не аккумулятор, а нечто иное — это устройство для повышения температурного уровня теплоты с последующим её использованием, например, для нужд отопления [2].

Авторы работы [7], анализируя предлагаемый ими ДВС с аккумулятивным расширением рабочего тела, вводят свой критерий определения энергетической эффективности процесса (или цикла): *«...удельная, на единицу рабочего тела, теоретическая (индикаторная) работа данного процесса (цикла)»*. Но теоретическая (идеального, равновесного, обратимого процесса) и индикаторная (реального необратимого процесса) работы имеют принципиальные различия. Энергоэффективность цикла характеризуется удельными величинами, определяемыми как отношение производимой работы к затратам энергии (теплоты): термическим КПД или расходом топлива к работе, совершаемой за единицу времени; удельным индикаторным или удельным эффективным расходом топлива (кг/(кВт·ч)) в зависимости от степени учета потерь, сопровождающих процесс преобразования теплоты в работу. В той же работе упоминается «отрицательная работа расширения», и нет разделения понятий: *функции процесса* (теплота) и *функции состояния* (внутренняя энергия), а также их изменений в процессе. Нечто подобное имеет место и в работе [8], где авторы приводят понятие «перенос энтропии», когда теплота и энтропия в цикле «передаются». В этой же работе используется понятие «термодинамическая сила». Возможно, что данный термин в теплотехнике трактуется как потенциал (температура, давление и др.), разность которого у рабочего тела и окружающей среды и является в данном случае движущей силой процесса.

В ряде статей отсутствует чёткое определение цели предлагаемых мероприятий. Так, описание приближения политропы к изотерме в процессе сжатия в ДВС при повышении степени сжатия в работе [9] вызывает вопросы: *«Ну и что? Какой в этом смысл?»*. Предложение осуществлять цикл с изотермическим расширением и изменение при этом термического КПД на 1 % [10] вызывает те же вопросы, а также сомнения в экономической целесообразности подобных мероприятий в связи с техническими сложностями реализации изотермического расширения.

Из работы [6] неясно, в чём достоинство рассматриваемого цикла Рейлиса по сравнению с другими циклами тепловых машин. Малопродуктивными, на наш взгляд, являются поиски единого комплексного показателя, характеризующего тепловой двигатель с различных сторон (в том числе удельной мощности), без учёта характеристик конкретного потребителя.

Небрежность формулировок и понятий у «остепененных» авторов приводит их последователей и учеников к термодинамической малограмотности и желанию опровергнуть термодинамические законы. Этому же способствует существенное уменьшение учебных часов в вузах по соответствующим дисциплинам подготовки бакалавров и магистров транспортных и энергомашиностроительных направлений подготовки. В связи с ранее изложенным, мы считаем целесообразным ещё раз обратиться к рассмотрению сущности термодинамического метода исследования и возможностям его применения к тепловым двигателям и решению теплотехнических задач [2], [3]. Термодинамика изучает наиболее общие законы преобразования одного вида энергии в другие. Техническая термодинамика изучает наиболее общие законы преобразования теплоты в работу, чаще всего рассматривая лишь два вида взаимодействия рабочего тела с окружающей средой — силовое и тепловое (иногда к ним добавляют обмен массой).

Идеальными процессами взаимодействия являются равновесные (обратимые) процессы, совершающиеся бесконечно медленно, при бесконечно малой разнице потенциалов dp , dT и прочих. При таких условиях рассматриваются частные процессы: изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный, политропный, для которых выводят расчётные формулы. Идеальные процессы складывают в идеальные циклы, энергетическая ценность которых характеризуется термическим КПД — отношением полученной в идеальном цикле работы к затратам — подведенной теплоте:

$$\eta_t = \frac{\ell_{\text{ц}}}{q_1} = \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} = 1 - \frac{|q_2|}{q_1},$$

где $\ell_{\text{ц}}$ — работа, совершаемая за цикл; q_1 — теплота, подводимая к рабочему телу; q_2 — теплота, отводимая от рабочего тела.

