

УДК [697.1:620.925]:378.091.6

О. М. ПШІНЬКО^{1*}, В. О. ГАБРИНЕЦЬ^{2*}, В. Г. КУЗНЕЦОВ^{3*}

^{1*}Каф. «Управління проектами, будівлі та будівельні матеріали», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, ел. пошта pshinko@r.dit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

^{2*}Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, ел. пошта gabrin62@mail.ru, ORCID 0000-0002-6115-7162

^{3*}Каф. «Інтелектуальні системи електропостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 25, ел. пошта vkuz@i.ua, ORCID 0000-0003-4165-1056

ЗАСТОСУВАННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ БІОРЕСУРСІВ ДЛЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Мета. У дослідженні необхідно проаналізувати можливість та умови забезпечення ефективної роботи систем теплопостачання при переході частки теплогенеруючих потужностей на біопаливо. В якості біопалива пропонується застосовувати солому злакових культур, які широко розповсюджені в Придніпровському регіоні. Головною метою роботи є науковий прорахунок можливості та вартості конкретних заходів для такого переходу. Для прикладу береться котельня компактного містечка Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ), що споживає природний газ. **Методика.** В роботі проведено аналіз законодавчої бази України, що стимулює застосування відновлювальних джерел в якості палива, а також зроблено аналіз механізмів стимулювання та розвитку цього напрямку. Також визначаються можливості Придніпровського регіону щодо забезпечення отримання та поставок соломи для роботи котельні. Аналізуються вартісні показники перевезень вантажів по території України в 2016 році, які залежать від відстані та розміру вантажівок. Ці показники, а також показники, що пов'язані з купівлею соломи, розглядаються сумісно з енергетичними можливостями її застосування в якості палива. **Результати.** При існуючих в Україні (станом на 2016 рік) продуктивності зернових у сільському господарстві та вартісних показників у галузі перевезень, переведення частки потужностей на відновлювальне паливо є досить рентабельним. Вартість одиниці теплової потужності при цьому може бути знижена в чотири рази. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано використовувати нові комплексні підходи для оцінки вартості одиниці потужності теплової котельні при переході на застосування відновлювальних джерел енергії. Авторами також запропонована нова логістика доставки цих джерел до місця їх застосування. З технічної та вартісної сторін визначено оптимальний порядок потужності переводу на нові відновлювальні джерела енергії у конкретному регіоні, в залежності від структури посівних площин та їх продуктивності. **Практична значимість.** Введення запропонованих рішень та підходів до забезпечення потужності котельні відновлювальними джерелами енергії можуть бути реалізовані при відносно невеликих капіталовкладеннях та можуть дати значний економічний ефект.

Ключові слова: біоресурси; згоряння соломи; система тепло- та гарячого водопостачання; теплові втрати; тепловий режим; теплотворна здатність; вартість перевезення; відновлювальні джерела енергії

Вступ

На сьогоднішній день основним енергоносієм в країні залишається природний газ (34,8 % загального первинного постачання енергії (ЗППЕ)), на другому місці вугілля (34,6 %), хоча тенденцією останніх кількох років є зниження споживання газу та збільшення використання вугілля та біомаси. Близько третини загального обсягу природного газу – 31 % (16 млрд. м³) – споживається населенням, 19 %

(10 млрд. м³) іде на теплопостачання підприємствами ЖКГ, а промисловість використовує 37 % (20 млрд. м³). Система централізованого теплопостачання в Україні є досить розвинутою. За даними 2013 року обсяг споживання теплової енергії в Україні становив порядку 237 млн. МВт-год. Виробництво теплової енергії для забезпечення потреб секторів економічної діяльності та населення України здійснюється системами централізованого теплопостачання, що охоплюють близько 60% споживачів, і сис-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

темами індивідуального теплопостачання. За даними Міністерства Регіонального Розвитку, Будівництва та Житлово-Комунального господарства загалом по Україні експлуатується 35 424 котелень сумарною тепловою потужністю 136 982 МВт. На газу працювало 24 564, на рідкому паливі – 333, на твердому паливі – 9 781. Але з фінансових, а також політичних чинників в Україні потрібно скорочувати витрати традиційного палива. Крім того надо брати до уваги майбутнє закінчення цих видів палива. Це спонукає на необхідність пошуку засобів та технічних рішень для застосування відновлювальних видів палива [7]. З різних видів відновлювальної енергетики для отримання теплової енергії в осінній та зимовий періоди найбільш привабливим виглядає біоенергія, яка отримується з біоресурсів, що щорічно відновлюються у вигляді рослин та у вигляді переробки продуктів сільського господарства. В Україні на відновлювальних видах палива в 2013 році працювало 2 535 котелень й було спожито 1 433 тис. т н.е. теплової енергії виробленої з біомаси. Згідно Національного плану дій з відновлювальної енергетики на період до 2020 року цю цифру планується підвищити до 4000 тис. т н.е. Фактичне споживання теплової енергії в системі ЖКГ України за 2013 р. складає 112 млн. МВт-год, у т.ч. населенню – 64 млн. МВт-год, на комунально-побутові потреби – 25,4 млн. МВт-год, на виробничі потреби – 13,5 млн. МВт-год, іншим підприємствам – 8,7 млн. МВт-год. Середні втрати теплової енергії складали близько 14,3 %. Особлива увага до цього виду відновлювальної енергії пояснюється тими обставинами, що в багатьох випадках перехід від традиційних видів палива на альтернативні не потребує значних капітальних витрат. Тобто шляхом підбору відповідних режимів горіння біопалива можливо застосовувати вже існуюче обладнання.

