ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy. 2017, 3(50):41-49
doi: https://doi.org/10.15407/pge2017.03.041

УДК 644.1

В.І. ДЕШКО, д-р техн.наук, проф., **А.І. ЗАМУЛКО**, канд. техн.наук, доц.,
Д.С. КАРПЕНКО
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
пр. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛОКАЛЬНОГО РИНКУ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

В даній статті розглянуто технологічні принципи функціонування системи теплопостачання в Україні. Визначено умови створення ринку теплової енергії в Україні. Визначено мету створення ринку теплової енергії. Створено модель ринку теплової енергії, та визначено вигоди від функціонування ринку залежно від коефіцієнта частки ринку. Визначено оптимальний рівень ефективності ринку при заданих кількості незалежних виробників і об'ємі споживання теплової енергії в моделі. Визначено величину регулювання тарифу на теплову енергію в результаті роботи ринку.

Ключові слова: ринок теплової енергії, система теплопостачання, модель, тариф на теплову енергію.

Вступ

Рівень енергетичної ефективності систем комунального теплопостачання стрімко знижується протягом останніх років. Спосіб ведення господарської діяльності цими підприємствами ставить під сумнів правильність принципу організації системи теплопостачання в Україні. У більшості випадків в Україні, на певній системі теплопостачання діє одне підприємство, яке одночасно виконує функції виробництва, транспортування і постачання теплової енергії [1]. Тобто, має монопольне становище в межах даної системи. Відсутність мотиваційного фактора, при функціонуванні такої моделі, є наслідком відсутності конкуренції, тому і рівень ефективності роботи такої системи низький.

Закон України «Про теплопостачання» передбачає можливість створення і функціонування ринку теплової енергії [2]. Оцінку можливості впровадження конкуренції в системах теплопостачання та структури взаємовідносин між суб'єктами ринку теплової енергії проаналізовано в [3, 4]. Кожна з держав керується своїми правилами в сфері теплопостачання виходячи з технічних та юридичних умов, які існують на даний момент. В роботі [5] проаналізовано стан розвитку теплопостачання в Україні з точки зору потенціалу альтернативних джерел енергії та їх використання при створенні конкурентного ринку теплової енергії. Аналіз моделей ринку теплової енергії в різних державах Європейського Союзу та структурний розподіл джерел енергії наведено в [6, 7], принципи встановлення тарифів, а також юридичні аспекти роботи ринків теплової енергії – у [8]. Визначено основні специфічні особливості ринку теплової енергії на відміну від інших ринків, та теплової енергії як товару [9]. Представлено досвід Польщі з впровадження і роботи ринку теплової енергії [10]. Основні проблеми та умови функціонування ринку теплової енергії представлено в роботах [1, 11]. Наведені технічні аспекти, які необхідно забезпечити на етапах виробництва, транспортування та

© В.І. ДЕШКО, А.І. ЗАМУЛКО, Д.С. КАРПЕНКО, 2017

постачання теплової енергії. В роботі [12] наведені особливості роботи моделі ринку теплової енергії «єдиного покупця». Наведено методики розрахунку ефективного радіусу теплопостачання для теплових мереж централізованих систем [13, 14] та тенденції просторової організації ринку [15]. На основі даної роботи стає можливим визначення рівня локалізації ринку теплової енергії. В роботах [16 – 18] проаналізовано сучасний технічний стан та перспективи реформування систем теплопостачання в Україні.

Необхідність створення ринку теплової енергії в Україні можна обґрунтувати трьома невирішеними проблемами:

1. Існування надлишкових ресурсів, що мають потенціальну енергію в тому чи іншому виді, які виникають внаслідок провадження технологічних процесів будь-якої сфери виробництва або сільськогосподарської діяльності, але які ніяк не утилізуються.
2. Відсутність використання в повному обсязі територіального потенціалу України для виробництва теплової та електричної енергії з відновлювальних джерел енергії.
3. Відсутність цивілізованих та конкурентних взаємовідносин в сфері теплопостачання, що внаслідку призводить до високих тарифів на теплову енергію для споживачів.

На сьогодні, існує значна кількість технологій по виробництву теплової енергії, які можуть вирішити перші дві названі вище проблеми. Залежно від кон'юктури цін на ринку енергоносіїв та способів її використання, та чи інша технологія може превалювати. В табл. 1 наведено основні види ресурсів для виробництва теплової та електричної енергії.