Общеизвестных идеальных циклов немного. Из них самым энергетически выгодным является цикл Карно, составленный из изотермы (вся подведенная в процессе теплота полностью переходит в работу процесса) и адиабаты (работа процесса происходит за счёт уменьшения внутренней энергии рабочего тела) расширения и изотермы и адиабаты процессов сжатия (при минимальном отводе теплоты). Таким образом, в заданном интервале температур обратимый (равновесный) идеальный цикл Карно определяет максимальную величину КПД:

$$\eta_{\text{К}} = 1 - \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}},$$

где T_{max} — максимальная температура цикла (температура горячего источника); T_{min} — минимальная температура цикла (температура теплоприемника).

Величина термического КПД цикла Карно $\eta_{\text{К}}$ определяет термодинамический предел совершенства тепловых двигателей $\eta_t^{\text{ПЭТ}}$ (КПД предельно эффективных технологий):

$$\eta_{\text{К}} = \eta_t^{\text{ПЭТ}}.$$

Идеальные циклы, в которых две равновесные адиабаты заменяют равновесными эквидистантными политропами, причём теплоту, отводимую по одной политропе, возвращают в цикле по другой политропе (регенерируют с помощью бесконечного числа «регенераторов»), называют *обобщёнными циклами Карно*. Пастор Р. Стирлинг, патентуя в 1816 г. свой двигатель, не подозревал, что идеальным циклом этого двигателя является обобщенный цикл Карно, поскольку последний еще не написал свою знаменитую книгу («О движущей силе огня и машинах, способных развивать эту силу», 1824 г.), а о термодинамике как о науке еще не помышляли.

Реальные процессы в тепловых двигателях следовало бы характеризовать как индикаторные, учитывая при этом, что реальные (действительные) циклы ДВС представляются на индикаторных диаграммах. Но попытки описать реальные процессы термодинамическими формулами привели к формированию понятия «реальные термодинамические циклы». При этом часто упускают из виду, что реальные процессы протекают при иных условиях: не бесконечно медленно, а при конечных перепадах давления Δp и температуры ΔT — конечных разностях потенциалов, т. е. неравновесно и необратимо. Термодинамика предложила методы учёта этой разницы — эн-

тропийный и эксергетический, установив при этом, что любая необратимость приводит к потере работоспособности и сопровождается диссипацией и деградацией энергии. *Диссипация* — это рассеяние механической энергии, потраченной на преодоление трения и превращенной в теплоту (потеря количества энергии). *Деградация* — потеря качества (способности преобразования в работу) энергии — снижение температуры при сохранении количества энергии.

В 60-е гг. XX в. в СССР шла серьёзная научная дискуссия о достоинствах и недостатках эксергетического и энтропийного методов оценки потерь от необратимости, пока не выступил академик В. А. Кириллин, уточнивший, что оба метода базируются на утверждении Гюни–Стодола о том, что потери эксергии тем выше, чем больше возрастание энтропии системы вследствие необратимых процессов, протекающих в термодинамической системе, которое формализуется выражением [11]:

$$\Delta Ex = \Delta L_{\text{потерь}} = T_0 \cdot \Delta S,$$

где ΔEx — потеря эксергии; $\Delta L_{\text{потерь}}$ — уменьшение работы вследствие необратимости процессов; T_0 — температура окружающей среды; ΔS — возрастание энтропии системы.

Любая необратимость приводит к возрастанию энтропии. Уменьшение ее возможно лишь за счёт отвода теплоты. Для замыкания рабочим телом цикла от рабочего тела в окружающую среду следует дополнительно отвести часть теплоты и, следовательно, снизить возможность получения работы. То обстоятельство, что реальные циклы тепловых двигателей состоят из неравновесных процессов, следствием чего и является дополнительная потеря работы и снижение эффективного КПД, по-видимому, не учитывается при компьютерном моделировании процессов в работе [5] и других аналогичных работах.

На практике отличие реальных (действительных) процессов и циклов от идеальных (термодинамических) и связанная с этим потеря работоспособности оценивается:

относительным индикаторным КПД

$$\eta_{oi} = \frac{\ell_i}{\ell_{ид}} = \frac{\ell_i / q_1}{\ell_{ид} / q_1} = \frac{\eta_i}{\eta_t}$$

или относительным эффективным КПД

$$\eta_{oe} = \frac{\ell_e}{\ell_{ид}} = \frac{\ell_e / q_1}{\ell_{ид} / q_1} = \frac{\eta_e}{\eta_t}.$$

Следовательно,

$$\eta_i = \eta_t \cdot \eta_{oi}, \eta_e = \eta_i \cdot \eta_{мех} = \eta_t \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_{мех},$$

где η_e — эффективный (внешний); η_i — индикаторный (внутренний) и $\eta_{мех}$ — механический КПД.