Мета

В цій роботі вивчається питання виробництва енергії для котелень з біомаси, яка виробляється в Дніпровському регіоні. Особлива увага присвячена визначенню цільових показників економічної доцільності реалізації такого проекту та оптимальних обсягів виробництва теплової енергії з біоресурсів та можливості забезпе-

чення котельної паливною сировиною. Такий підхід відповідає національним планам, енергетичній стратегії держави щодо збільшення частки відновлювальних джерел енергії в енергетичному балансі країни та плану заходів з імplementації Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 р. щодо стимулювання використання відновлювальних джерел енергії.

У цієї статті розглядається конкретна можливість переходу на споживання біопалива для частки потужностей котельній на природному газі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Основні вихідні дані цієї котельної представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Основні показники для котельної Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Table 1

Basic indicators for the boiler house of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan

Назва підприємства, на базі якого планують реалізувати проект	Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна
Адреса майданчика	м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, буд. 2
Короткий опис площадки	Загальна площа 24 га
Підключення тепл. навантаження ОП/ГВП	19,7 Гкал/год.
Загальне річне виробництво т.е. Гкал.	23 630,831
Частка розподілу споживачів. % нас/бюдж/комерц	43/51/6
Очікувана встановлена потужність котла на біопалеві	7 558 Квт
Вид будівництва : нове/реконструкція	реконструкція
Плановий вид біопалива	агропелети
Очікувана схема логістики	Автотранспортом

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Закінчення табл. 1

Назва підприємства, на базі якого планують реалізувати проект	Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна
Наявність зручних під'їздних шляхів. Оцініть від 1 до 5 балів	5 балів
Наявність території для будівництва витратних складів паливі, орієнтована площа, га	Приміщення площею 0,04 га Відкрита площадка 1 га
Мінімальна відстань до житлової забудови, орієнтовано	150–170 м.
Очікувані організаційно-технічні рішення	Реконструкція старої котельні для генерації теплової енергії з біомаси
Кількість споживачів зведена (орієнтовано) Станом на 01.02.2015 тис.чол.	4 000
Загальна потреба у тепловій енергії (Гкал/рік) в	23 630,831
– на опалення	14 780,781
– на гаряче водопостачання (ГПВ)	8 850,349
З них забезпечується завдяки централізованому теплопостачанню. Гкал/рік:	23 630,831
– опалення	14 780,781
– ГВП	8 850,349
Кількість котелень централізованого теплопостачання, шт.	1
Орієнтована частка багатоповерхової забудови, %	65 %
Орієнтована частка індивідуального опалення, %	35 %
Сектор роботи котельні	Бюджетна сфера

Вартість природного газу для котельні в 2015 р. становила 9 600 грн. за 1 тис. куб. м

з ПДВ. Котельня обладнана комерційними вузлом обліку з коректором витрати газу по тиску та температурі, встановленим до ГРП. Видалення димових газів проходить за допомогою природної тяги димовою трубою з цегли діаметром 1 500 мм (на найвищій точці), висотою 45 м, встановлену більше 40 років тому. На котельні наявний вузол обліку відпущеної теплової енергії. Проте, зі сторони споживання обліку немає.

Зношеність теплових мереж по підприємству призводить до високих втрат теплової енергії та надмірного споживанням електричної енергії. Теплові втрати з витоком води з трубопроводів і втрати тепла за рахунок охолодження води в трубопроводах складають близько 12 %, хоча ці дані представляються заниженими, а точна цифра може бути встановлена при впровадженні повного обліку тепла у споживачів. Питоме споживання електроенергії складає близько 10 кВт-год/Гкал (відпущену). Перелік основного обладнання, яке є в котельні, наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Перелік основного обладнання котельні

Table 2

Main boiler house equipment list

Теплогенеруюче обладнання	Тип, марка котла	Потужність, Гкал	Введення в експлуатацію	ККД, %
Котел № 1 (робочий)	КВГ-6.5-150	6,5	–	90
Котел № 2 (в резерві)	КВГ-6.5-150	6,5	–	89
Котел № 3 (на консервації)	КВГ-4-150	4	–	91
Котел № 4 (робочий)	Е-1/9	1	–	85
Котел № 5 (робочий)	Е-1/9	1	–	85
Котел № 6 (резервний)	Е-1/9	1	–	85

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Розподіл теплоти по категоріям споживачів для котельні наведено в табл. 3.

Графік розподілу виробки теплової енергії для котельні по місяцям 2015 року наведено на рис. 1.

Таблиця 3

Розподіл теплоти по категоріям споживачів

Table 3

Heat distribution by categories of consumers

Категорія споживачів	Од.	2013	2014	2015 (план)
Населення	Гкал/год	1,874	1,874	2,278
Бюджетних установ	Гкал/год	2,231	2,231	2,525
Інших споживачів	Гкал/год	0,058	0,058	0,079
ВСЬОГО		4,163	4,163	4,882

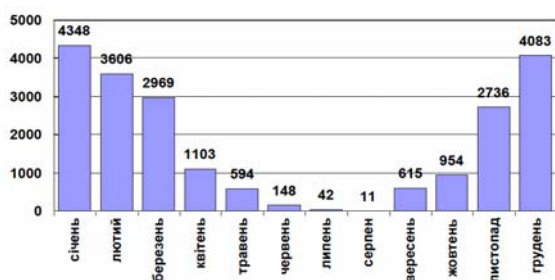


Рис. 1. Річний план постачання теплової енергії котельні (2015), Гкал

Fig. 1. Annual plan for heat energy supply of the boiler house (2015), Gcal

Методика

Теплова енергія буде вважатися такою, що отримана з дотриманням критеріїв сталого розвитку, коли її виробництво включатиме екологічний та соціальний фактори та мінімізуватиме свій вплив протягом свого життєвого циклу по всьому ланцюгу постачання по відношенню до соціально-економічного оточення. Директива Європарламенту з відновлювальних джерел енергії 2009/28/ЕС визначає та робить обов'язковими для дотримання критерії сталості. Комісією були розроблені та рекомендовані схеми сталості для даних видів біомаси, а країни-

