

УДК 697.32:621.18

**Э. И. ДМИТРОЧЕНКОВА**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

**АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ  
УСТАНОВОК НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И  
КОТЛОАГРЕГАТА НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ**

Сравнительный анализ экономической эффективности проведен для двух тепловых схем когенерационных установок (КГУ) на базе двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и теплогенератора на твердом топливе. Установлено, что использование уходящих газов ДВС для сжигания твердого топлива в топочной камере котла позволяет повысить экономическую эффективность предложенной КГУ за счет уменьшения затрат на твердое топливо, а также снижения платы за выбросы. А так как при сокращении расхода топлива уменьшается количество загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, то имеет место предотвращенный экологический ущерб. В итоге суммарная экономическая эффективность схемы А по отношению к схеме Б определена как сумма снижения годовых затрат на твердое топливо и предотвращенного экологического ущерба.

**когенерационная установка, расход твердого топлива, плата за выбросы, предотвращенный экологический ущерб**

**ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Жилищно-коммунальное хозяйство является неотъемлемой частью топливно-энергетического комплекса государства и потребляет до 30 % всего годового объема топливно-энергетических ресурсов страны [1, 2]. Поэтому одной из основных тенденций научно-технического направления в коммунальной теплоэнергетике является экономия и снижение расхода топлива при выработке теплоты, которое может быть достигнуто за счет использования когенерационных технологий. Но прежде чем сделать выбор конструкции конкретной КГУ необходимо сравнить их как энергетические, так и экономические показатели.

**ЦЕЛЬ СТАТЬИ И ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

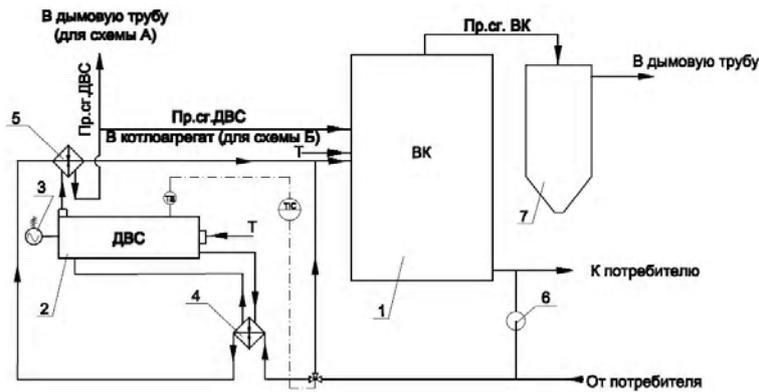
Данная работа посвящена анализу экономической эффективности использования различных схем КГУ на базе двигателя внутреннего сгорания и котлоагрегата на твердом топливе.

**ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Для проведения анализа предложены тепловые схемы когенерационной установки, приведенные на рис. 1. Принцип их работы описан в [3].

В качестве генераторов теплоты выбраны котлоагрегаты KRIGER мощностью 0,3; 0,5; 0,8 МВт [4] (г. Житомир, Украина), а также марки Гефест мощностью 1,8 и 2,5 МВт [5] производства ОАО «Бийский котельный завод» (Россия), использующие в качестве топлива уголь марки ЖР Донецкого угольного бассейна [6]. При этом количество вырабатываемой электрической энергии оставалось постоянным – 200 кВт. В результате исследования проведены для следующего ряда соотношений  $N_T/N_{\text{э}} = 1,5; 2,5; 4,1; 9,4; 13,2$ .

Повышение экономической эффективности предложенной КГУ (схема А) может быть достигнуто за счет уменьшения затрат на твердое топливо, а также снижения платы за выбросы.



**Рисунок 1** – Тепловые схемы когенерационной установки на базе двигателя внутреннего сгорания и теплогенератора с двумя утилизаторами теплоты: 1 – водогрейный котлоагрегат; 2 – двигатель внутреннего сгорания; 3 – электрогенератор; 4 – теплообменник системы охлаждения двигателя типа «вода – вода»; 5 – теплообменник охлаждения продуктов сгорания ДВС типа «газ – вода»; 6 – рециркуляционный насос; 7 – циклон; Т – подача топлива в ДВС и теплогенератор.

На расход топлива в котлоагрегате при работе когенерационных установок по предложенным схемам оказывают влияние температура воды на входе, а также количество теплоты, дополнительно внесенное в топочную камеру с продуктами сгорания дизельного топлива.

