

**А.В. ШУШЛЯКОВ<sup>1</sup>, А.И. БОНДАРЬ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры, г. Харьков

<sup>2</sup>Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, г. Киев

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

*В статье рассмотрены вопросы снижения энергоемкости и повышения экологической эффективности процессов получения тепловой энергии.*

В соответствии с Государственной целевой экономической программой энергоэффективности на 2010 – 2015 годы, утвержденной Постановлением Кабинета Министров Украины № 243 от 01.03.2010 г., предусмотрено снижение уровня энергоемкости ВВП на 20%. Чтобы добиться такого показателя, необходимо будет уменьшить расход газа на выработку тепловой энергии для отопления жилых домов на 60%, а зданий бюджетных организация – на 35%.

В настоящее время при получении, транспортировании и использовании тепловой энергии в существующих системах теплоснабжения потери тепловой энергии составляют 40% – 60% [1], а эффективность работы (КПД) котлов котельных жилищно-коммунальных хозяйств (ЖКХ) в среднем не превышают 50% – 70% [2]. Потери тепловой энергии наружными тепловыми сетями составляют до 18%, а потери тепла у потребителей – 22% [1].

Причинами такой низкой энергоэффективности является: устаревшее и изношенное оборудование источников тепловой энергии; отсутствие автоматики управления режимом горения топлива или ее низкий уровень; изношенные системы трубопроводов и в связи с этим сверхнормативные потери теплоносителя; неэффективные гидро- и тепловая изоляция. Перечисленные причины снижения энергетической эффективности систем теплоснабжения (СТС) являются характерными для всех городов Украины.

С целью повышения энергоэффективности СТС необходимо сравнить разные схемы теплоснабжения и выявить какие схемы СТС могут обеспечить максимальную энергоэффективность после их реконструкции.

Для сравнения СТС в качестве критерия оценки совершенства конструкции их элементов примем КПД, а для оценки совершенства всей системы теплоснабжения необходимо определить КПД всех технологических переделов, в том числе: КПД источника тепловой энергии -  $\eta_1$ ; КПД систем, подведомственных потребителю, -  $\eta_2$ ; КПД СТС групповых (крышных) котельных -  $\eta_3$ ; КПД внутриквартальных СТС -  $\eta_4$ ; КПД районных СТС -  $\eta_5$ ; КПД межрайонных СТС -  $\eta_6$ .

Сравним КПД разных схем теплоснабжения. Данные для сравнения приведены в таблице.

**Таблица.** КПД разных схем систем теплоснабжения

№ пп	Наименование схем систем теплоснабжения	Общий КПД СТС
1	Индивидуальные СТС	$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2$
2	СТС от групповых (крышных) котельных	$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$

3	СТС от квартальных котельных	$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$
4	СТС от районных котельных	$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5$
5	СТС от межрайонной ТЭЦ	$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot \eta_6 \cdot \mu$
6	Индивидуальные СТС с мини ТЭЦ	$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_6 \cdot \mu$

КПД любого передела СТС можно рассчитать по формуле:

$$\eta_i = \frac{Q_i - \Delta Q_i}{Q_i} < 1,$$

где:  $Q_i$  – количество тепловой энергии на входе в  $i$ -й технологический передел;

$\Delta Q_i$  – потери тепловой энергии на  $i$ -м технологическом переделе;

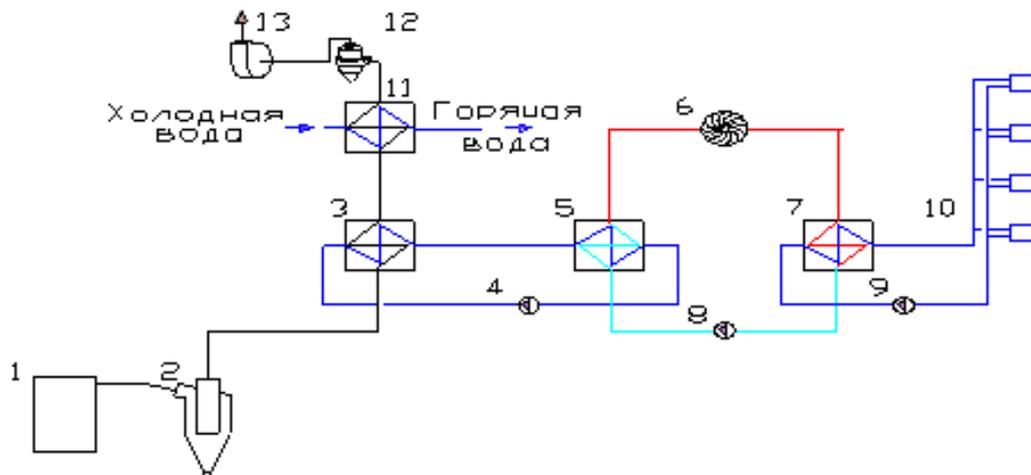
$\eta_6$  – КПД комбинированной выработки тепловой и электрической энергии;