члени наразі в процесі запровадження національних критеріїв сталості біомаси. Серед критеріїв сталості для твердої біомаси, що використовується для виробництва теплової енергії в котельній можна розглядати наступні:

1) скорочення викидів парникових газів при впровадженні біоенергетичних технологій мають становити не менше 35 % у порівнянні з аналогічним використанням викопних палив, з 1 січня 2017 р. не менше 50 %, з 1 січня 2018 р. Не менше 60 % для установок, введених в експлуатацію з 01.01.2017. Цей критерій виконується, оскільки скорочення викидів парникових газів протягом всього життєвого циклу технології виробництва теплової енергії із агробіомаси (агropелет) становить близько 88–92 % (даний показник був розрахований для котельної установки меншої потужності та для умов України).

2) висока ефективність процесу виробництва теплової енергії із біомаси. Цей критерій виконується, оскільки котельня на агробіомасі характеризується ефективністю на рівні не нижче 85 %.

3) соціальний ефект, що пов'язаний зі створенням нових робочих місць. Цей критерій виконується – введення в експлуатацію котельні на біомасі з виробництвом 1 ГВт·год теплової енергії створює 1,6 робочих місць в т.ч. на суміжних ринках. Таким чином, очікується, що реалізація проекту призведе до створення 5–6 нових додаткових робочих місць у порівнянні із базовою ситуацією (без ланцюга логістики, це окремий сектор виробництва біопалива, тут розглядається лише приріст робочих місць на котельні – джерелі теплової енергії).

В роботі проаналізовано законодавчу базу стосовно відновлюваної енергетики України, в тому числі в секторі біоенергетики. Закон України «Про альтернативні види палива» [6] визначає правові, соціальні, економічні, екологічні та організаційні засади виробництва (видобутку) і використання альтернативних видів палива. В законі «Про альтернативні види палива» дається визначення основних понять в секторі біоенергетики: біомаса, біопаливо, біогаз, виробник біопалива, тверде біопаливо та ін. Так, згідно закону: біомаса – біологічно відновлювальна речовина органічного походження, що зазнає біологічного розкладу (відходи

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

сільського господарства (рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також органічна частина промислових та побутових відходів. Біологічні види палива (біопаливо) – тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлювальної сировини (біомаси), яке може використовуватися, як паливо або компонент інших видів палива.

В роботі розглянуто механізми стимулювання та розвитку відновлювальних джерел енергії, такі, як нещодавно прийнята Постанова КМУ № 293 від 09.07.2014 «Про стимулювання заміщення природного газу у сфері теплопостачання», що набирає чинності з 01.10.2014 [9]. У разі виробництва теплової енергії для населення різниця між тарифом на виробництво теплової енергії на теплогенеруючих установках (крім теплоелектроцентралей, теплоелектростанцій і атомних електростанцій) з використанням будь-яких видів палива та енергії (за винятком природного газу) і тарифом на виробництво теплової енергії для потреб населення на зазначених теплогенеруючих установках з використанням будь-яких видів палива та енергії (за винятком природного газу) підлягає компенсації з державного бюджету. Органам місцевого самоврядування рекомендується сприяти реалізації інвестиційних проектів виробництва теплової енергії з використанням будь-яких видів палива та енергії (за винятком природного газу), в тому числі з відновлюваних джерел енергії. Також важливою є Постанова КМУ № 453 від 10.09.2014 «Про стимулювання заміщення природного газу під час виробництва теплової енергії для установ та організацій, що фінансуються з державного і місцевого бюджетів» [8]. Згідно цієї Постанови, тариф на виробництво теплової енергії для бюджетних установ та організацій на теплогенеруючих установках (крім ТЕЦ, ТЕС і АЕС) з використанням будь-яких видів палива та енергії (за винятком природного газу) встановлюється на рівні діючого тарифу на виробництво теплової енергії для бюджетних установ та організацій з використанням природного газу та переглядається у разі зміни граничного рівня ціни на природний газ, що використовується для виробництва теплової енергії для бюджетних установ та організацій. Органи місцевого самовря-

дування мають сприяти реалізації інвестиційних проектів з виробництва теплової енергії з використанням будь-яких видів палива та енергії (за винятком природного газу), в тому числі з відновлюваних джерел енергії. Постанова набирає чинності з 1 жовтня 2014 р. та діє до 1 жовтня 2019 року.

В Україні розроблено ряд важливих програм/стратегій стосовно пріоритетний напрямків розвитку сектору ВДЕ. Деякі з них є діючими, інші знаходяться в статусі проекту. Енергетична стратегія України на період до 2030 року (2013) . В Стратегії зазначено, що Україна має значний потенціал розвитку біоенергетики. Для широкого комерційного використання найближчими роками доцільно впроваджувати технології спалювання біомаси в котлах і технології збору й утилізації біогазу на полігонах твердих побутових відходів, оскільки ці технології поки що найкраще розроблені. Потенційна встановлена потужність у сегменті біоенергетики може становити 10-15 ГВт теплових й 1-1,5 ГВт електричних. Затверджено Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року. План дій було розроблено на виконання Україною її зобов'язань як члена Енергетичного Співтовариства. Головна мета документу – досягти в 2020 році 11% частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел, у загальному кінцевому енергоспоживанні країни. Згідно проекту Плану дій, у 2020 році на опалення/охолодження буде використовуватися 4 млн. т н.е. біомаси, в тому числі твердої – 3,9 млн. т н.е., біогазу – 0,1 млн. т н.е. Встановлена потужність об'єктів електроенергетики на біомасі становитиме у 2020 році 530 МВт (1,1% загального обсягу виробництва), в тому числі на твердій біомасі – 400 МВт, на біогазі – 130 МВт.