Температура воды, °С, на входе в водогрейный котлоагрегат с учетом работы когенерационной установки определяется из выражения

$$t_{cm} = \frac{G_1 \cdot t_4 + G_{ТГУ} \cdot t_2}{G_1 + G_{ТГУ}}, \quad (1)$$

где  $G_1, G_{ТГУ}$  – расход воды соответственно через утилизационные теплообменные аппараты и котлоагрегат, кг/ч;  
 $t_4$  – температура воды на выходе из утилизационного аппарата системы охлаждения двигателя, °С;  
 $t_2$  – температура воды на входе в котлоагрегат, °С;

Расход твердого топлива котлоагрегатом при работе по схеме А, кг/ч

$$B_{ТТ} = \frac{G_{ТГУ} \cdot c_p \cdot (t_1 - t_{cm})}{Q_{H(ТТ)}^p \cdot \eta}, \quad (2)$$

где  $c_p$  – средняя массовая изобарная теплоемкость воды, кДж/(кг·град);  
 $t_1$  – температура воды на выходе из котлоагрегата, °С;  
 $Q_{H(ТТ)}^p$  – низшая теплота сгорания твердого топлива, кДж/кг;  
 $\eta$  – КПД котлоагрегата.

При работе когенерационной установки по схеме Б необходимый расход топлива может быть рассчитан по формуле

$$B_{ТТ} = \frac{G_{ТГУ} \cdot c_p \cdot (t_1 - t_{cm}) - Q_{пр.сг.ЖТ} \cdot 3600}{\eta \cdot Q_{H(ТТ)}^p}, \quad (3)$$

где  $Q_{пр.сг.ЖТ}$  – тепловая мощность продуктов сгорания дизельного топлива в ДВС, кДж/с.

Результаты расчета расхода топлива указанными котлоагрегатами при работе когенерационной установки по схемам А и Б приведены в таблице 1.

Следует отметить, что с увеличением мощности котлоагрегата температура воды на входе в него уменьшается и при мощности 1,8 и 2,5 МВт практически равна исходной.

Размер годовых затрат на твердое топливо определяется по формуле

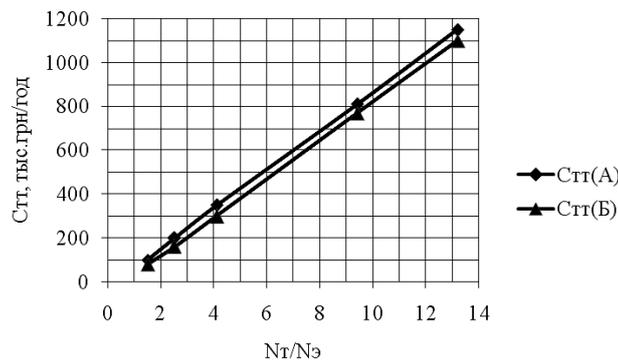
$$C_{ТТ} = B_{ТТ} \cdot Ц, \quad (4)$$

**Таблица 1** – Расход топлива котлоагрегатами в схемах А и Б

Мощность котлоагрегата, МВт	G <sub>ТГУ</sub> , кг/ч	G <sub>КУ</sub> , кг/ч	t <sub>2</sub> , °C	t <sub>см</sub> , °C	t <sub>1</sub> , °C	η	B <sub>ТТ(А)</sub> , кг/ч	B <sub>ТТ(Б)</sub> , кг/ч
0,3	10 300	5 040	60	63,3	85	0,83	48,68	40
0,5	17 200	5 040	60	62,3	85	0,83	84,86	75,42
0,8	28 200	5 040	60	61,5	85	0,83	143,98	133,42
1,8	64 000	5 040	60	60,7	85	0,83	335,84	323,43
2,5	90 000	5 040	60	60,5	85	0,83	476,17	461,78

где  $B_{ТТ}$  – годовой расход твердого топлива, т/год;  
 $C$  – стоимость 1 тонны, тыс. грн./т.

Результаты расчета годовых затрат на твердое топливо приведены на рис. 2.



**Рисунок 2** – Зависимость годовых затрат на твердое топливо ( $C_{ТТ}$ ) при работе КГУ по схемам А и Б от соотношения  $N_{Т}/N_{Э}$ :  $C_{ТТ(А)}$  – годовые затраты на твердое топливо для схемы А когенерационной установки;  $C_{ТТ(Б)}$  – годовые затраты на твердое топливо для схемы Б когенерационной установки.

