


**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, СИСТЕМЫ,  
МАТЕРИАЛЫ И ПРИБОРЫ**
**ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES, SYSTEMS,  
MATERIALS, AND INSTRUMENTS**

Статья поступила в редакцию 30.10.18. Ред. рег. № 1152-2381-2

The article has entered in publishing office 30.10.18. Ed. reg. No. 1152-2381-2

УДК 621.311

## ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ТОПЛИВА МИКРО-ТЭС НА ОСНОВЕ ДВС С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ЗА СЧЕТ КОГЕНЕРАЦИИ\*

*Д.С. Синельников, П.А. Щинников*

Новосибирский государственный технический университет  
д. 20, пр-т К. Маркса, Новосибирск, 630073, Россия  
тел.: +7(383)346-11-42; e-mail: shchinnikov@corp.nstu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.16-18.59-68

Заключение совета рецензентов: 21.11.18    Заключение совета экспертов: 18.01.19    Принято к публикации: 15.03.19

На рынке широко представлен ряд микро-ТЭС (бензогенераторов) на основе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с воздушным охлаждением, которые широко применяются в быту, профессиональными строителями, геологами, военными и спасателями в зоне чрезвычайных ситуаций, на территориях с отсутствием инфраструктуры. Повышение эффективности таких установок позволит сократить объем поставок топлива для их эксплуатации. В работе представлены основные положения методики исследования опытной когенерационной теплоэнергетической установки на базе карбюраторного ДВС с воздушным охлаждением, в основе которой лежит механизм энергобалансов. Показана эффективность методики на различных нагрузках работы установки. Сформулированы условия определения эффекта, которые заключаются в приведении сравнимых вариантов к одинаковому энергетическому потенциалу по отпуску продукции. В качестве вариантов сравнения необходимо рассматривать обеспечение электроэнергией от бензогенератора, а теплотой – от тепловой пушки, в которой в качестве первичного энергоносителя может использоваться газ, жидкое топливо или электроэнергия. Представлены принципиальные схемы реализации когенерации в условиях приведения к одинаковому энергетическому эффекту. Показано, что применение когенерации, за счет использования теплоты охлаждающего головки цилиндра потока воздуха, для микро-ТЭС на базе ДВС карбюраторного типа с воздушным охлаждением повышает коэффициент использования теплоты топлива  $\eta$  в 1,5–2 раза, при этом установка мощностью в 2,4 кВт за 30–35 минут способна повысить температуру воздуха в помещении объемом 150 м<sup>3</sup> (например, штабная или медицинская палатка) на ~3 °С при  $\eta = 0,3$ . Показано, что когенерация для мини-ТЭС на базе ДВС с воздушным охлаждением после установки специального теплообменника для утилизации теплоты уходящих газов позволит повысить коэффициент использования теплоты топлива до 0,5. Установлено, что бензогенератор с когенерацией эффективнее бензогенератора в сочетании с тепловой пушкой и за счет экономии затрат на топливо может обновляться каждые четыре года.

**Ключевые слова:** микро-ТЭС; когенерация; двигатель внутреннего сгорания; воздушное охлаждение; тепловая пушка; методика; экономический эффект; коэффициент полезного действия; экономия; карбюратор; метод теплового баланса; коэффициент теплоотдачи; эксперимент; бензогенератор.

\* Синельников Д.С., Щинников П.А. Повышение коэффициента использования теплоты топлива микро-ТЭС на основе ДВС с воздушным охлаждением за счет когенерации // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2019;16-18:59-68.



## INCREASE OF HEAT UTILIZATION COEFFICIENT OF MICRO-TPP FUEL BASED ON ICE WITH AIR-COOLING DUE TO COGENERATION

*D.S. Sinelnikov, P.A. Shchinnikov*

Novosibirsk State Technical University  
20 K. Marks Ave., Novosibirsk, 630073, Russia  
tel.: +7(383)346-11-42; e-mail: shchinnikov@corp.nstu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.16-18.59-68

Referred 21 November 2018 Received in revised form 18 January 2019 Accepted 15 March 2019

The market is widely represented by a number of micro HPP (gasoline generators) based on internal combustion engines (ICE) with air cooling. Such setups are used in everyday life, by professional builders, geologists, soldiers and rescuers in the areas of emergencies, and in the regions with lack of infrastructure. Improving the efficiency of such plants will reduce the amount of fuel supplied in the areas of their operation. This paper shows the main provisions of the research technique of the experimental cogeneration heat and power plant on the basis of an air-cooled carburetor combustion engine which is based on the mechanism of energy balances. The working capacity of the technique on various loads of the plant operation is shown. The conditions for determining the effect which consist in bringing the comparable variants to the same energy potential on the output of products are formulated. As comparison variants, it is necessary to consider electric power supply from the gas generator, and heat supply from the heat gun which, in turn, can use gas, liquid fuel or electric power as the primary energy carrier. The basic schemes of realization of cogeneration in the conditions of reduction to the same energy effect are presented. It is shown that the use of cogeneration obtained from heat of air flow cooling the cylinder head for micro HPP based on carbureted ICE with air cooling increases the coefficient of fuel heat utilization ( $\eta$ ) by 1.5–2 times. The setup with 2.4 kW capacity for 30–35 minutes can increase the temperature of the room air in the volume of 150 m<sup>3</sup> (for example, in a staff or medical room) by ~ 3°C at  $\eta = 0.3$ . It is shown that cogeneration for mini-HPPs on the basis of air-cooled ICE after installation of a special heat exchanger for waste gas heat recovery allows increasing the fuel heat utilization coefficient up to  $\eta = 0.5$ . It is shown that a gasoline generator with cogeneration is more efficient than a gasoline generator in combination with a heat gun and due to fuel cost saving can be renewed every four years.