Результати

Питанням економії традиційних ресурсів в ДНУЗТ надають велике значення [4, 10]. В цієї роботі проаналізовано можливості переводу частки потужностей для генерації теплової енергії на біопаливо. При аналізі переводу брались до уваги сучасні підходи стосовно ефективності систем теплопостачання [5], а також їх термомодернізації [2]. Оцінка такого переходу проводилась відповідно сучасним підходам до цього [1,3]. Брались також до уваги

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

можливі зміни технічних характеристик обладнання при роботі на новому виді палива [11–14]. Після зробленого аналізу було запропоновано для спалювання біомаси по встановити спеціальні котли, для котрих в котельній ДНУЗТ є вільні місця. Перше вільне місце – приблизно 10х7м (потенційне місце для котлів на біомасі) розташовано на першому поверсі, та друге 15х7 м на другому поверсі. Висота першого поверху 8 м, другого – 4 м. Безпосередньо до котельні примикає будівля, які зараз використовуються, як лабораторії. Корисна площа цієї будівлі складає відповідно до генплану 860 м². Доступ до цієї будівлі від під'їзних шляхів вільний, тому вона ідеально підходить для організації складу біопалива для біомасової котельні. Відстань до найближчого житлового будинку (11-ти поверхова житловий дім) від границі котельні складає близько 170 м.

Реконструкція котельні з переведенням на біомасу частини потужностей з використанням існуючої будівлі технічно повністю можлива. Для цього є всі необхідні передумови, а саме: вільне місце у котельній, наявність інфраструктури у котельній, наявність будівлі під склад біопалива у безпосередній близькості до котельні (5 м), наявність вільних і просторих під'їзних шляхів для маневру будь-якого автотранспорту, наявність точки підключення до електромережі, димової труби, наявність навантаження на ГВП влітку (частково) і взимку, Тобто реконструкція котельні з переведенням на біомасу частини потужностей з використанням існуючої будівлі технічно повністю можлива. (частково) і взимку, дорогий «бюджетний» природний газ, що буде замінюватися. У будівлі існуючої котельні достатньо місця (10х5х8 м) для встановлення одного котла на біомасі потужністю до 3,0–3,5 МВтт або двох котлів по 1,5–1,75 МВтт. Для цього треба здійснити демонтаж і перенесення існуючого допоміжного обладнання (насосів, теплообмінників, ХВО, тощо). Взагалі котельня відрізняється нещільним розміщенням існуючого обладнання усередині будівлі, тому більш компактне розміщення допоміжної інфраструктури забезпечить достатньо місця для потужності до 3,5 МВтт на біомасі. Як буде показано далі, оптимальною потужністю котла на біомасі можна вважати діапазон більше 2 МВт. Такий діапазон

потужності також добре узгоджується із простором, наявним у котельні та у господарській будівлі для складу: за габаритами. Як зазначено вище, газова котельня може буде частково реконструйована для спалювання біомаси та буде залишатися у власності ДНУЗТ. Потужність обладнання на біопаливі буде складати або 2х1,5 МВт (1 котел на ГВП, інший – на опалення), або 1 котел 1,2 МВтт (на ГВП), 2-й котел – 2 МВтт (на опалення). Один газовий котел КВГ-6,5 та котел КВГ-4,0 залишаються в роботі для опалення в найбільш холодний період року (січень-лютий) паралельно з котлом на біомасі. Другий газовий котел КВГ-6,5 залишається в резерві. Двоє з трьох газові котлів Е-1/9 продовжують покривати потреби ГВП в опалювальний період та в ті місяці літа, коли котли на біомасі не працюватимуть. За відсутності навантаження опалення, один з котлів на біомасі переключасться на забезпечення потреб. Як і раніше, планується забезпечувати 100 % ціло річну потребу споживачів в тепловій енергії для потреб опалення та ГВП. Облік відпущеної теплової енергії з котельні планується здійснювати на основі показників приладів автоматичного обліку.

Наукова новизна та практична значимість

Ресурси соломи з Дніпровського регіону, як палива визначаються з одного боку теплотворною здатністю її, а з другого кількістю самої соломи коло місця її споживання, як палива. Теплотворна здатність соломи різних видів наведена в табл. 4.

Таблиця 4

Теплотворна здатність с/х відходів

Table 4

Heating value of agricultural wastes

Вид с/х отходов	Теплотворна здатність, МДж/кг
Пшенична солома	17–18
Рапсова солома	16–17
Кукурудза	18
Древесина	18,5

Для розрахунку можливої кількості зібраної соломи потрібно враховувати врожайність

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

пшениці. Відповідно статистичним даним для Дніпровського регіону кількість соломи з одного гектару по масі буде дорівнювати 0,8–1 від врожайності пшениці. Розбіжність пов'язана з сортом та технологією зборки. В подальших розрахунках ми будемо застосовувати найнижчий коефіцієнт 0,8. Для Дніпропетровської області 63 % зайняті посівними площами. Це складає для регіону 1 968 тис га. Частка зернових становить 55 % від загальної площі під посівними культурами. Будемо вважати врожайність пшениці і ячменю в середньому 30 центнерів з га. Будемо вважати котельню ДНУЗТа, як центр доставки соломи збудь якого напрямку. Оскільки котельня розташована в центрі міста Дніпро, то будемо вважати, що вокруг неї існує кругова площина радіусом 10 км, з якої солома не збирається. Попередні підрахунки показали, що вона повинна збиратися з кільця між внутрішнім радіусом 10 км та зовнішнім 20 км, як показано на рис. 2.