Таким образом, потери от необратимости учитывают не с помощью использования термодинамических формул энтропийного или эксергетического анализа, а вводя поправочный показатель, устанавливаемый опытным путём. Так, для сравнения идеального и реального компрессоров вводят *изотермический* (для охлаждаемых) и *адиабатический* (для неохлаждаемых) КПД. При расчёте рабочих циклов ДВС используют показатель полноты индикаторной диаграммы, а в работе [12] констатируют, что относительный индикаторный КПД дизелей (по опытным данным) редко превышает $\eta_{oi} = 0,85$. Этим в очередной раз подтверждается очевидная, но забываемая некоторыми авторами истина, что в реальном процессе расширения получают работу меньше, чем в идеальном, а на реальное сжатие затрачивают работу больше, чем в идеальном процессе.

На рис. 1 представлено объяснение физической природы и последовательности процессов перехода преобразования и связывающая их система КПД от первичного источника энергии (топлива) до получения внешней механической энергии.

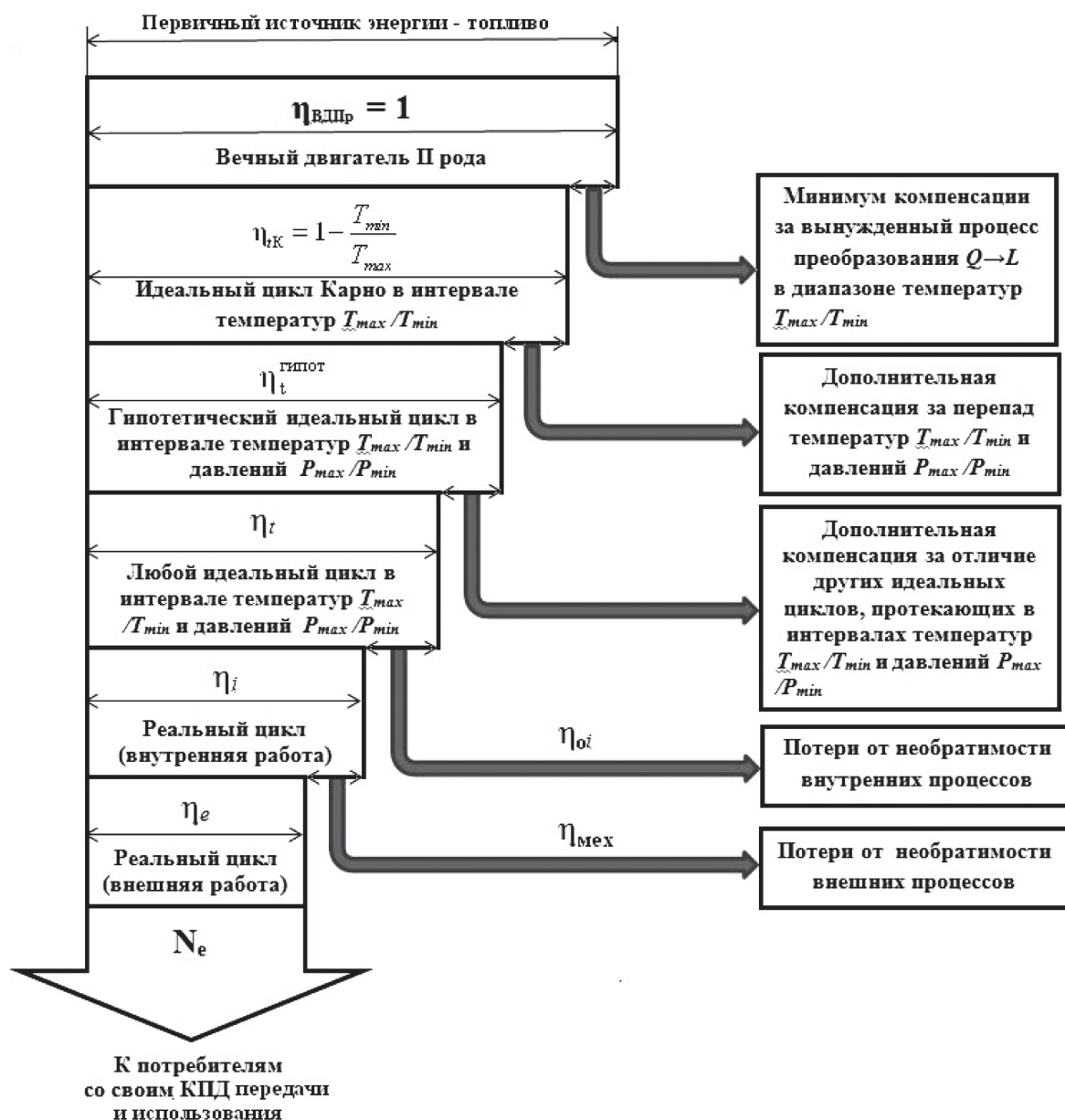


Рис. 1. Физическая природа и последовательность процессов перехода преобразования от первичного источника энергии до получения внешней механической энергии

Вечный двигатель второго рода предполагает преобразование в работу всей подведённой к рабочему телу теплоты: $\eta_{вдпр} = 1$. В соответствии с формулировкой второго начала термодинамики вечный двигатель второго рода невозможен, требуется компенсация за осуществление вынужденного процесса преобразования теплоты в работу. Минимум этой компенсации обеспечивается идеальным циклом Карно в заданном интервале температур.

В работе [13] предложен гипотетический идеальный цикл не только для реального интервала температур, но и для реального интервала давлений, цикл с изобарным подводом и отводом теплоты, изотермическим охлаждением рабочего тела и дополнительным изотермическим подводом теплоты — «усечённый цикл Карно» (рис. 2).