Keywords: micro thermoelectric power station; cogeneration; internal combustion engine; air-cooling; heat gun; technique; economic effect; efficiency; economy; carburetor; heat balance method; heat transfer coefficient; experiment; gasoline generator.



Павел Александрович  
Щинников  
Pavel Shchinnikov

**Сведения об авторе:** д-р техн. наук, профессор, Новосибирский государственный технический университет, кафедра тепловых электрических станций.

**Образование:** Новосибирский государственный технический университет (1994 г.).

**Область научных интересов:** новые технологии в теплоэнергетике и рациональные сферы их применения.

**Публикации:** 300.

ORCID: 0000-0002-3260-3792; *h*-index: 9; Researcher ID: N-1534-2016.

**Information about the author:** D.Sc. in Engineering, Professor at Novosibirsk State Technical University, Thermal Power Stations Department.

**Education:** Novosibirsk State Technical University, 1994.

**Research interests:** new technologies in heat power engineering and rational spheres of their application.

**Publications:** 300.



Денис Сергеевич Синельников  
Denis Sinelnikov

**Сведения об авторе:** аспирант, Новосибирский государственный технический университет, кафедра тепловых электрических станций.

**Образование:** Новосибирский государственный технический университет, магистр (2018 г.).

**Область научных интересов:** новые технологии в теплоэнергетике и рациональные сферы их применения.

**Публикации:** 40.

ORCID: 0000-0003-1401-8781; *h*-index: 3.

**Information about the author:** Postgraduate Student, Novosibirsk State Technical University, Thermal Power Stations Department.

**Education:** Novosibirsk State Technical University, Thermal Power Stations Department, Master, 2018.

**Research area:** new technologies in heat power engineering and rational spheres of their application.

**Publications:** 40.

## 1. Введение

Развитие энергетики сегодня происходит, в том числе, за счет малой генерации. Одним из вариантов развития малых тепловых электрических станций (микро- и мини-ТЭС) являются когенерационные энергетические установки на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с воздушным охлаждением. С учетом данных [1–3], годовой совокупный объем рынка таких установок в России можно оценить в 18–24 млрд руб., и прогнозируется его рост.

Такие ДВС часто используют для привода генераторов электрического тока в микроэнергетических установках (микро-ТЭС) мощностью от 0,8 кВт до 15 кВт. Различают двигатели карбюраторные и газопоршневые. В качестве топлива используют высокооктановый бензин с теплотой сгорания около 44 МДж/кг, природный газ – около 36 МДж/кг (~26 МДж/м<sup>3</sup>) или пропан-бутановую смесь – около 46 МДж/кг (~104 МДж/м<sup>3</sup>) соответственно. Эффективность таких установок, как правило, невысока (не превышает 22÷24 %), но область применения разнообразна.

Преимущественное распространение получили микро-ТЭС карбюраторного типа (или бензогенераторы). Такие установки применяются в любое время года в районах с отсутствием инфраструктуры, например, в начальной стадии малоэтажного строительства, в личном (дачном, подсобном) хозяйстве, в зонах ликвидации пожаров, последствий паводков, землетрясений или иных чрезвычайных ситуаций, в геологоразведочной работе, военными и некоторыми другими специалистами. В отечественной печати практически полностью отсутствуют исследования подобных микро-ТЭС на базе ДВС с воздушным охлаждением, несмотря на высокий потенциал повы-

шения их эффективности, в частности, путем когенерации (отпуск теплоты с охлаждающим двигателем воздухом).

Вариантами повышения эффективности энергетических установок на базе ДВС являются: обеспечение когенерации [4–11], когда от ТЭУ (теплоэнергетической установки) отпускаются потребителю электроэнергия и теплота от контура охлаждения ДВС; тригенерации [12], когда в дополнение к указанному установка генерирует холод. В основе этих установок лежит работа ДВС с водяным контуром охлаждения [13].

В работах [14, 15] было показано, что применение когенерации, за счет использования теплоты охлаждающего головки цилиндра потока воздуха, для микро-ТЭС на базе ДВС карбюраторного типа с воздушным охлаждением повышает коэффициент использования теплоты топлива  $\eta$  в 1,5÷2 раза, при этом установка мощностью в 2,4 кВт за 30÷35 минут способна повысить температуру воздуха в помещении объемом 150 м<sup>3</sup> (например, штабная или медицинская палатка) на ~3 °С при повышении коэффициента использования теплоты топлива до  $\eta = 0,3$ .

В настоящей статье были разработаны научно-методические основы для обеспечения повышения эффективности энергоустановок на базе ДВС с воздушным охлаждением; разработана и создана экспериментальная установка для проведения исследований; проведены эксперименты и определены основные технические решения; подготовлено научно-методическое обеспечение для реализации продукта на рынке.

Впервые применена оригинальная методика исследования опытной когенерационной теплоэнергетической установки.

### Список обозначений

#### Буквы греческого алфавита

$\alpha$  Коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup> · град

$\Delta$  Напор, °С

$\eta$  Коэффициент использования теплоты топлива, отн. ед.

$\rho$  Плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>

$\tau$  Время, сек.