$\mu$  – доля выработанной энергии, расходуемой на собственные нужды ТЭЦ.

Из приведенных формул КПД разных схем СТС видно, что чем больше технологических переделов, тем меньше общий КПД СТС. Тогда, очевидно, что индивидуальные системы теплоснабжения при равных КПД источников тепловой энергии всегда будут иметь более высокую энергоэффективность. Исключение могут составлять СТС от ТЭЦ, так как комбинированная выработка тепловой и электрической энергии повышает общий КПД СТС, а концентрация мощности источника тепловой энергии позволяет уменьшить расходы на их эксплуатацию. Кроме того, повышается экологическая эффективность СТС за счет того, что на ТЭЦ очистка газов перед выбросом их в атмосферу осуществляется с помощью многоступенчатой системы газоочистки.

Практический интерес представляют индивидуальные СТС с мини ТЭЦ. Такие схемы СТС найдут широкое применение в фермерских хозяйствах, санаторных комплексах, базах отдыха и в рекреационных зонах, а также на объектах, удаленных от систем газо- и электроснабжения.

Схема СТС с мини ТЭЦ показана на рис. 1.



**Рис.1.** Схема индивидуальной СТС с мини ТЭЦ

1 – генератор тепловой энергии; 2 – пылеуловитель; 3 – газовойдяной теплообменник; 4 – насос; 5 – водожидкостной теплообменник; 6 – турбина; 7 – газовойдяной теплообменник; 8, 9 – насос; 10 – система теплоснабжения; 11 – газовойдяной теплообменник; 12 – вихревой турбулентный промыватель с устройством для генерации импульсных коронных разрядов; 13 – вентилятор.

Принцип работы индивидуальных СТС с мини ТЭЦ заключается в следующем. В генераторе тепловой энергии (ГТЭ) 1 сжигается топливо, например, дрова, торф, уголь, отходы переработки сельхозпродукции или ТБО. Дымовые газы, удаляемые от ГТЭ, очищаются от взвешенных примесей с помощью механических устройств для очистки газа (циклонов, слоевых и других фильтров) 2. А затем поступают в газовойдяной теплообменник 3, в котором нагревается вода до температуры не выше 100 °С. Нагретая вода насосом подается в водожижкостной теплообменник 5, в котором легко испаряющаяся жидкость превращается в пар. Пар поступает в турбину 6, с помощью которой вращается генератор, вырабатывающий электроэнергию. Пар после турбины 6 поступает в газовойдяной теплообменник 7, конденсируется и с помощью насоса 8 жидкость возвращается в водожижкостный теплообменник 5, а нагретая в теплообменнике 7 теплофикационная вода насосом 9 подается в систему теплоснабжения 10.

Дымовые газы после пылеуловителя 2 и газовойдяного теплообменника 3 поступают в теплообменник 11, в котором газ охлаждается до температуры ниже температуры мокрого термометра и нагревается вода. При этом происходит конденсация паров воды, содержащихся в дымовых газах, с выделением скрытой теплоты парообразования и адсорбцией воднорастворимых газов CO, HF, SO<sub>2</sub>, Cl и других газов каплями конденсата. Явное тепло газов и скрытая теплота парообразования расходуются на подогрев воды в теплообменнике 11. Нагретая вода может использоваться на хозяйственно-бытовые нужды или подаваться в СТС 10.