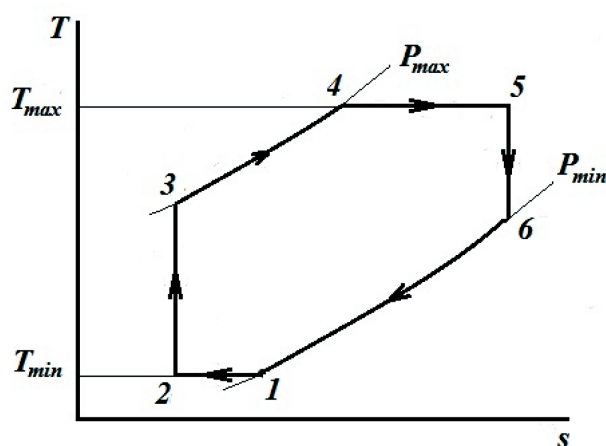


Рис. 2. Гипотетический идеальный цикл

Традиционные формулы термодинамики позволили вывести формулу для вычисления термического КПД такого цикла [14]:

$$\eta_t = 1 - \frac{(\rho_{pt}^{турб} - 1) + \frac{k-1}{k} \cdot \ln \varepsilon_{pt}'}{(\varepsilon_{pt}^{ад})^{(k-1)} \left[(\rho_{pt}^p - 1) + \frac{k-1}{k} \cdot \ln \rho_{pt}' \right]},$$

где ε_{pt}' — степень предварительного изотермического сжатия (процесс 1 – 2); $\varepsilon_{pt}^{ад}$ — степень окончательного (адиабатического) сжатия (процесс 2 – 3); ρ_{pt}^p — степень предварительного (изобарного) расширения (процесс 3 – 4); ρ_{pt}' — степень промежуточного (изотермического) расширения (процесс 4 – 5); $\rho_{pt}^{турб}$ — степень продолженного (адиабатного) расширений (общий процесс 5 – 6).

Этот гипотетический цикл обобщает все, в том числе и бинарные, идеальные циклы ДВС и ГТУ, полностью вписывающиеся в него, и устанавливает теоретические предельные величины термических КПД идеальных циклов как существующих, так и возможных новых двигателей, т. е. устанавливает $\eta_t^{РДТ}$ — величину термического КПД, реально достижимую в заданном интервале температур и давлений, т. е. промежуточную величину между термическими КПД цикла Карно и циклов ДВС и ГТУ.

Все реальные процессы сопровождаются диссипацией и деградацией энергии — потерями, вызываемыми необратимостью реальных процессов, поэтому при выборе сочетания идеальных процессов и сложения их в идеальный цикл следует выбирать такие процессы, реальное осуществление которых может проходить с наименьшими, но неизбежными потерями от необратимости, т. е. с наибольшими величинами η_{oi} — относительного КПД, так как после выбора идеала лишь повышением величины η_{oi} можно повысить энергетическую эффективность двигателя.