#### Буквы латинского алфавита

$B$  Расход топлива, кг

$b$  Удельный расход условного топлива, кг/кВт·ч

$c$  Теплоемкость, кДж/(м<sup>3</sup>·К)

$e$  Электрическая составляющая

$F$  Площадь поверхности, м<sup>2</sup>

$i$  Режим в зависимости от нагрузки

$N$  Мощность, кВт

$Nu$  Число Нуссельта

$Pr$  Число Прандтля

$Q$  Теплота, кВт

$Re$  Число Рейнольдса

$t$  Температура, °С

$V$  Расход газов, м<sup>3</sup>/кг



Продолжение списка обозначений

<u>Индексы верхние</u>	
П	Отпуск теплоты от охлаждения головки цилиндра
н	Низшая
нетто	Нетто
<u>Индексы нижние</u>	
в	Воздух
г	Газы
д.г	Дымовые газы
р	Рабочая
рг	Средняя объемная теплоемкость газов при постоянном давлении
ост	Остаточный член баланса
от	Нужды отопления
от1	От охлаждения головки цилиндра двигателя
от2	От охлаждения дымовых газов в специальном теплообменнике
ох	Охлаждение головки блока цилиндров
пот	Потери
с	Стенка
с.н	Собственные нужды
ср	Средний
т	Теплофикационная
то	Теплообменник
ух	Уходящие газы
ц	Цилиндр
<u>Аббревиатуры</u>	
ДВС	Двигатель внутреннего сгорания
З	Затраты
изм	Измеренный в эксперименте
К	Капиталовложения
ТО	Теплообменник
ТЭС	Тепловая электрическая станция
ТЭУ	Тепловая электрическая установка

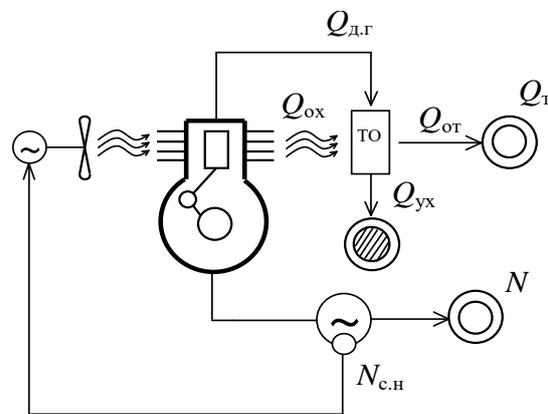
International Publishing House for scientific periodicals "Space"

Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

## 2. Теоретический анализ

Анализ рабочего цикла двигателя показывает, что только часть теплоты, выделяющейся при сгорании топлива, используется на полезную работу, а оставшая часть составляет тепловые потери. В связи с этим авторами предлагается вариант когенерационной установки, где большая часть тепловых потоков полезно используется, при этом обеспечивается утилизация теплоты отработавших в цилиндре двигателя дымовых газов в специальном теплообменнике (рис. 1). Таким образом направляемый потребителю горячий воздух последовательно нагревается за счет охлаждения головки цилиндра двигателя и за счет утилизации теплоты дымовых газов.

Распределение теплоты, полученной при сгорании вводимого в цилиндр топлива, называют тепловым балансом, который обычно определяется экспериментальным путем.



**Рис. 1** – Принципиальная схема микро-ТЭС с когенерацией на базе ДВС с воздушным охлаждением:

ТО – теплообменник;  $Q_т$ ,  $N$ ,  $N_{с.н}$  – теплофикационная, электрическая и для собственных нужд нагрузка соответственно;  $Q_{ох}$ ,  $Q_{от}$ ,  $Q_{д.г}$ ,  $Q_{ух}$  – тепловые потоки с воздухом, охлаждающим головку цилиндра двигателя, воздухом отпускаемым потребителю теплоты, дымовыми газами, отработавшими в камере сгорания двигателя, уходящими дымовыми газами соответственно

**Fig. 1** – Schematic diagram of micro HPP with cogeneration based on air-cooled ICE: TO – heat exchanger,  $Q_т$ ,  $N$ ,  $N_{с.н}$  – heat flows with air cooling the engine cylinder head, air supplied to the consumer of heat, flue gases from the combustion chamber of the engine, and exhausted flue gases, respectively;  $Q_{ох}$ ,  $Q_{от}$ ,  $Q_{д.г}$ ,  $Q_{ух}$  – heat, electric, and auxiliary load, respectively

Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q = Q_e + Q_{yx} + Q_{от} + Q_{пот} + Q_{ост}, \quad (1)$$

где  $Q$  – теплота топлива, введенная в двигатель;  $Q_e$  – теплота, превращенная в полезную работу;  $Q_{от}$  – теплота с охлаждающим агентом (водой или воздухом), направленная на нужды отопления;  $Q_{yx}$  – теплота, потерянная с отработавшими газами;  $Q_{пот}$  – теплота, потерянная в окружающую среду через стенки системы эвакуации дымовых газов;  $Q_{ост}$  – остаточный член баланса, который равен сумме всех неучтенных потерь.

Количество располагаемой (введенной) теплоты, кВт:

$$Q = \frac{B_i Q_p^H}{\tau}, \quad (2)$$

где  $Q_p^H$  – низшая рабочая теплота сгорания топлива, а  $B_i$  определяется по формуле, кг:

$$B_i = B_{гизм} \rho 10^{-6}. \quad (3)$$

Здесь  $i$  – режим в зависимости от нагрузки;  $\rho$  – плотность топлива, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho = 725 \div 780$  кг/м<sup>3</sup> – плотность жидкого топлива).

Теплота, превращенная в полезную работу, кВт,

$$Q_e = N_e. \quad (4)$$

Теплота, теряемая с отработавшими газами, кВт,

$$Q_{yx} = \frac{V_r c_{pr} t_r}{\tau}, \quad (5)$$

где  $V_r$  – расход газов, м<sup>3</sup>/кг;  $c_{pr}$  – средняя объемная теплоемкость газов при постоянном давлении, кДж/(м<sup>3</sup>·К);  $t_r$  – температура отработавших газов, °С;  $\tau$  – время, сек.

Теплота, отведенная от ДВС обдувающим воздухом (отопительная нагрузка) и потери теплоты, кВт:

$$Q_{от} = Q_{от1} + Q_{от2} = \alpha F_{ц} \Delta t + V_b c_{pb} t_b; \quad (6)$$

$$Q_{пот} = \alpha F_{то} \Delta t, \quad (7)$$

где  $F_{ц}$ ,  $F_{то}$  – площадь поверхности головки цилиндра ДВС и поверхности теплообменника и газоотводных труб соответственно;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;  $\Delta t$  – соответствующий температурный напор;  $V_b$ ,  $c_{pb}$ ,  $t_b$  – расход, изобарная теплоемкость и температура нагретого (отопительного) воздуха соответственно.