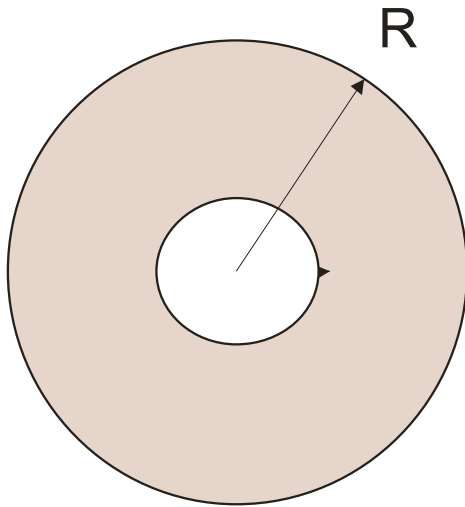


Рис. 2. Схема збору соломи для котельної

Fig. 2. Scheme of straw collection for the boiler house

Тоді потенційна кількість соломи в тонах, яку можна отримати для котельній з площі радіусом R (це відстань збору та доставки соломи) можна підрахувати по співвідношенню:

$$M(R) = \int_{10}^{20} 0,63 \cdot 0,55 \cdot I \pi K R \cdot dR, \quad (1)$$

де I – врожайність зернових, K – коефіцієнт, який визначає долю соломи, що можна застосовувати для опалення. Він приблизно дорівнює

0,5. Інша солома застосовується, як корм для скота.

Результати підрахунок маси зібраної соломи по співвідношенню (1) наведено на рис. 3.

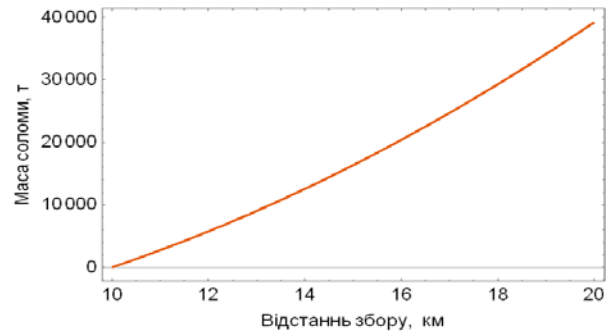


Рис. 3. Можлива кількість зібраної соломи біля міста Дніпра

Fig. 3. Possible number of collected straw near Dnipro city

Можлива потужність котельної при безперервній роботі на протязі опалювального сезону, який дорівнює 180 днів і яку здатна забезпечити зібрана біля Дніпра з різної площини солома при ККД ТЕЦ = 0,82, теплотворній здатності соломи 17 МДЖ/кг наведена на рис. 4.

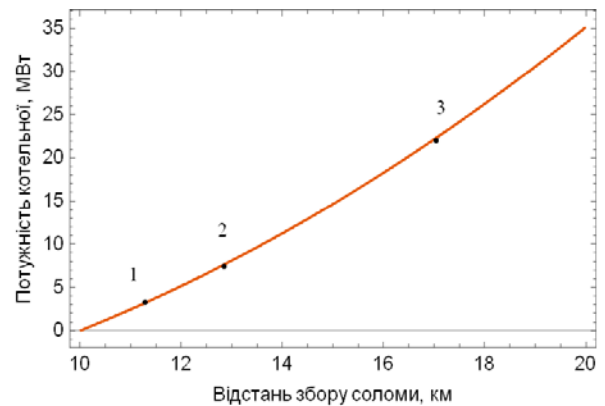


Рис. 4. Можливі потужності ТЕЦ, яка працює на зібраній біля Дніпра соломі:

- 1 – потужність котла КВГ-4-159 (4.64МВт);
- 2 – потужність котла КВГ-6.5-150 (7.54МВт);
- 3 – сумарна потужність котельної (22,87МВт)

Fig. 4. Available power of thermal station, which is operated using the straw collected near Dnipro

- 1 – boiler power KVG-4-159 (4.64MWt);
- 2 – boiler power KVG-6.5-150 (7.54MWt);
- 3 – total boiler house power (22,87MWt)

Крапками 1, 2, 3 визначають потужність основних агрегатів котельної та самої котельної,

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

а також необхідний для їх роботи радіус збору соломи. З графіка видно, що для того щоб забезпечити безперервну роботу всієї котельні ДНУЗТа на протязі опалювального сезону потрібно збирати солом у радіусі не більш 18 км. При переході на біопаливо потрібно враховувати не тільки його вартість, а також вартість перевезень.

Вартість перевезень по Україні залежить від відстані перевезення. Якщо апроксимувати дані різних фірм відносно вартості одного тонокилометра в 2016 році квадратичною залежністю, то ми будемо мати співвідношення (2).

$$S(R) = 3,53214 - 0,0114295R + 0,0000160748R^2. \quad (2)$$

Для лінійної залежності маємо співвідношення вартість одного тонокилометра для 2016 року

$$S(R) = 3,39517 - 0,0077453R, \quad (3)$$

де R – відстань доставки вантажу, яким в цієї роботі є солома, що зібрана на цієї відстані. Тому в наступних співвідношеннях R дорівнює також відстані збору соломи.

Обробка статистичних даних по вартості одного тонокилометра для 2016 року для лінійної та квадратичної залежностей наведена на рис. 5.