Цель рассмотрения идеального цикла — установление теоретического значения КПД топливоиспользования. Осуществление действительного цикла в реальном двигателе неизбежно приводит к снижению КПД, характеризующего энергоэффективность реального двигателя. В свете изложенного рассмотрим чуть более подробно упомянутые ранее статьи. Для анализа высказываний, приведенных в работе [5], пришлось обратиться к ссылке ее автора на учебное пособие [8]. Оказалось, что выводы о значении КПД цикла Карно, равного единице ($\eta_{тк} = 1$), относятся к другому (эксергетическому) КПД. Автор забыл или не счёл важным об этом упомянуть. Но смыслы эксергетического и термического КПД совершенно различны! Эксергетический КПД любого идеального цикла равен единице, а эксергетические КПД реальных циклов всегда меньше единицы из-за потерь эксергии вследствие необратимости процессов [2].

Авторы публикации [7] аккумулятивным называют процесс предварительного расширения при $p = \text{const}$, сопровождаемый постоянной плотностью рабочего тела за счёт добавления массы ра-

бочего тела. Аккумулятивный процесс расширения, по их мнению, в 2,4 – 6 раз энергоэффективнее изобарного процесса расширения фиксированной массы рабочего тела. Целью их термодинамического анализа является доказательство энергоэффективности всего нового цикла по сравнению с традиционными при одинаковых условиях генерации рабочего тела, что означает одинаковость удельной работы сжатия и удельного количества подведенной теплоты. Расчёты производились по авторской компьютерной модели, адекватность которой объекту (ДВС с предварительным расширением) неизвестна и вызывает сомнения в связи с терминологической небрежностью (неверным использованием функций состояния: внутренней энергии и энтальпии, и функций процесса: теплоты и работы), а также отсутствием учёта потерь энергии от необратимости реальных процессов. В выводах статьи [7] авторы указывают, что ДВС с предварительным расширением на 15 – 30 % превосходит обычный ДВС, что не разъясняется данными, приведенными в таблице этой публикации. Если подсчитать при указанном удельном индикаторном расходе топлива ($g_i = 145 \text{ г/(кВт·ч)}$) индикаторный КПД, то его величина составит 59 % и будет отличаться от прототипа с индикаторным КПД, равным 46,7 %, на 12 % по абсолютной величине. Относительное изменение индикаторного КПД составляет 25 % ($\delta = \frac{\Delta \eta_i}{\eta_i} \cdot 100 = \frac{12}{46,7} \cdot 100 = 25 \%$).

Абсолютное и относительное увеличение индикаторной работы (мощности) в ДВС с предварительным расширением составляет:

$$\Delta N_i = 346 - 283 = 63 \text{ кВт};$$

$$\delta N_i = \frac{\Delta N_i}{N_i} \cdot 100 = 22 \%,$$

т. е. примерно ту же величину, что и приращение индикаторного КПД. При этом в статье [7] не разъяснена физическая природа такого изменения. Если объяснением этого служит увеличение в несколько раз работы изобарного расширения при постоянной плотности (в 2,4 – 6 раз), что само по себе достаточно сомнительно, то почему при одинаковой работе сжатия мощность и КПД возрастают всего лишь на проценты? Вероятнее всего, ошибка заключается в неадекватности компьютерной модели реальному объекту и прежде всего в отсутствии учёта потерь работоспособности вследствие необратимости реальных (индикаторных) процессов.

Адекватность модели объекту — ДВС с предварительным расширением вызывает сомнение по следующим обстоятельствам. Процесс расширения-аккумуляции при постоянном давлении (не изобарном!) и постоянной плотности предполагает прирост массы рабочего тела в количестве $\Delta M = M(\rho - 1)$, что при степени расширения $\rho = 1,2 \dots 1,7$ составляет относительную величину увеличения на 20 – 70 %. Параметры этой дополнительно подаваемой массы рабочего тела должны соответствовать давлению расширения — максимальному давлению цикла p_z , а температура — изменяться от температуры в конце сжатия T_c до максимальной температуры цикла T_z , что в каком-то процессе (устройстве) должно обеспечиваться дополнительным подводом теплоты (при этом авторами заданы такие условия сравнения, как постоянство удельной (на 1 кг рабочего тела) подведённой теплоты). За счёт дополнительно подведённой массы рабочего тела можно объяснить увеличение индикаторной работы (мощности), но при этом опять выявляется нестыковка в относительных цифрах. В статье не приводится количество отведённой теплоты в цикле, что также не позволяет оценить достоверность проведенного сравнительного анализа.