В выражении (6) теплота, направленная с воздухом на отопление, учитывает тепло от охлаждения головки цилиндра двигателя ( $Q_{от1}$ ) и от охлаждения дымовых газов в специальном теплообменнике ( $Q_{от2}$ ).

Остаточный член теплового баланса, кВт,

$$Q_{ост} = Q - (Q_e + Q_r + Q_{от} + Q_{пот}). \quad (8)$$

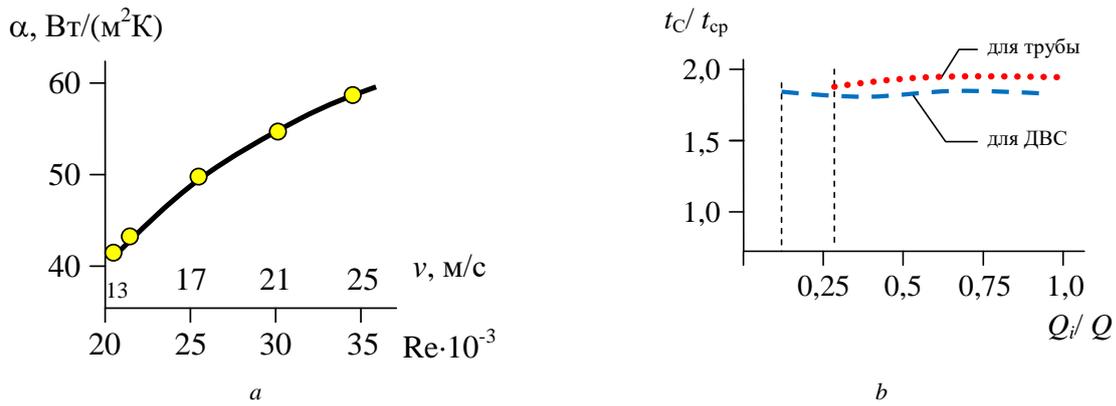
### 3. Методика эксперимента

Коэффициент теплоотдачи от головки цилиндра к воздуху определен экспериментальным путем, при этом установлено, что отношение температуры стенки к температуре среды лежит внутри диапазона 1,5÷2. Такой результат означает, что влиянием переменных физических свойств газов можно пренебречь, а обтекание ребренной стенки и движение воздуха в канале подобны. Это в свою очередь означает, что в силу незначительности не учитываются особенности молекулярного переноса теплоты, характеризующиеся числом Прандтля ( $Pr$ ), что позволяет для определения тепловых потоков использовать выражение вида:  $Nu = c Re^m$ , – которое справедливо для движения газов как внутри каналов, так и для внешнего обтекания пластин для чисел  $Re < 10^7$  и при условии получения коэффициентов  $c$  и  $m$  экспериментальным путем [16].

### 4. Результаты и их обсуждение

Результатом эксперимента является зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости потока при вынужденном течении жидкости (рис. 2а) как для движения воздуха внутри трубы (канала), так и при внешнем омывании пластин ребрения ДВС во всем диапазоне тепловых нагрузок (рис. 2б). Левая граница линии обусловлена регулировочными возможностями ДВС в одном случае и ограничениями, связанными с чувствительностью измерителя скорости потока (обеспечение минимального динамического напора в трубке Пито) в другом.