Україна має значний потенціал у використанні всіх наведених вище типів ресурсів, при цьому необхідно враховувати місцевий характер цього потенціалу. Ринок теплової енергії, враховуючи його локалізацію, дозволяє забезпечити можливість утилізації над-

Таблиця 1 **– Основні види ресурсів для виробництва теплової та електричної енергії**

Тип ресурсу	Технологія
Сонячна енергія	Геліосистеми
	Фотовольтаїка
Енергія вітру	Вітрогенератори
Біомаса	Спалювання
	Газифікація
	Переетерифікація
Енергія геотермальних вод та земних надр	Теплообмін з навколишнім середовищем
Енергія гідроресурсів	Електрогенератори
Викопні палива	Спалювання
	Газифікація
Атомна енергія	Ядерні реакції поділу та синтезу

лишкових ресурсів, та використання відновлювальних джерел енергії.

1. Ціль та задачі дослідження

Метою роботи є визначення рівня ефективності теплопостачання при створенні локального ринку теплової енергії на основі імітаційної моделі при заданих обсягах споживання теплової енергії, кількості виробників в системі та обмежень в частині можливості входу в ринок. Визначення умов для входу в ринок незалежних виробників.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

– формулювання умов функціонування ринку при створенні моделі;

– виконання імітаційної моделі на основі визначених умов при варіюванні коефіцієнта частки ринку, та визначення основних фінансових показників;

– аналіз залежностей показників вигоди від впровадження ринку теплової енергії із врахуванням компенсації збитків основного виробника, суми прибутків незалежних виробників, та ефективності ринку теплової енергії від коефіцієнта частки ринку;

– оцінити вигоду від функціонування ринку в оптимальних умовах у порівнянні із станом монополії, для представлення величини зниження ціни на теплову енергію.

2. Загальні принципи формування ринку теплової енергії

Для розуміння принципу роботи системи теплопостачання, основаної на конкуренції, необхідно представити просту модель, яка б наочно показала її необхідність. В даній роботі аналізується ефективність роботи системи при двох альтернативних варіантах: при роботі в системі одного виробника (монополія), та при зміні кількості виробників теплової енергії в межах системи теплопостачання (конкуренція).

Дана модель є статичною, і не описує кон'юктурні зміни на ринку впродовж його роботи. Статті витрати кожного з виробників визначені протягом всього часу і є незмінними. Статична модель показує принципові тенденції на ринку теплової енергії, і не враховує динамічні, або непередбачувані процеси, які можуть виникати. Такими процесами можуть бути:

2.1. Умови побудови моделі

Модель, яка створюється орієнтована на функціонування ринку теплової енергії в межах середнього за розмірами міста з населенням від 50 до 150 тисяч мешканців, де існує комунальне теплопостачальне підприємство, що має власні теплові мережі, які за розмірами можуть бути віднесені до централізованої системи теплопостачання.

Для створення моделі, необхідно виконати ряд припущень для визначення передумов, які відображають технічний стан системи теплопостачання. Цей ряд припущень може виступати як вихідні дані для побудови простої моделі.

Припущення:

1. Втрати теплової енергії в тепломережі відсутні.

2. В системі теплопостачання, що розглядається, загальне виробництво теплової енергії за рік становить 40 000 Гкал.

3. На ринку теплової енергії присутні 10 виробників, які використовують різні технології з виробництва теплової енергії згідно з табл. 1. Серед них є основний виробник, який в існуючій системі є монополістом, та 9 незалежних виробників із своїми характеристиками повних витрат, які складені на основі статей витрат, наведених в табл. 2.

Згідно з потужностями, які розрахунковим методом визначаються для незалежних виробників залежно від коефіцієнта частки ринку, визначаються капітальні затрати на будівництво об'єктів генерації. Відносно даного параметра розраховується амортизаційна складова витрат, та умови терміну окупності та планового прибутку проекту.

В табл. 3 наведені функції повних витрат, на основі яких проведено моделювання процесу функціонування ринку теплової енергії та оптимізації функції ефективності ринку

Таблиця 2 **– Статті витрат виробників теплової енергії**

Вид витрат	Тип витрат
Паливо	Змінні (грн/Гкал)
Доставка палива	Змінні (грн/Гкал)
Електроенергія	Змінні (грн/Гкал)
Заробітна плата робітників	Постійні (грн/рік)
Адміністративні витрати	Постійні (грн/рік)
Амортизація	Постійні (грн/рік)
Інші витрати	Постійні (грн/рік)

теплової енергії при варіюванні коефіцієнта частки ринку. Величина повних витрат на ринку теплової енергії окремого виробника залежить від кількості відпущеної теплової енергії (Q, Гкал) та потужності об'єкта генерації теплової енергії (W, МВт).