Проблема, которую пытается решать автор статьи [6]: повышение удельной мощности тепловых машин путём ли уменьшения массы или повышения удельной мощности (кВт/кг), свелась в итоге к осуществлению термодинамического цикла Рейлиса и достижению после ряда итераций КПД не менее 60 %. В связи с этим возникает ряд вопросов.

1. Как можно увеличением КПД повысить удельную мощность тепловых машин?
2. О каком из существующих КПД: термическом, индикаторном, эффективном, относительном индикаторном или относительном эффективном, эксергетическом, механическом и др., автор ведёт речь?

3. В чём преимущество термодинамического цикла Рейлиса перед другими термодинамическими циклами?

4. Известна ли автору сущность термодинамического метода исследования и представляет ли он основное свойство идеального цикла Карно и идеальных обобщенных циклов Карно (в том числе и идеального цикла Стирлинга с полной регенерацией теплоты)?

5. Различает ли автор идеальные и реальные термодинамические циклы тепловых машин и связывающие их КПД? Учитывает ли он различия между равновесными (обратимыми) и неравновесными (необратимыми) процессами (циклами) и связанные с необратимостью процессов потери работоспособности (эксергии), диссипация и деградация энергии?

6. Возможна ли реализация на практике идеального изотермического процесса при любой многошаговой итерации (Рудольф Дизель в позапрошлом веке пытался это сделать и чуть не погиб)?

Позволим себе рекомендовать автору статьи [6] и ссылающимся на него последователям, работающим в области исследования тепловых машин, более серьёзно относиться к своим публикациям, тщательнее изучать исследования предшественников, в том числе метод термодинамического исследования (хотя бы в рамках учебников для высшей школы) и не предлагать идеи вечного двигателя второго рода.

В работах [9], [10] и др. также часто отсутствует чёткое целеполагание — *что и зачем исследуется*. По результатам исследований не даются конкретные рекомендации. Так, Н. Б. Ганин [9], исследуя целесообразность повышения степени сжатия ϵ теоретического цикла ДВС, пришёл к выводу о стремлении политропного процесса к изотермическому и, следовательно, показателя политропы к единице. Этот же автор в работе [10] предложил продолжить осуществление подвода теплоты в цикле Тринклера в процессе расширения; исследовал термодинамический цикл Тринклера с расширением рабочего тела не по адиабате, а по изотерме и установил возможность повышения его термического КПД на 1 %. Вызывает сомнение целесообразность реализации такого цикла. Дальнейшее уточнение, выполненное в публикации [13], позволило предложить такой процесс в цикле с низкотемпературным рабочим процессом, целью которого является снижение выбросов окислов азота при достаточно высоком эффективном КПД двигателя.

Выводы

1. Недостаточная термодинамическая грамотность проявляется в нечеткости определений, терминов и понятий, приводит к путанице в выводах и рекомендациях и, как следствие, к тиражированию предложений, представляющих в конечном итоге вечные двигатели второго рода.

2. Отсутствие понимания различий между идеальными циклами и реальными циклами тепловых машин, а также отсутствие учёта потерь энергии от необратимости реальных циклов, расчёт реальных процессов по термодинамическим формулам, выведенным для идеальных равновесных (обратимых) процессов, приводит к созданию компьютерных моделей, неадекватных реальным объектам, и соответствующим ошибкам.

3. Идеальные циклы устанавливают теоретические пределы энергетической эффективности. Выбор процессов, складывающихся в идеальный цикл, должен производиться таким образом, чтобы при реальном (необратимом) осуществлении потери энергии были минимальны и, следовательно, относительные индикаторный и эффективный КПД были максимально высокими.

4. Требования к тепловому двигателю разнообразны и подчас противоречивы. Эффективный КПД ДВС — лишь один из показателей его совершенства. Следует более чётко формулировать целевую направленность исследований, построить своеобразный приоритетный ряд показателей и в связи с ним подбирать идеальные процессы и строить идеальные циклы. Так, предложенный в издании [13] гипотетический цикл может обеспечить работу в 1,5 – 2 раза выше известных циклов при приемлемом снижении термического и, следовательно, эффективного КПД.