После газовойдяного теплообменника 11 газ вместе с капельной жидкостью поступает в вихревой турбулентный промыватель с устройством для генерации импульсных высокочастотных коронных разрядов [3]. Принцип работы вихревых турбулентных промывателей (ВТП) разных модификаций приведен в [3, 7-9]. Особенностью ВТП с устройством для импульсных высокочастотных коронных разрядов (ВТПКР) заключается в том, что в бункере, в рабочей и сепарационной камерах генерируется коронный разряд с частотой 10<sup>-9</sup> секунд. При этом молекулы очищаемых газа и жидкости подвергаются прямому воздействию высокочастотного электромагнитного поля. При генерации коронного разряда образуются озон, радикалы ОН, ультрафиолетовое излучение, которые воздействуют на ионы тяжелых металлов и молекулы других загрязняющих веществ, приводят к диссоциации молекул с последующей их рекомбинацией и образованием новых безвредных соединений. Образующиеся при этом твердые вещества, в том числе, тяжелые металлы, осаждаются в бункере ВТПКР, а очищенные и охлажденные газы выбрасываются в атмосферу.

Для предотвращения загрязнения окружающей среды использованная вода удаляется из бункера ВТПКР, очищается и многократно используется в системе локального оборотного водоснабжения [7, 8, 9].

На основании изложенного очевидно, чтобы выполнить Постановление Кабинета Министров Украины № 243 от 01.03.2010 г. необходимо повысить КПД всех схем СТС, в том числе КПД источников тепловой энергии повысить до 92% – 96%, КПД наружных тепловых сетей – до 92% – 93%, а потери тепла у потребителей тепловой энергии необходимо снизить до 1% – 1,5%. Такие задачи могут быть решены за счет следующих мероприятий:

1) У всех потребителей тепловой энергии необходимо повысить энергоэффективность зданий (утеплить ограждающие конструкции, заменить неэффективные инженерные сети: отопление, вентиляция, водоснабжение, водоотведение).

2) Заменить устаревшие трубы СТС на трубы из полимерных материалов с предизоляцией.

3) Максимально автоматизировать процесс получения (выработки) и рационального использования тепловой энергии.

4) Повсеместно внедрять утилизацию тепловой энергии инженерных систем, лабораторного, торгового и офисного оборудования.

5) Повысить КПД источников тепловой энергии, в том числе нетрадиционных источников воспроизводимой энергии.

Перечисленные мероприятия могут не только уменьшить непроизводительные потери энергии, снизить энергоемкость технологических процессов, но и повысят комфорт в жилых и общественных зданиях.

Для повышения энергоэффективности источников тепловой энергии была предложена конструкция генератора тепловой энергии с двумя зонами пиролиза, в которой реализуется новый способ сжигания твердого топлива [10].

Отличительной особенностью предложенного ГТЭ с двумя зонами пиролиза заключается в том, что воздух на горение топлива нагревается до  $600\text{ }^{\circ}\text{C} - 650\text{ }^{\circ}\text{C}$  и подается равномерно распределенным потоком на слой топлива по схеме «сверху – вниз».

Схема процесса горения топлива показана на рис. 2.

Показанная на рис. 2. схема процесса горения топлива в ГТЭ с двумя зонами пиролиза может быть дополнена уравнениями взаимодействия углерода с кислородом в разных слоях топлива по направлению движения горячего воздуха.

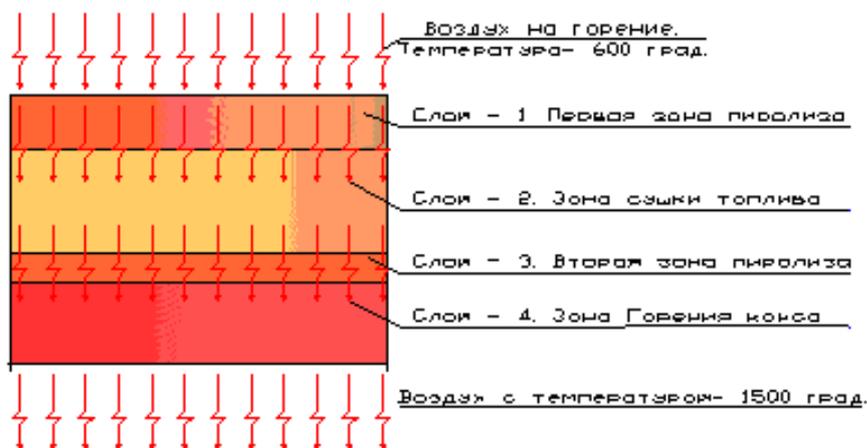


Рис. 2. Схема процесса горения в топке генератора тепловой энергии с двумя зонами пиролиза