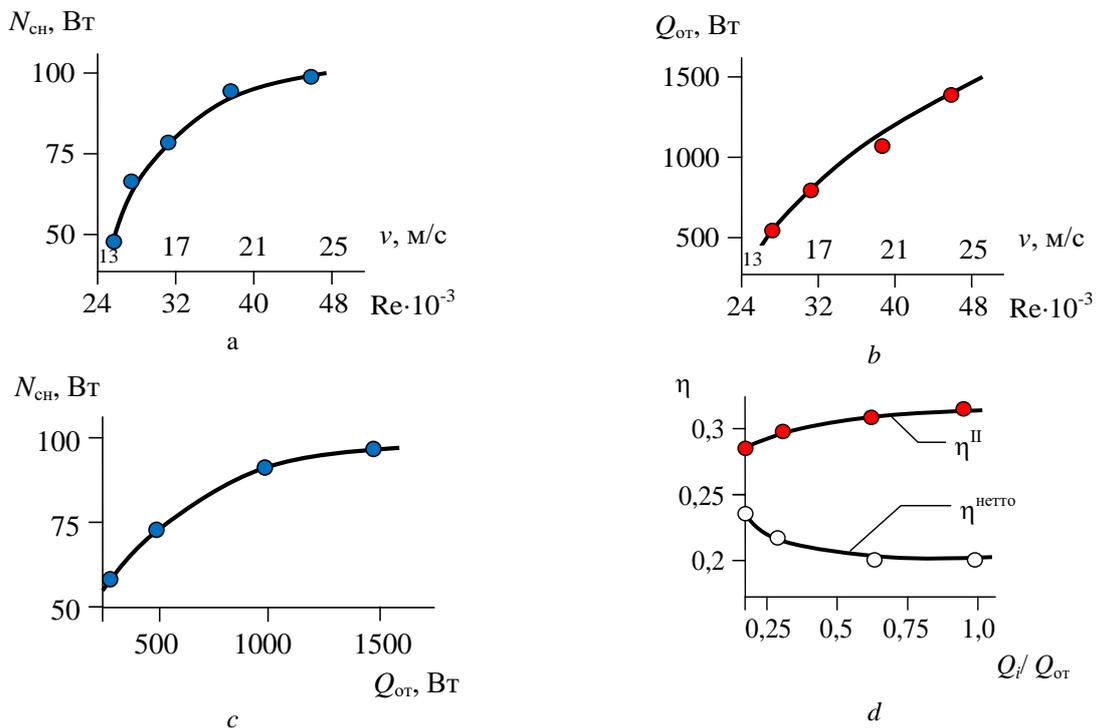




**Рис. 2** – Результаты проведения эксперимента: *a* – экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи в зависимости от скорости потока; *b* – отношение температуры стенки к средней температуре потока воздуха:  $t_c, t_{cp}$  – температура стенки и средняя температура потока, °С  
**Fig. 2** – Results of the experiment: *a* – experimental determination of the heat transfer coefficient as a function of the flow rate; *b* – the ratio of the wall temperature to the average temperature of the air flow:  $t_c, t_{cp}$  – wall temperature and average flow temperature, °С

Полученные результаты позволили обеспечить градуировку по скорости нагнетаемого потока вентилятора, установленного на микро-ТЭС (см. рис. 1), и получить значения коэффициента теплоотдачи с последующим определением энергетических характеристик собственно микро-ТЭС на базе ДВС с воздуш-

ным охлаждением и когенерацией (рис. 3). При этом учтены разные характерные размеры при определении чисел Рейнольдса ( $Re$ ), в опытной установке по определению коэффициента теплоотдачи (см. рис. 2*a*) и на действующей микро-ТЭС при омывании потоком воздуха оребренной головки цилиндра (рис. 3*a, 3b*).



**Рис. 3** – Некоторые характеристики тепловых потоков для микро-ТЭС на базе ДВС с воздушным охлаждением мощностью 2,4 кВт: *a* – рост мощности вентилятора в зависимости от роста скорости охлаждающего воздуха; *b* – влияние скорости потока на отопительную нагрузку; *c* – изменение мощности собственных нужд в зависимости от отопительной нагрузки; *d* – изменение эффективности микро-ТЭС в зависимости от отопительной нагрузки:  $\eta^{нетто}, \eta^{II}$  – коэффициент использования теплоты топлива установки нетто при когенерации с отпуском теплоты от охлаждения головки цилиндра  
**Fig. 3** – Some characteristics of heat flows for micro-TPPs based on ICE with air cooling capacity of 2.4 kW: *a* – the fan power increase depending on the growth rate of the cooling air; *b* – influence of the flow velocity on the heating load; *c* – change in the own needs power depending on the heating load; *d* – change in the micro-TPPs efficiency depending on the heating load:  $\eta^{нетто}, \eta^{II}$  – net heat utilization factor for cogeneration with heat release from cylinder head cooling



Эксперименты проведены на базе бензогенератора типа Хитачи мощностью 2 400 Вт. Установлено, что применение когенерации за счет использования охлаждающего головки цилиндра воздуха позволяет увеличить коэффициент использования теплоты топлива до  $\eta \approx 0,3$  (рис. 3d). При этом очевидно некоторое снижение КПД-нетто по отпуску электроэнергии установкой за счет увеличения мощности вентилятора (рис. 3a). Важно отметить, что для установок подобного типа отпуск теплоты вторичен и связан прямо пропорциональной зависимостью с отпуском электроэнергии. Для исследуемой установки типа Хитачи-2400 отпуск теплоты за счет охлаждения головки цилиндра может составить около 1 500 Вт на максимальной электрической нагрузке, что и обеспечивает рост коэффициента использования теплоты топлива. Мощность вентилятора собственных нужд при обеспечении необходимой скорости потока охлаждающего воздуха на уровне 25 м/с не превышает 100 Вт.

Далее следует рассмотреть показатели эффективности микро-ТЭС в целом. При этом электрический КПД учитывает все виды потерь и не учитывает отпуск теплоты:

$$\eta_e = \frac{N_e}{B_i Q_p^H} \quad (9)$$

КПД-нетто установки определяют по выражению:

$$\eta^{\text{нетто}} = \eta_e \left( 1 - \frac{N_{\text{CH}}}{N_e} \right), \quad (10)$$

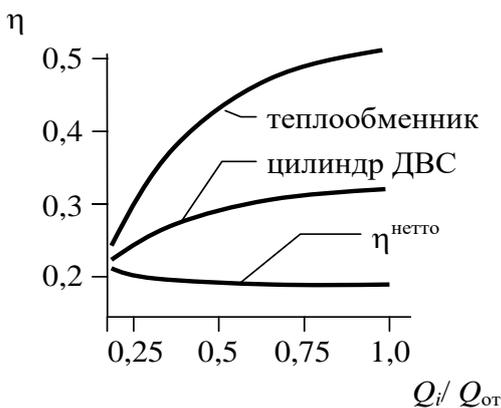


Рис. 4 – Изменение эффективности (коэффициента использования теплоты топлива) микро-ТЭС в зависимости от отопительной нагрузки

Fig. 4 – Change of efficiency (coefficient of fuel heat utilization) of micro HPP depending on heating load

В реальных условиях работы с использованием микроустановок для получения электроэнергии и теплоты одновременно применяют бензогенераторы и тепловые пушки на разных видах первичного энерго-

где  $N_{\text{CH}}$ ;  $N_e$  – мощность собственных нужд и мощность на шинах генератора соответственно, кВт.

Удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии, кг/кВт·ч,

$$b = \frac{0,123}{\eta_e} \quad (11)$$

Коэффициент использования теплоты топлива при когенерации

$$\eta^{\text{II}} = \frac{Q_e + Q_{ot}}{B_i Q_p^H} \quad (12)$$

В этом выражении в числителе первое слагаемое учитывает отпуск электроэнергии (по нему определяют электрический КПД установки), второе слагаемое обеспечивает учет когенерации и отпуска теплоты.