5. Авторы надеются, что представленные в статье материалы будут полезны исследователям, работающим в области тепловых машин, а также будут способствовать повышению их термодинамической грамотности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эйнштейн А. Собрание научных трудов: в 4 т. / А. Эйнштейн. — М.: Наука, 1967. — Т. 4. — 271 с.
2. Ерофеев В. Л. Теплотехника: учебник для бакалавриата и магистратуры: в 2 т. / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов; под ред. В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. — М.: Юрайт, 2016. — Т. 1. Термодинамика и теория теплообмена. — 306 с.
3. Безюков О. К. Теплотехника. Практикум: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / О. К. Безюков [и др.]; под ред. В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. — М.: Юрайт, 2016. — 395 с.
4. Пат. 2477375 Российская Федерация, МПК F02B 33/02 Способ осуществления цикла поршневого двигателя и поршневой двигатель / В. П. Сладкевич, А. Ю. Гарбузов, И. С. Письменный; заяв. и патентообл. Санкт-Петербургский государственный морской технический университет. — № 2011117877/06; заявл. 03.05.2011; опубл. 10.03.2013, Бюл. № 7. — 9 с.
5. Карагузов В. И. Систематизация анаэробных силовых энергоустановок / В. И. Карагузов // Транспорт на альтернативном топливе. — 2014. — № 5 (41). — С. 49–53.
6. Коваленко В. А. Тепловая машина, реализующая термодинамический цикл Рейлиса // Интернет-газета «Холодильщик.RU». — 2009. — № 8 (56). [Электронный ресурс] / В. А. Коваленко. — Режим доступа: http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_best_article_issue_8_2009.htm (дата обращения: 07.11.2016).
7. Равич А. Ф. ДВС с аккумулятивным предварительным расширением рабочего тела / А. Ф. Равич, В. Н. Опрышко, С. Н. Богданов // Двигатель. — 2015. — № 2 (98). — С. 14–18.
8. Карагузов В. И. Установки и системы микрокриогенной техники: учеб. пособие / В. И. Карагузов, Н. В. Карагузова. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. — 88 с.
9. Ганин Н. Б. Влияние степени сжатия на полноту сжатия быстроходного дизеля / Н. Б. Ганин, И. П. Седунов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 2 (21). — С. 27–34.
10. Тузов Л. В. Идеальный термодинамический цикл ДВС с изохорным и изотермическим способами подвода теплоты / Л. В. Тузов, Н. Б. Ганин, А. С. Пряхин // Двигателестроение. — 2015. — № 1. — С. 3–6.
11. Ерофеев В. Л. Теплотехника: учебник для вузов / В. Л. Ерофеев, П. Д. Семёнов, А. С. Пряхин; под ред. В. Л. Ерофеева. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. — 456 с.
12. Кухарёнок Г. М. Теория рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания: методическое пособие / Г. М. Кухарёнок. — Минск: БНТУ, 2011. — 62 с.
13. Ерофеев В. Л. Пределы повышения энергетической эффективности топливоиспользования поршневого ДВС / В. Л. Ерофеев, Н. Б. Ганин, А. С. Пряхин // Двигателестроение. — 2015. — № 2. — С. 33–38.

INEXACTITUDE OF THERMODYNAMICAL DEFINITIONS AND TERMS IS A WAY TO THE PERPETUAL ENGINE OF THE SECOND KIND

The article contains analysis of scientific works, which were devoted to investigations of heat engine's cycles. In these works take place digressions from classical thermodynamical definitions and not correct using of thermodynamical terms. On the basis of publications which were considered the article shows that not correct using of thermodynamical terms follow to the wrong scientific conclusions and lowering of investigation's results. In the article the thermodynamical method of investigation is presented as a main instrument of study and analyzing cycles of heat engines, the difference of theoretical and actual cycles of heat engines is demonstrated, necessity of the without fail calculation of energy's dissipation and degradation in real processes and actual cycles of heat engines is pointed out. The particularly attention in the article is given to inadmissible application thermodynamical equations which were received for ideal gases to investigation and comparison of actual cycles with real working body. The scheme of transition process from energy of fuel to mechanical work and connected with this process system of efficiencies is presented in the article. Equations which connect different efficiencies is given. The hypothetical ideal cycle for real intervals of temperature and pressure is represented. This cycle generalizes ideal cycles of internal combustion engines and gas turbine engines. It's give possible determinate top of arriving thermal efficiency of ideal cycle in real conditions. The article contains recommendations for students, postgraduate students, investigators of heat engine's cycles. These recommendations give opportunity for more exactly determine aims of investigations, correctly using of thermodynamical method, main laws of thermodynamic and thermodynamical equations, to receive correct, well scientific founded conclusions and to avoid invention of the perpetual engine of the second kind.