Приведенные ниже уравнения свидетельствуют о том, что взаимодействие углерода с кислородом представляет сложный, часто обратимый процесс. А при определенной температуре (выше  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) образуется значительное количество твердой композиции из углерода и кислорода  $\text{C}_x\text{O}_y$ . На прилагаемом рис. 2 показаны слои топлива при установившемся процессе горения в топке с двумя зонами пиролиза.

Первый слой - первая зона пиролиза:

Граничные условия:

$$\tau = 0; t = \text{Const} (600^{\circ}\text{C}); X = 0; Y = 0.$$

Уравнения взаимодействия углерода с кислородом при пиролизе топлива:



Граничные условия на выходе из первого слоя:

При  $y = y_1$ ;  $\tau = \tau_1$ ;  $t \leq t_n$  (температура пиролиза)

$$x = x_i; y = y_1$$

Второй слой – зона сушки:

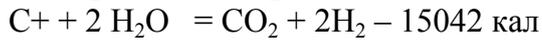
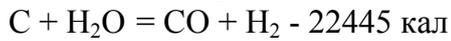
Граничные условия

При  $y = y_1$   $t \leq t_n$ ;  $x_2 = 0$ ;

При  $y = y_2$ ;  $t \geq t_n$  (температура пиролиза)

$$x_2 = x_i; y = y_2$$

Уравнения взаимодействия углерода с кислородом в зоне сушки:



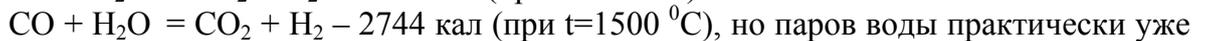
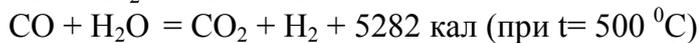
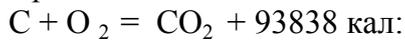
Граничные условия на входе в третий слой (во вторую зону пиролиза) :

При  $y = y_2$ ;  $t \geq t_n$  (температура пиролиза);  $x_3 = 0$ ;

При  $y = y_3$ ;  $t \leq t_r$ ; (температура горения)

$$x_3 = x_i; y = y_3$$

Уравнения взаимодействия углерода с кислородом во второй зоне пиролиза:



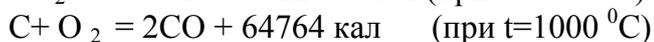
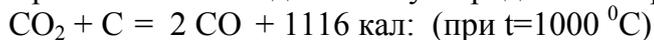
нет. Химические реакции и диссоциация  $H_2O$  ассимилируют всю воду.

Граничные условия на входе в четвертый слой (в зону горения):

При  $y = y_3$ ;  $t \leq t_r$  (температура горения);  $x_4 = 0$ ;

При  $y = y_4$ ;  $t \geq t_r$ ; (температура горения)  $x_4 = x_i$ ;  $y = y_4$ .

Уравнения взаимодействия углерода с кислородом в зоне горения:



В зоне горения скорость диффузии  $CO_2$  к поверхности углерода  $C$  в уравнении  $CO_2 + C = 2CO$  больше скорости реакции и образования  $2CO$ , поэтому определяющим фактором является скорость реакции. А скорость реакции  $C + O_2 = 2CO$  очень большая по сравнению со скоростью диффузии кислорода  $O_2$  к поверхности углерода  $C$ , поэтому в этом процессе определяющим фактором является – скорость диффузии.

Принято считать, что у поверхности топлива имеется пограничный слой, который препятствует (снижает) скорость диффузии  $O_2$  к углероду.