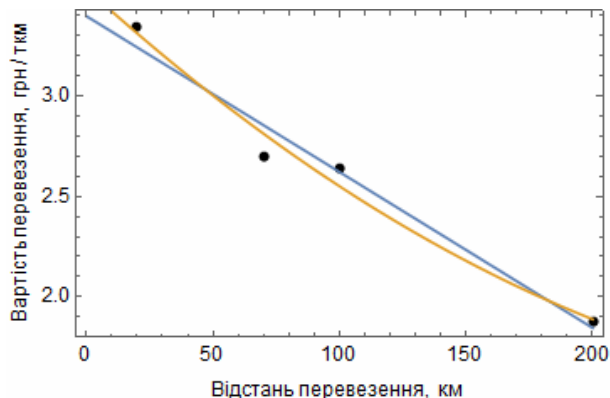


Рис. 5. Середня вартість перевезень вантажу для України в 2016 році

Fig. 5. Average cost of cargo transportations in Ukraine in 2016

Сама вартість соломи для України складає ціну від 500 грн до 1 500 грн за тону. Цю солому потрібно також доставити до котельної. Тоді

треба брати до уваги також вартість доставки соломи для котельної. Загальну вартість соломи можна підрахувати як суму купівлі та доставки по співвідношенню:

$$S_d = S_c \cdot M(R) + \int_{R1}^{R2} M(R) \cdot S(R) \cdot dR, \quad (4)$$

де S_d – сумарна вартість купленої та доставленої соломи, грн., S_c – вартість купівлі соломи, грн. $S(R)$ – вартість доставки соломи в залежності від відстані, грн, $M(R)$ – маса зібраної соломи в залежності від радіуса збору, т.

Розрахунок витрат на купівлю та доставку соломи до котельні по співвідношенню (4) наведено на рис. 6.

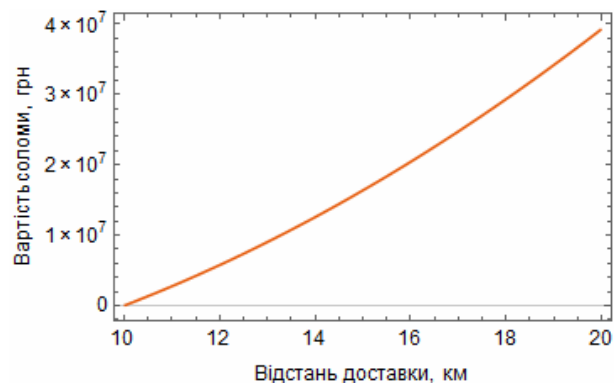


Рис. 6. Вартість доставки зібраної соломи з врахуванням вартості купівлі

Fig. 6. Shipping cost of collected straw with account the cost of purchase

Була також прорахована вартість одного МВт потужності котельні в залежності від відстані збору, що можна вважати також і від потужності самої котельні. Розрахунок здійснювався по співвідношенню:

$$S_1 = \frac{M(R) r f}{T_h S_d}, \quad (5)$$

де $M(R)$ – маса зібраної соломи, r – теплотворна здатність соломи, 17 МДж/кг, – ККД котельної, 0,82, T_h – тривалість опалювального сезону, 180 діб, S_d – вартість купівлі та доставки соломи. Результати розрахунку по співвідношенню (5) наведені на рис. 7.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

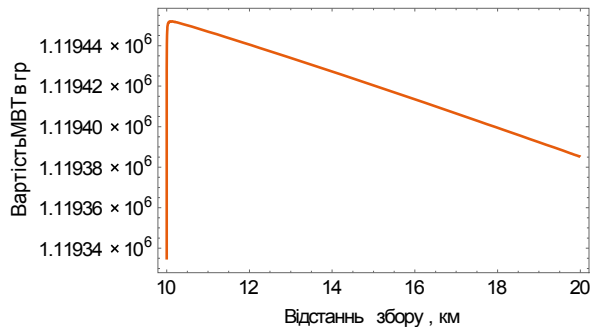


Рис. 7. Вартість одного МВт потужності котельні в залежності від відстані збору

Fig. 7. Cost of one MWh of boiler house power depending on the distance of collection

Для порівняння вартість одного МВт на протязі опалювального сезону для газу по ціні 9 600 гривень за 1 000 м³ буде дорівнювати $4,48 \cdot 10^6$ гривень. Тобто приблизно в чотири рази дорожче.