Keywords: cycles of heat engines, theoretical and real processes, thermodynamical method, energy's dissipation and degradation, efficiency of cycle and engine, perpetual engine of the second kind.

REFERENCES

1. Jejnshstejn, A. *Sobranie nauchnyh trudov*. M.: Nauka, 1967. T. 4.
2. Erofeev, V. L., A. S. Prjabin, and P. D. Semenov. *Teplotekhnika : uchebnik dlja bakalavriata i magistratury*. Edited by V. L. Erofeev, A. S. Prjabin. Vol. 1. M.: Izdatelstvo Jurajt, 2016.
3. Bezjukov, O. K., et al. *Teplotekhnika. Praktikum: uchebnoe posobie dlja bakalavriata i magistratury / T34*. Edited by V. L. Erofeev, A. S. Prjabin. M.: Izdatelstvo Jurajt, 2016.
4. Sladkevich, V. P., A. Ju. Garbuzov, and I. S. Pismennyj. RU 2 477 375 C2, IPC F 02 B 33/02. Sposob osushchestvlenija cikla porshnevoego dvigatelja i porshnevoj dvigatel. Russian Federation, assignee. Publ. 10 March 2013.
5. Karagusev, Vladimir. "Systematization of Anaerobic Power Plant." *Alternative Fuel Transport* 5(41) (2014): 49–53.
6. Kovalenko, V. A. "Teplovaja mashina, realizujushhaja termodinamicheskij cikl Rejlisa." *Internet-gazeta «Holodilshchik.RU»* 8(56) (2009). Web. 7 Nov. 2016 <http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_best_article_issue_8_2009.htm>.
7. Ravich, A. F., V. N. Opryshko, and S. N. Bogdanov. "DVS s akumuljativnym predvaritel'nyim rasshireniem rabocheho tela." *Dvigatel* 2(98) (2015): 14–18.
8. Karagusev, V. I., and N. V. Karaguseva. *Ustanovki i sistemy mikrokriogennoj tehniki: uchebnoe posobie*. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2010.
9. Ganin, N. B., and I. P. Sedunov. "Influence of extent of compression on the polytrope of compression of the high-speed diesel." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 2(21) (2013): 27–34.
10. Tuzov, L. V., N. B. Ganin, and A. S. Pryakhin. "Ideal Thermodynamic Cycle for Reciprocating Engine with Isochoric and Isothermal Heat Supply." *Dvigatelsestroyeniye* 1 (2015): 3–6.
11. Erofeev, V. L., P. D. Semjonov, and A. S. Prjabin. *Teplotekhnika: Uchebnik dlja vuzov*. Edited by V. L. Erofeev. M.: IKC «Akademkniga», 2006.
12. Kuharjonok, G. M. *Teorija rabochnih processov dvigatelej vnutrennego sgoranija: metodicheskoe posobie*. Minsk: BNTU, 2011.
13. Erofeev, V. L., N. B. Ganin, A. S. Prjabin. "Predely povyshenija jenergeticheskoy jeffektivnosti toplivoispolzovanija porshnevoego DVS." *Dvigatelsestroyeniye* 2 (2015): 33–38.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ерофеев Валентин Леонидович —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
kaf_sdvs@gumrf.ru
Жуков Владимир Анатольевич —
доктор технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
va_zhukov@rambler.ru, zhukovva@gumrf.ru
Пряхин Александр Сергеевич —
кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
pralser@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Erofeyev Valentin Leonidovich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
kaf_sdvs@gumrf.ru
Zhukov Vladimir Anatolevich —
Dr. of Technical Sciences, associate professor.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
va_zhukov@rambler.ru, zhukovva@gumrf.ru
Pryakhin Alexander Sergeyevich —
PhD, associate professor.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
pralser@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2016 г.