В зоне горения продукты пиролиза проникают через слой раскаленного кокса. При этом кроме  $CO$  и  $CO_2$  может образовываться значительное количество твердых углеродно-кислородных комплексов  $C_xO_y$  по схеме  $C + CO_2 \rightarrow CO + CO_{\text{твердый}}$ .

Комплекс  $CO_{\text{твердый}}$  может быстро превращаться в газообразное соединение  $CO$ . Количество твердых комплексов зависит от температуры, времени контакта кокса  $C$  с  $CO_2$ , а также от концентрации  $CO$  и  $CO_{\text{твердый}}$ .

При температуре менее  $1300 \text{ } ^\circ\text{C}$  скорость сгорания углерода в кислороде пропорциональна давлению кислорода, а соотношение  $CO_2 : CO = 1$  - не зависит от давления и температуры. Схема реакции имеет вид:  $4C + 3O_2 = 2CO_2 + 2CO$ .

При температуре больше  $1300 \text{ } ^\circ\text{C}$  скорость сгорания углерода не зависит от давления кислорода и от растворения его в углероде. В этой зоне температур соотношение  $CO_2 : CO = 0,5$ , а схема реакции имеет вид:  $3C + 2O_2 = CO_2 + 2CO$ .

На основании изложенного очевидно, что процесс горения углерода в топках с двумя зонами пиролиза сложнее классического сжигания топлива слоевым способом.

В первой зоне пиролиза (рис. 2) производится нагрев частиц воздуха, нагрев и испарение влаги, содержащейся в топливе, и пиролиз топлива. Исследование скорости распространения фронта влажности и фронта температур в слое топлива представляет научный интерес, но в данной статье будем принимать условие, что их скорости одинаковые. Пока частица топлива не высохнет, она не воспламеняется.

В первой зоне пиролиза будут выделяться пары воды и газообразные продукты пиролиза, например, С, Н, Н<sub>2</sub>О. На нагрев компонентов топлива и пиролиз, а также на образование СО будет расходоваться тепловая энергия воздуха, поэтому температура паро-газо-воздушной смеси по направлению движения будет понижаться.

Нижняя граница первой зоны пиролиза заканчивается там, где температура слоя топлива будет равна или меньше температуры пиролиза.

Ниже первой зоны пиролиза располагается зона сушки, в которой происходит нагрев топлива, влаги и испарение влаги. Температура этого слоя топлива по ходу паро-газо-воздушной смеси вначале будет уменьшаться до некоторой минимальной температуры, а затем увеличиваться снова до температуры пиролиза. Высота слоя сушки равна расстоянию между условными поверхностями в слое топлива с температурами, равными температуре пиролиза.

Ниже слоя сушки и выше зоны горения располагается вторая зона пиролиза. Температура во второй зоне пиролиза изменяется от температуры горения (снизу слоя) до температуры пиролиза сверху слоя. В этой зоне происходит выделение из топлива всех сгораемых компонентов (кроме кокса и золы).

Продукты пиролиза (С, СО, СО<sub>2</sub>, СН<sub>4</sub>, Н, SO<sub>2</sub>), содержащиеся в топливе поступают и сгорают в зоне горения. При этом температура в зоне горения может быть выше 1500 °С. В этой зоне образуется слой раскаленного кокса топлива, через который проходят перечисленные продукты пиролиза и пары воды. Пары воды при температуре 1500 °С диссоциируют на кислород и водород, которые активно вступают в реакции с компонентами пиролиза, у которых энергетические межмолекулярные связи меньше, чем у азота. Из-за дефицита свободных молекул кислорода в зоне высоких температур при этом способе сжигания топлива будет меньше образовываться оксидов азота.

При прохождении газообразных продуктов пиролиза топлива через слой раскаленного кокса будет происходить полное сгорание вредных примесей, способных гореть, в том числе SO<sub>2</sub>, без(α)пирена и других, а молекулы негорючих компонентов будут диссоциироваться и после их рекомбинации полученные вещества не будут представлять опасности.

Такая схема сгорания топлива особенно целесообразна при сжигании угля, торфа и отходов переработки сельскохозяйственной продукции, в которых содержатся такие примеси, как хлор, сернистый ангидрид, фтор, щелочные металлы и другие.