С помощью разработанных методических положений проведено исследование микро-ТЭС. Эксперименты показали, что утилизация теплоты дымовых газов во вновь устанавливаемом теплообменнике позволит увеличить  $\eta$  до ~0,5 (рис. 4).

Как было отмечено, некоторое снижение  $\eta$ -нетто с ростом отопительной нагрузки обусловлено работой вентилятора, обеспечивающего перекачку нагреваемого воздуха и доставку его потребителю, при этом рост отопительной нагрузки связан в первую очередь с увеличением электрической нагрузки.

Расход топлива во всех случаях неизменен и не превышает 700 г/час на нагрузках близких к номинальным, что соответствует ~500 г у.т / кВт·ч отпущаемой электроэнергии (рис. 5) [17].

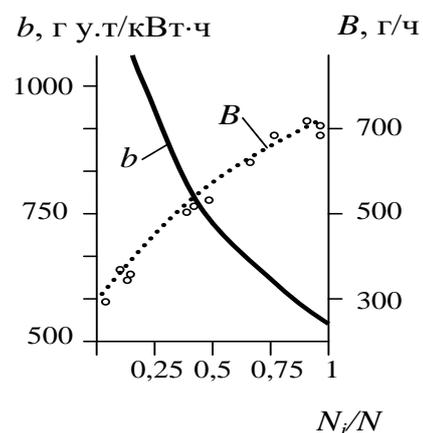


Рис. 5 – Удельный (b) и массовый (B) расход топлива теплоэнергетической установкой

Fig. 5 – Specific (b) mass (B) fuel consumption by HPP

носителя (газ, жидкое топливо, электроэнергия). Кроме того, для любой тепловой пушки требуется бензогенератор, так как ее конструкция предусматривает наличие электровентилятора для обеспечения нагне-



тания горячего воздуха. Для этих случаев технико-экономический эффект, который можно определить через затратный механизм (успешно применяется в современных исследованиях [18–20]), от когенерации

при стоимости бензина 30 руб./л, газа 18 руб./л, розничных ценах на оборудование и при 1 000 часах работы в год (например, 3–4 месяца работы строительной бригады на объекте) представлен на рис. 6.

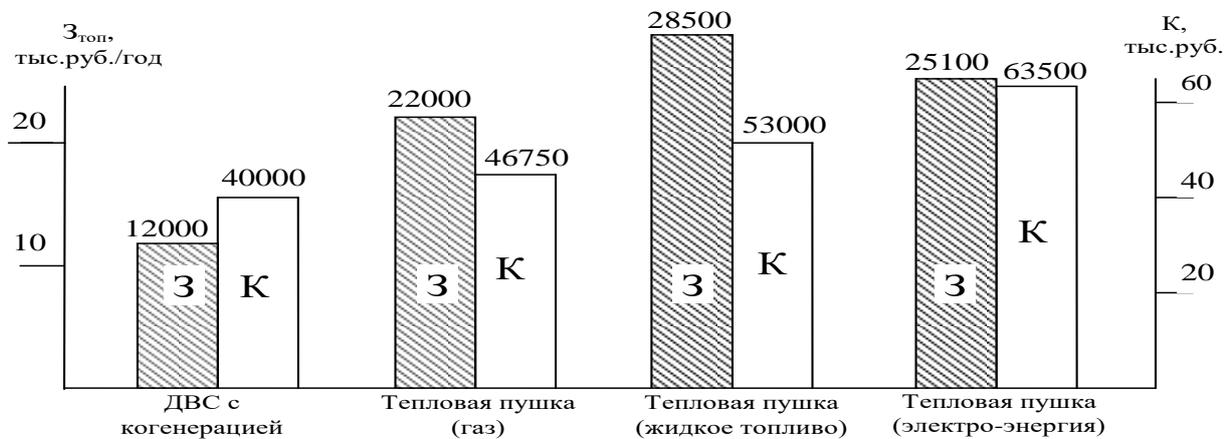


Рис. 6 – Переменная и капитальная составляющие эффекта от применения ДВС с воздушным охлаждением и когенерацией по сравнению с тепловыми пушками: З – затраты на топливо; К – капиталовложения

Fig. 6 – Variable and capital components of the effect from the use of ICE with air cooling and cogeneration in comparison with heat guns: З – fuel costs; К – investments

Расчеты [13] показали, что экономический эффект может составить от 40 тыс. руб. до 64 тыс. руб. при эксплуатации в течение 4 лет. Это означает, что при сложившейся конъюнктуре цен на топливо и розничных ценах на оборудование за счет экономии можно каждые четыре года полностью обновлять установку, даже при ее работе в течение 3–4 месяцев в год (см. рис. 6.).

### 5. Заключение

Основные положения методики исследования опытной когенерационной теплоэнергетической установки на базе карбюраторного ДВС с воздушным охлаждением заключаются в комплексном применении методов балансового анализа, экспериментального определения коэффициента теплоотдачи, технико-экономического анализа, а также методов структурного расчета.

Эффект от применения методики на различных нагрузках работы установки заключается в увеличении коэффициента использования теплоты топлива от 0,05 до 0,3. Когенерация для мини-ТЭС на базе ДВС с воздушным охлаждением после установки специального теплообменника для утилизации теплоты уходящих газов позволит увеличить коэффициент использования теплоты топлива до 0,5.

Бензогенератор с когенерацией эффективнее бензогенератора в сочетании с тепловой пушкой и за счет экономии затрат на топливо может обновляться каждые четыре года.