Висновки

Таким чином на прикладі ДНУЗТа існує можливість переведення частки потужностей котелень Дніпровського регіону на застосування біопалива в якості пального. При існуючому стані речей відносно собівартостей купівлі та перевезень біопалив собівартість однієї гігакалорії буде приблизно в чотири рази нижчий в порівнянні з застосуванням природного газу в якості пального. Негативними факторами при застосуванні в якості пального соломи є досить велика площа під склад пального та велика корозійна активність димових газів, які створюються при палінні соломи. Загальним недоліком для усіх видів біопалива є необхідність перебудови котлів под. конкретний тип біопалива. Це потребує значних коштів. Однак окупність при застосуванні біопалив складає 3–5 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 4472-2005. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги. – Київ : Держстандарт України, 2005. – 28 с.
2. Никитин, Е. Е. Концептуальные вопросы модернизации теплообеспечения населенных пунктов Украины / Е. Е. Никитин // Проблемы загалової енергетики : наук. зб. / Нац. акад. наук України, Ін-т заг. енергетики. – Київ, 2012. – Вип. 2. – С. 5–11.
3. Никитин, Е. Е. Оценка технико-экономической эффективности комплексной термомодернизации централизованной системы теплоснабжения и зданий / А. В. Дутка, Е. Е. Никитин // Энергетика и ТЭК. – 2013. – № 9 (126). – С. 22–26.
4. Підвищення ефективності роботи системи теплопостачання інфраструктури громадських будівель на прикладі ДНУЗТ / О. М. Пшінько, В. Г. Кузнєцов, Д. К. Яценко, В. О. Габрінець // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 3 (63). – С. 97–107. doi: 10.15802/stp2016/74728.
5. Показники ефективності систем теплопостачання / В. І. Дешко, М. М. Шовколюк, Ю. В. Шовколюк, С. М. Дудніков // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. – Київ, 2012. – Вип. 16. – С. 182–192.
6. Про альтернативні джерела енергії [Електронний ресурс] : Закон України від 20 лют. 2003 р. № 555-IV. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-15>. – Назва з екрана. – Перевірено : 10.01.2017.
7. Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року [Електронний ресурс] : розпорядж. Кабінету Міністрів України від 1 жовт. 2014 р. № 902-р. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80>. – Назва з екрана. – Перевірено : 10.01.2017.
8. Про стимулювання заміщення природного газу під час виробництва теплової енергії для установ та організацій, що фінансуються з державного і місцевого бюджетів [Електронний ресурс] : постанова Кабінету Міністрів України від 10 верес. 2014 р. № 453. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/453-2014-%D0%BF>. – Назва з екрана. – Перевірено : 10.01.2017.
9. Про стимулювання заміщення природного газу у сфері теплопостачання [Електронний ресурс] : постанова Кабінету Міністрів України від 09 лип. 2014 р. № 293. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/293-2014-%D0%BF>. – Назва з екрана. – Перевірено : 10.01.2017.
10. Пшінько, О. М. Аналіз ефективності системи теплопостачання студмістечка Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту / О. М. Пшінько, В. А. Габрінець, В. М. Горячкін // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 2 (50). – С. 74–82. doi: 10.15802/stp2014/23756.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

11. Heiland, H. G. Flow and temperature field measurements of thermal convection in a small vertical gap using liquid crystals / H. G. Heiland, G. Wozniak, K. Wozniak // Heat and Mass Transfer. – 2007. – Vol. 43. – Iss. 9. – P. 863–870. doi: 10.1007/s00231-006-0165-z.
12. Jaremkiewicz, M. Accurate measurement of unsteady state fluid temperature / M. Jaremkiewicz // Heat and Mass Transfer. – 2016. – P. 1–11. doi: 10.1007/s00231-016-1866-6.
13. Taler, D. Experimental determination of correlations for average heat transfer coefficients in heat exchangers on both fluid sides / D. Taler // Heat and Mass Transfer. – 2013. – Vol. 49. – Iss. 8. – P. 1125–1139. doi: 10.1007/s00231-013-1148-5.
14. Stephan, P. Local heat flow and temperature fluctuations in wall and fluid in nucleate boiling systems / P. Stephan, T. Fuchs // Heat and Mass Transfer. – 2007. – Vol. 45. – Iss. 7. – P. 919–928. doi: 10.1007/s00231-007-0320-1.

А. Н. ПШИНЬКО^{1*}, В. А. ГАБРИНЕЦ^{2*}, В. Г. КУЗНЕЦОВ^{3*}

^{1*}Каф. «Управление проектами, здания и строительные материалы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, эл. почта pshinko@r.dit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

^{2*}Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, эл. почта gabrin62@mail.ru, ORCID 0000-0002-6115-7162

^{3*}Каф. «Интеллектуальные системы электроснабжения», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 25, эл. почта vkuz@i.ua, ORCID 0000-0003-4165-1056

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ БИОРЕСУРСОВ ДЛЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Цель. В исследовании необходимо проанализировать возможность и условия обеспечения эффективной работы систем теплоснабжения при переходе части теплогенерирующих мощностей на биотопливо. В качестве биотоплива предлагается применять солому злаковых культур, которые широко распространены в Приднепровском регионе. Главной целью работы является научный просчет возможности и стоимости конкретных мероприятий для такого перехода. Как пример берется котельная компактного городка Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДНУЖТ), потребляющая природный газ. **Методика.** В работе проведен анализ законодательной базы Украины, которая стимулирует применение возобновляемых источников в качестве топлива, а также сделан анализ механизмов стимулирования и развития этого направления. Также определяются возможности Приднепровского региона по обеспечению получения и поставок соломы для работы котельной. Анализируются стоимостные показатели перевозок грузов по территории Украины в 2016 году, которые зависят от расстояния и размера грузовиков. Эти показатели, а также показатели, связанные с покупкой соломы, рассматриваются совместно с энергетическими возможностями ее применения в качестве топлива. **Результаты.** При существующих в Украине (по состоянию на 2016 год) производительности зерновых в сельском хозяйстве и стоимостных показателей в области перевозок, перевод доли мощностей на биотопливо является достаточно рентабельным. Стоимость единицы тепловой мощности при этом может быть снижена в четыре раза. **Научная новизна.** Впервые предложено использовать новые комплексные подходы для оценки стоимости единицы мощности тепловой котельной при переходе ее на применение возобновляемых источников энергии. Авторами также предложена новая логистика доставки этих источников к месту их применения. С технической и стоимостной сторон определен оптимальный порядок мощностей перевода на новые возобновляемые источники энергии в конкретном регионе, в зависимости от структуры посевных площадей и их продуктивности. **Практическая значимость.** Введение предлагаемых решений и подходов к обеспечению мощностей котельной возобновляемыми источниками энергии могут быть реализованы при относительно небольших капиталовложениях и могут дать значительный экономический эффект.