Анализ схемы горения топлива в топках и экспериментальные исследования ГТЭ с двумя зонами пиролиза подтверждают следующее:

1) При таком способе сгорания топлива отсутствуют потери тепловой энергии за счет химического и механического недожога.

2) В атмосферу выбрасываются в основном СО<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>, причем количество NO<sub>x</sub> образуется меньше, чем при традиционном способе сжигания топлива.

3) ГТЭ с двумя зонами пиролиза могут использоваться в качестве предтопок для перевода газовых котлов в котлы, работающие на любом топливе.

4) Экономия топлива при использовании предложенных генераторов тепловой энергии с двумя зонами пиролиза и глубоким охлаждении дымовых газов составляет 25% - 30% по сравнению с существующими твердотопливными котлами.

Использование комплекта оборудования (генераторов тепловой энергии или котлов с двумя зонами пиролиза, вихревых турбулентных промывателей с устройством для генерации импульсных коронных разрядов и мини ТЭЦ) позволит повысить энергоэкологическую и экономическую эффективность процесса выработки тепловой энергии.

1. Лукьянов А.В. Теоретические основы и способы повышения энергоэкологических характеристик теплогенераторов для локальных систем теплоснабжения: автореф. дис. на соиск. научн. степени доктора техн. наук: 05.23.03 / А.В. Лукьянов. – Макеевка, 2008. – 26 с.

2. Лук'янов О.В. Деякі аспекти теплопостачання населених пунктів в Україні // Коммунальное хозяйство городов. Научн.-тех. сб. – К: «Техника», 2004. – Вып. 42. – С. 118-120.

3. Пат. № 94541 Україна Вихровий турбулентний промивач з пристроєм, що генерує імпульсні коронні розряди / Бойко М.І., Кириченко Л.В., Шушляков Д.О., Шушляков О.В.; опубл. 10.05.2011 Бюл. № 9.

4. Шушляков А.В., Проскурня Н.И., Кравцова Е.Л. Повышение эффективности очистки газов перед выбросом их в атмосферу // Проблемы создания новых машин и технологий. Научн. труды КГПУ. – Кременчук, 2001. – Вып. 1(10). – С. 546-549.

5. Шушляков О.В., Проскурня М.І. Вплив тютюнового виробництва на навколишнє середовище і обладнання, що забезпечує його ефективне зниження // Захист довкілля від антропогенного навантаження. Зб. наук. праць. Харків – Кременчук, 2002. – № 1. – С. 5 – 11.

6. Шушляков О.В. Зниження втрат енергії на очистку газів, які видаляються від електродугових сталеливарних печей // Захист довкілля від антропогенного навантаження. Київ – Кременчук – Харків. 2006. – Вип. 12(14). – С. 141-146.

7. Шушляков О.В., Шушляков Ш.О., Кириченко Л.В. Підвищення ефективності очищення аспіраційного повітря від цукрового пилу // Цукрові буряки. – 2011. № 1(79). – С. 19-21.

8. Пат. № 94514 Україна Вихровий турбулентний промивач з іонізатором / Шушляков О.В., Бойко М.І., Шушляков Д.О., Паламарчук О.Ю., Кириченко Л.В., Овчаренко С.В.; опубл. 10.05.2011 Бюл. № 9.

9. Шушляков А.В., Шушляков Д.А., Кириченко Л.В., Проскурня Н.И. Аппарат для комплексной очистки газов и орошающих жидкостей от композиционных загрязняющих веществ // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. Вип. 2. Київ – Кременчук. 2010. – С. 46-52.

10. Пат. № 49221 Україна. Генератор теплової енергії / Шушляков О.В., Шушляков Д.О., Овчаренко В.С., Перепелиця М.О., Кривонос Г.О.; опубл. 26.04.2010 Бюл. № 8.

**О.В. Шушляков, О.І. Бондар**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

*В статті розглянуто питання зниження енергоємності та підвищення екологічної ефективності процесів отримання теплової енергії.*

**A.V. Shushlyakov, A.I. Bondar**

**IMPROVEMENT OF THE ENERGY AND ECOLOGY EFFECTIVENESS OF SYSTEMS OF HEATSUPPLY**

*In the article are considered the questions of reducing energy intensity and improve the environmental efficiency of the processes that generate heat energy.*