### Список литературы

- [1] Анализ рынка генераторов электроэнергии (электрогенераторов) бензиновых в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.giac.ru/PressRelease/PressReleaseShow.asp?id=523511>. – (Дата обращения: 20.05.2015).
- [2] Филиппов, С.П. Малая энергетика в России / С.П. Филиппов // Теплоэнергетика. – 2009. – № 8. – С. 38–44.
- [3] Кожуховский, И.С. Роль и перспективы деятельности технологической платформы «Малая распределенная энергетика» в развитии распределенной энергетики: презентация доклада / И.С. Кожуховский, О.А. Новоселова // Круглый стол ТП «Малая распределенная энергетика», 23 октября 2013 г. – Российское энергетическое агентство; ТП «Малая распределенная энергетика». – М., 2013. – 23 с.
- [4] Судавный, А.С. Развитие когенерации в контексте концепции интеллектуального распределения / А.С. Судавный // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – Вып. 8. – С. 117–120.
- [5] Ахтулова, Л.Н. Интеграционные технологии при создании малых электротехнических систем и комплексов на основе методологии когенерации / Л.Н. Ахтулова [и др.] // Омский научный вестник. – 2014. – № 2 (130). – С. 145–150.
- [6] Денисов-Винский, Н.Д. Мини-ТЭЦ как надежное средство решения проблемы энергообеспечения / Н.Д. Денисов-Винский // Энергобезопасность в документах и фактах. – 2007. – № 2 (14). – С. 10–18.
- [7] Ерофеев, В.Л. Термодинамические пределы энергоэффективности теплоэнергетических устано-



вок / В.Л. Ерофеев, А.С. Пряхин // Журнал университета водных коммуникаций. – 2013. – Вып. 2 (18). – С. 33–38.

[8] Казаков, А.В. Современное состояние когенерации в России: обзор публикаций, перспективные направления исследований / А.В. Казаков [и др.] // Теплофизические основы энергетических технологий: сборник научных трудов IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 10–12 октября 2013 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 104–106.

[9] Разуваев, А.В. Оптимизация эффективности газопоршневых энергетических установок в энергетическом комплексе / А.В. Разуваев, Д.А. Костин // Проблемы теплоэнергетики: сборник научных трудов по материалам XII международной научно-технической конференции, г. Саратов, 28–31 октября 2014 г. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2014. – Вып. 3. – С. 155–161.

[10] Баласанян Г.А., Дубровский В.А. Эффективность аккумулирования тепла для интегрированных систем энергоснабжения на базе установок когенерации малой мощности / Г.А. Баласанян, В.А. Дубровский // Труды Одесского политехнического университета. – 2008. – Вып. 1 (29). – С. 129–132.

[11] Тонкошкур, А.Г. Обоснование принципов тригенерации на основе комбинирования ГТУ с АБХМ / А.Г. Тонкошкур, Е.И. Муслимов // Проблемы теплоэнергетики: сборник научных трудов по материалам XII международной научно-технической конференции, Саратов, 28–31 октября 2014 г. – Саратов, 2014. – Вып. 3. – С. 203–206.

[12] Тепловая электростанция на базе ДВС: методические указания № 3204 / составители: Г.В. Ноздренко, Ю.И. Шаров, И.В. Бородихин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – 39 с.

[13] Щинников, П. А. Методические особенности исследования микро-ТЭС на базе двигателей внутреннего сгорания и когенерацией / П.А. Щинников, Д.С. Синельников // Теплофизика и аэромеханика. – 2017. – Т. 24. – № 1(103). – С. 161–166.

[14] Щинников, П.А. Энергоснабжение при малоэтажном строительстве при отсутствии инфраструктуры / П.А. Щинников, Д.С. Синельников // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2015. – № 7. – С. 58–64.

[15] Mikhaylenko, A.I. Experimental estimation of surface heat transfer coefficient for air-cooled internal combustion engine / P.A. Shchinnikov, A.I. Mikhaylenko, D.S. Sinelnikov // Proceedings of IFOST-2016. – 11th International Forum on Strategic Technology. – 2016. – P. 227–229.

[16] Григорьева, О.К. Расчет тепловых схем теплофикационных паротурбинных установок [Текст]. Методические указания / О.К. Григорьева, О.В. Борш. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 63 с.

[17] Леонтьев В.В. Избранные статьи: монография / науч. ред. Н.П. Литвинова. – СПб.: Невское время, 1994. – 366 с. – ISBN5-88260-008-1.

[18] Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов / руководители разработки: В.В. Коссов, В.Н. Лившиц, А.Г. Шахназаров. – М.: Экономика, 2000. – 422 с. – ISBN5-212-01987-6.

[19] Ноздренко, Г.В. Эксергетический анализ новых котельных технологий в составе энергоблоков ТЭС / Г.В. Ноздренко [и др.] // Теплофизика и аэромеханика. – 2009. – Т. 16. – № 2. – С. 331–340.

[20] Томилов, В.Г. Повышение технико-экономической эффективности ТЭЦ путем перехода на новые режимы работы с внутриквартальными теплонасосными установками / В.Г. Томилов [и др.] // Теплофизика и аэромеханика. – 2000. – Т. 7. – № 4. – С. 581–589.

## References

[1] Analysis of market power generators of gasoline in Russia (Analiz rynka generatorov elektroenergi (elektrogeneratorov) benzinovyh v Rossii [E-resource]. Available on: <http://www.giac.ru/PressRelease/PressReleaseShow.asp?id=523511> (05/20/2015.) (in Russ.).

[2] Fillipov S.P. Small-capacity power engineering in Russia (Malaya energetika v Rossii). *Thermal Engineering*, 2009;8:38–44 (in Russ.).

[3] Kozhukhovskiy J.S., Novoselova O.A. The key role and prospects of the technology platform “small-scale distributed power” in distributed power development: presentation of the report. Round table of the Russian technology platform. The “Small-scale distributed power” platform (RT 2)], Moscow, 23 October 2013, 23 p. (in Russ.).