Результаты расчета снижения затрат на твердое топливо, тыс. грн. / год, представлены в таблице 2.

**Таблица 2** – Снижение годовых затрат на твердое топливо

$N_{Т}/N_{Э}$	1,5	2,5	4,1	9,4	13,2
$\Delta C_{ТТ} = C_{ТТ(А)} - C_{ТТ(Б)}$ , тыс. грн. / год	36	37,8	39,6	45,9	49,5

Сумма сбора за выбросы источником загрязнения окружающей среды  $\Pi_{В}$  определяется в соответствии с утвержденной методикой [7] по формуле

$$\Pi_{В} = \sum_{i=1}^N (M_i \cdot H_{\delta i} \cdot K_{нас} \cdot K_{\phi}), \quad (5)$$

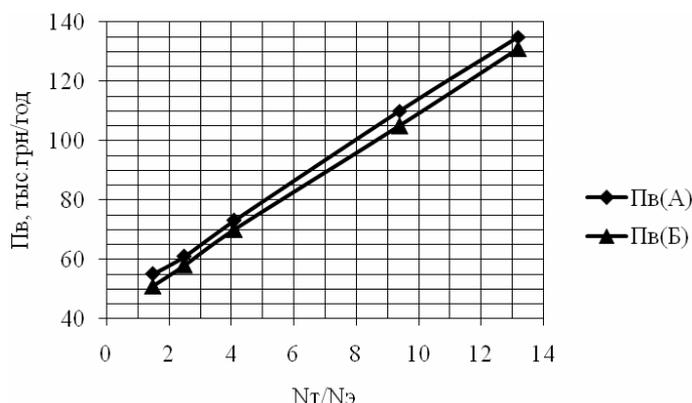
где  $M_i$  – объем выбросов  $i$ -го загрязняющего вещества, т;  
 $H_{\delta i}$  – норматив сбора за тонну  $i$ -го загрязняющего вещества, грн./т;  
 $K_{нас}$  – коэффициент, учитывающий численность жителей населенного пункта;  
 $K_{\phi}$  – коэффициент, учитывающий народно-хозяйственное значение населенного пункта.

Результаты расчетов суммы сбора за выбросы при работе когенерационной установки по схемам А и Б при различных соотношениях  $N_{Т}/N_{Э}$  приведены на рис. 3.

Как и следовало ожидать, с увеличением мощности используемого в схеме теплогенератора, а следовательно, и увеличением количества выбросов сумма сбора за них возрастает. В схеме Б наблюдается уменьшение размера платы за выбросы за счет снижения расхода твердого топлива.

Так как в результате использования продуктов сгорания двигателя в теплогенераторе для сжигания твердого топлива уменьшилось количество загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, то, следовательно, имеет место предотвращенный экологический ущерб, величины которого приведены в таблице 3.

Суммарная экономическая эффективность схемы Б по отношению к схеме А при различных соотношениях  $N_{Т}/N_{Э}$  представлена в таблице 4.



**Рисунок 3** – Зависимость суммы сбора за выбросы ( $P_B$ ) при работе КГУ по схемам А и Б от соотношения  $N_T/N_{Э}$ ;  $P_B(A)$  – сумма сбора за выбросы в зависимости от соотношения  $N_T/N_{Э}$  для схемы А;  $P_B(B)$  – сумма сбора за выбросы в зависимости от соотношения  $N_T/N_{Э}$  для схемы Б.

**Таблица 3** – Предотвращенный экологический ущерб

$N_T/N_{Э}$	1,5	2,5	4,1	9,4	13,2
$\Delta P_B = P_{B(A)} - P_{B(B)}$ , тыс. грн. / год	3,1	3,2	3,4	4	4,2

**Таблица 4** – Суммарная экономическая эффективность при работе КГУ по схеме Б по отношению к схеме А

$N_T/N_{Э}$	1,5	2,5	4,1	9,4	13,2
$\mathcal{E} = \Delta P_B + \Delta C_{ТТ}$ , тыс. грн. / год	39,1	41,0	43,0	49,9	53,7