Ключевые слова: биоресурсы; сгорание соломы; система тепло- и горячего водоснабжения; тепловые потери; тепловой режим; теплотворная способность; стоимость перевозки; возобновляемые источники энергии

O. M. PSHINKO^{1*}, V. O. GABRINET^{2*}, V. H. KUZNETSOV^{3*}

^{1*}Dep. «Projects Management, Buildings and Construction Materials», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 46, e-mail pshinko@r.dit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

^{2*}Dep. «Heat Engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 87, e-mail gabrin62@mail.ru, ORCID 0000-0002-6115-7162

^{3*}Dep. «Intelligent Systems of Electric Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, тел. +38 (056) 373 15 25, e-mail vkuz@i.ua, ORCID 0000-0003-4165-1056

USING REGIONAL RENEWABLE ENERGY RESOURCES FOR HEATING SUPPLY SYSTEMS

Purpose. The study analyzes the possibility and conditions for the effective operation of heating systems during the transition of the heat-generating capacity to biofuels energy. The straw of cereal crops, which are prevailing in Dnipro region, is used for this. The main purpose is scientific calculation of opportunities and cost of specific measures for such a transition. As an example it was taken the boiler-room of campus at Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (DNURT) that consumes natural gas.

Methodology. The work analyzes the legislative base of Ukraine, which promotes the using of renewable energy sources as fuel, as well as the incentive mechanisms for the development of this trend. The paper identifies opportunities of Prydniprovsk region to ensure straw supply for the boiler-room. Cost parameters of cargo transportation on the territory of Ukraine in 2016, which depend on the distance and the size of the trucks, are analysed. These indicators, as well as indicators related to its purchase, are considered together with energy potential of using the straw as fuel. **Findings.** With existing in Ukraine (as of 2016) the grain yielding capacity in the agriculture and cost indicators in the field of transportations, the transition of capacity share to biofuel is sufficiently profitable. The thermal power unit cost can be reduced fourfold. **Originality.** For the first time it is proposed to use the new integrated approaches to assess the cost of thermal power unit boiler with its transition to the use of renewable energy sources. The authors also proposed a new logistics delivery of these sources to the place of their application. From a technical and cost points of view it was determined the optimal order of capacity transfer for new renewable sources of energy in a given region depending on the structure of areas under crops and their productivity. **Originality.** The introduction of the proposed solutions and approaches to capacity boiler renewable energy sources can be realized with a relatively small investment and can provide significant economic benefits.

Keywords: biological resources; straw combustion; heat and hot water supply; heat loss; thermal regime; calorific value; transportation costs; renewable energy

REFERENCES

1. Systemy enerhetychnoho menedzhmentu. Zahalni vymohy, DSTU 4472-2005 (2005).
2. Nikitin, E. E. (2012). Conceptual issues of a modernization of heat supply to settlements in Ukraine. *The Problems of General Energy*, 2, 5-11.
3. Nikitin, E. E., & Dutka, A. V. (2013). Otsenka tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti kompleksnoy termomodernizatsii tsentralizovannoy sistemy teplosnabzheniya i zdaniy. *Energy and TEK*, 9(126), 22-26.
4. Pshinko, O. M., Kuznetsov, V. H., Yatsenko, D. K., & Gabrinets, V. O. (2016). Improving the efficiency of the heating system for public buildings infrastructure in the context of DNURT. *Science and Transport Progress*, 3(63), 97-107. doi: 10.15802/stp2016/74728
5. Deshko, V. I., Shovkolyuk, M. N., Shovkolyuk, Y. V., & Dudnikov, S. M. (2012). Pokaznyky efektyvnosti system teplopostachannia. *Ventilation, Lighting and Heat Supply*, 16, 182-192.
6. Pro alternatyvni dzherela enerhii: Zakon Ukrainy 2003, number 555-IV (2003). Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-15>
7. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2014). Pro Natsionalnyi plan dii z vidnovliuvanoi enerhetyky na period do 2020 roku, number 902-p. Retrieved from <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80>
8. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2014). Pro stymuliuvannia zamishchennia pryrodnoho hazu pid chas vyrobnytstva teplovoi enerhii dlia ustanov ta orhanizatsii, shcho finansuiutsia z derzhavnoho i mistsevoho biudzhetyv No. 453. Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/453-2014-%D0%BF>

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

9. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2014). Pro stymuliuvannya zamishchennia pryrodnoho hazu u sferi teplopostachannia No. 293. Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/293-2014-%D0%BF>
10. Pshinko, O. M., Gabrinets, V. O., & Horyachkin, V. N. (2014). Effectiveness analysis of campus heat supply system of Dnipropetrovsk National University of railway transport. *Science and Transport Progress*, 2(50), 74-82. doi: 10.15802/stp2014/23756
11. Heiland, H. G., Wozniak, G., & Wozniak, K. (2007). Flow and temperature field measurements of thermal convection in a small vertical gap using liquid crystals. *Heat and Mass Transfer*, 43(9), 863-870. doi: 10.1007/s00231-006-0165-z
12. Jaremkiewicz, M. (2016). Accurate measurement of unsteady state fluid temperature. *Heat and Mass Transfer*, 1-11. doi: 10.1007/s00231-016-1866-6
13. Taler, D. (2013). Experimental determination of correlations for average heat transfer coefficients in heat exchangers on both fluid sides. *Heat and Mass Transfer*, 49(8), 1125-1139. doi: 10.1007/s00231-013-1148-5
14. Stephan, P., & Fuchs, T. (2007). Local heat flow and temperature fluctuations in wall and fluid in nucleate boiling systems. *Heat and Mass Transfer*, 45(7), 919-928. doi: 10.1007/s00231-007-0320-1

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. Ю. С. Барашем (Україна), д.т.н., проф. М. В. Губинським (Україна)

Надійшла до редколегії: 27.10.2016

Прийнята до друку: 11.01.2017