[4] Sudavny A.S. Development in the context cogeneration concept of intellectual distribution (Razvitiyekogeneratsii v kontekste kontseptsii intellektual'nogo raspredeleniya). *News of the Tula State University. Technical sciences*, 2014;8:117–120 (in Russ.).

[5] Akhtulova L.N., Akhtulov A.L., Leonov E.N., Petukhova N.N., Smirnov S.I. Integration technologies at creation of small electrotechnical systems and complexes on the basis of methodology cogeneration (Integratsionnyetekhnologii pri sozdaniimalykh elektrotekhnicheskikh sistem i kompleksov na osnove metodologii kogeneratsii). *Omsk Scientific Bulletin*, 2014;2(130):145–150 (in Russ.).

[6] Denisov-Vinskii N.D. Mini-HEC as a well-trying remedy of the decision of a problem of power supply (Mini-TETs kak nadezhnoesredstvosheniya problemy energoobespecheniya). *Energy-Safety in Documents and Facts*, 2007;2(14):10–18 (in Russ.).

[7] Erofeev V.L., Pryakhin A.S. Thermodynamic limits of heat engines efficiency (Termodinamicheskie predely energoeffektivnosti teploenergeticheskikh ustanovok). *The Journal of University of Water Communications*, 2013;2(18):33–38 (in Russ.).

[8] Kazakov A.V., Zavorin A.S., Novosel'tsev P.Yu., Tabakaev R.B. The current state of cogeneration



in Russ.ia: review of publications, promising areas of research. Proceedings of the IV All-Russian scientific and practical conference with international participation "Thermophysical basis of energy technologies", Tomsk, 10–12 October 2013, pp. 321–329 (in Russ.).

[9] Razuvaev A.V., Kostin D.A. Optimizing the gas turbine power plants efficiency in the energy sector (Optimizatsiya effektivnosti gazoporshnevnykh energeticheskikh ustanovok v energeticheskom komplekse). Collection of scientific papers on materials of XII International scientific and technical conference "Problems of power engineering", Saratov, 28–31 October 2014, iss. 3, pp. 155–161 (in Russ.).

[10] Balasarian G.A., Dubrovsky V.A. Efficiency of heat accumulation for power supply integrated systems based on low-power co-generation units (Effektivnost' akkumulirovaniya tepla dlya integrirovannykh sistem energosnabzheniya na baze ustanovok kogeneratsii maloi moshchnosti). Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta, 2008;1(29):129–132 (in Russ.).

[11] Tonkoshkur A.G., Muslimov E.I. Justification principles trigeneration based on a combination of gas turbine with lithium bromide absorption chiller (Sbornik nauchnykh trudov po materialam XII mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Problemy teploenergetiki"). Collection of scientific papers on materials of XII International scientific and technical conference "Problems of power engineering", Saratov, 28–31 October 2014, iss. 3, pp. 203–206 (in Russ.).

[12] Nozdrenko G.V., Sharov Yu.I., Borodikhin I.V., compilers. Thermal power plant based on the internal combustion engine: methodical instructions no. 3204 (Teplovaya elektrostantsiya na baze DVS). Novosibirsk, NSTU Publ., 2008, 39 p. (in Russ.).

[13] Shchinnikov P.A., Sinelnikov D.S. Methodological specifics of the study of micro HPP based on internal combustion engines with air-cooling and cogeneration (Metodicheskie osobennosti issledovaniya mikroTES na baze dvigateley vnutrennego sgoraniya i kogeneratsiej). *Thermophysics and Aeromechanics*,

2017;24:159–164 (in Eng.) (Translated from *Teplofizika i aeromekhanika*, 2017;24(1):161–166) (In Russ.).

[14] Shchinnikov P.A., Sinelnikov D.S. Power supply in the low-rise construction in the lack of infrastructure (Energosnabzhenie pri maloetazhnom stroitel'stve pri otsutstvii infrastruktury). *News of higher educational institutions. Construction*, 2015;7:58–64 (in Russ.).

[15] Shchinnikov P.A., Mikhaylenko A.I., Sinelnikov D.S. Experimental estimation of surface heat transfer coefficient for air-cooled internal combustion engine. Proceedings of IFOST-2016. – 11<sup>th</sup> International Forum on Strategic Technology, 2016, pp. 227–229 (in Eng.).

[16] Grigorieva O.K., Borush O.V. Calculation of thermal schemes of heat and power steam turbines. Methodical guidelines (Raschet teplovykh skhem teplofikatsionnykh paroturbinnnykh ustanovok. Metodicheskie ukazaniya). Novosibirsk, NSTU Publ., 2014, 63 p. (in Russ.).

[17] Leont'ev V.V. Selected articles (Izbrannyestat'i: monografiya). St. Petersburg, Nevskoevremya Publ., 1994, 366 p. (in Russ.).

[18] Kossov V.V., Livshits V.N., Shakhnazarov A.G., heads of creators. Guidelines for evaluating the effectiveness of investment projects (Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proektov). Moscow, Ekonomika Publ., 2000. 422 p. (In Russ.).

[19] Nozdrenko G.V., Shchinnikov P.A., Serant F.A., Tomilov V.G., Zytkova N.G., Kovalenko P.Yu., Russkikh E.E. Exergic analysis of new boiler technologies within power-generating units of thermal power plant. *Thermophysics and Aeromechanics*, 2009;16(2):315–323 (in Eng.). Translated from *Teplofizika i aeromekhanika*, 2009;16(2):331–340 (in Russ.).

[20] Tomilov V.G., Nozdrenko G.V., Shchinnikov P.A., Pugach Yu.L. Improvement in technical and economical efficiency of combined heat and power plants using new operation regimes with regional heat pumps. *Thermophysics and Aeromechanics*, 2000;7(4):551–558 (in Eng.) Translated from *Teplofizika i aeromekhanika*, 2000;7(4):581–589 (in Russ.).

Транслитерация по BSI