### ВЫВОДЫ

По результатам анализа экономической эффективности предложенных когенерационных установок для различных соотношений  $N_T/N_{Э}$  установлено, что предотвращенный экологический ущерб за счет сокращения количества вредных выбросов при использовании продуктов сгорания ДВС в топочной камере теплогенератора составил от 3,1 до 4,2 тыс. грн. / год, а экономический эффект за счет сокращения затрат на твердое топливо достигает 49,5 тыс. грн. / год. При этом суммарный экономический эффект от внедрения предложенной тепловой схемы при соотношении  $N_T/N_{Э}$  в диапазоне от 1,5 до 13,2 изменяется в пределах от 39,0 до 53,7 тыс. грн. / год.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрийчук, Н. Д. Пути совершенствования систем теплоснабжения [Текст] : монография / Н. Д. Андрийчук, В. И. Соколов, А. А. Коваленко. – Луганск : Изд-во Восточноукраинского нац. ун-та, 2003. – 244 с.
2. Лук'янов, О. В. Деякі аспекти теплопостачання населених пунктів в Україні [Текст] / О. В. Лук'янов // Коммунальное хозяйство городов. – К. : «Техника», 2004. – Вып. 42. – С. 118–120.
3. Дмитроченкова, Э. И. Анализ эксергетической эффективности когенерационных установок на базе двигателя внутреннего сгорания и котлоагрегата на твердом топливе [Текст] / Э. И. Дмитроченкова // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2013. – Том 9, номер 2. – С. 97–104. – ISSN 1993-3495.
4. Котельное оборудование ТД «KRIGER» [Текст] : каталог. – Житомир, 2010. – 6 с.
5. Котельное оборудование ОАО «Бийский котельный завод» [Текст] : каталог. – Бийск, 2009. – 16 с.
6. Роддатис, К. Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности [Текст] / К. Ф. Роддатис. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 488 с.
7. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами [Текст] / Государственный комитет по гидрометеорологии и контролю природной среды. – Л. : Гидрометеоздат, 1986. – 183 с.

Получено 04.10.2013

Е. І. ДМИТРОЧЕНКОВА

АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК  
НА БАЗІ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ТА КОТЛОАГРЕГАТУ НА  
ТВЕРДОМУ ПАЛИВІ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Порівняльний аналіз економічної ефективності проведено для двох теплових схем когенераційних установок (КГУ) на базі двигуна внутрішнього згорання і теплогенератора на твердому паливі. Встановлено, що використання газів, які відходять від ДВЗ, для спалювання твердого палива в топковій камері котлоагрегату дозволяє підвищити економічну ефективність запропонованої КГУ за рахунок зменшення витрат на тверде паливо, а також зниження плати за викиди. А оскільки при скороченні витрат палива зменшується кількість забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу, то має місце запобіжний екологічний збиток. У результаті сумарна економічна ефективність схеми А по відношенню до схеми Б визначена як сума зниження річних витрат на тверде паливо і запобіжного екологічного збитку.

**когенераційна установка, витрата твердого палива, плата за викиди, запобіжний екологічний збиток**

ELLA DMITROCHENKOVA

ANALYSIS OF ECONOMIC EFFICIENCY OF COGENERATION PLANT ON THE  
BASIS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE AND FOR SOLID FUEL  
BOILER

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The comparative analysis of economic efficiency for two thermal charts of cogeneration plants on the base of an internal combustion engine and for solid fuel boiler have been carried out. It has been set that the use of get-away gases of combustion engine for incineration of hard fuel in the fire-box chamber of caldron allows to promote economic efficiency of the offered cogeneration plant due to diminishing of expenses on a hard fuel, and also declines of paying for extras. And because the amount of contaminants, entering atmosphere diminishes at reduction of expense of fuel, the prevented ecological harm takes place. In the total economic efficiency of chart A in relation to a chart Б certain as a sum of decline of annual expenses on a hard fuel and prevented ecological harm.

**cogeneration plant, expense of hard fuel, paying for extras, prevented ecological harm**

**Дмитроченкова Елла Ігорівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: підвищення ефективності систем теплопостачання за рахунок використання когенераційних технологій

**Дмитроченкова Элла Игоревна** – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: повышение эффективности систем теплоснабжения за счет использования когенерационных технологий.

**Dmitrochenkova Ella** – PhD (Eng.), an Associate Professor, Heating Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interest: increase of efficiency of the systems of heat supply due to the use of cogeneration technologies.