4. В даній системі існують такі правила проведення аукціону з куплі-продажу теплової енергії:

– аукціон проводиться раз на місяць протягом опалювального періоду;

– заявки від кожного виробника подаються перед аукціоном на об'єм теплової енергії, який виробник готовий продати протягом місяця, та ціну, за якою виробник готовий продати цей об'єм;

– за результатами аукціону проводиться розподілення заявок, які перемогли, по графіку теплових навантажень на наступний місяць;

– за заявками, які перемогли, формується середньозважена ціна на наступний місяць на виробництво теплової енергії, за якою транспортувальна організація формує тариф для перепродажу з врахуванням складових транспортування та постачання споживачами.

6. Розподілення споживання теплової енергії по місяцях опалювального періоду за рік наведено на рис. 1.

2.2. Фінансові результати виробників на ринку теплової енергії

Після проведення аукціонів за кожен місяць опалювального сезону, кожен з вироб-

Рис. 1. Графік споживання теплової енергії по місяцях опалювального періоду, Гкал

Таблиця 3 **– Характеристика постійних і змінних витрат виробників теплової енергії**

№ Виробника	Змінна складова (грн/Гкал)	Постійна складова (грн/рік)	Норма прибутку, %
Виробник №1 (основний)	1210	$150000\cdot Q^{0,8}+300000\cdot Q^{0,4}+500000\cdot Q^{0,6}+\frac{\frac{1000000\cdot W^{0,55}}{W}+200000}{20}$	3
Виробник №2	682	$250000\cdot Q^{0,8}+400000\cdot Q^{0,4}+600000\cdot Q^{0,6}+\frac{\frac{1500000\cdot W^{0,6}}{W}+300000}{10}$	17
Виробник №3	570	$220000\cdot Q^{0,8}+500000\cdot Q^{0,4}+550000\cdot Q^{0,6}+\frac{\frac{1800000\cdot W^{0,7}}{W}+300000}{10}$	17
Виробник №4	10	$100000\cdot Q^{0,8}+100000\cdot Q^{0,4}+300000\cdot Q^{0,6}+\frac{\frac{3500000\cdot W^{0,8}}{W}+400000}{20}$	17
Виробник №5	200	$120000\cdot Q^{0,8}+300000\cdot Q^{0,4}+200000\cdot Q^{0,6}+\frac{\frac{3000000\cdot W^{0,7}}{W}+300000}{20}$	17
Виробник №6	757	$250000\cdot Q^{0,8}+400000\cdot Q^{0,4}+400000\cdot Q^{0,6}+\frac{\frac{1900000\cdot W^{0,65}}{W}+400000}{16}$	17
Виробник №7	810	$220000\cdot Q^{0,8}+450000\cdot Q^{0,4}+700000\cdot Q^{0,6}+\frac{\frac{1700000\cdot W^{0,6}}{W}+300000}{8}$	17
Виробник №8	609	$240000\cdot Q^{0,8}+500000\cdot Q^{0,4}+650000\cdot Q^{0,6}+\frac{\frac{2200000\cdot W^{0,6}}{W}+400000}{8}$	17
Виробник №9	750	$140000\cdot Q^{0,8}+300000\cdot Q^{0,4}+550000\cdot Q^{0,6}+\frac{\frac{2000000\cdot W^{0,65}}{W}+300000}{10}$	17
Виробник №10	700	$100000\cdot Q^{0,8}+350000\cdot Q^{0,4}+500000\cdot Q^{0,6}+\frac{\frac{1700000\cdot W^{0,6}}{W}+300000}{10}$	17

ників матиме свій фінансовий результат, який буде відображати успішність роботи даного виробника на ринку теплової енергії. Основними показниками, які характеризують успішність роботи підприємства на ринку теплової енергії є [20]:

– загальний виторг *i*-го виробника,

– загальні витрати *i*-го виробника,

– загальний прибуток *i*-го виробника,

– різниця планового прибутку і фактичного прибутку *i*-го виробника,

– рентабельність *i*-го виробника.

Оскільки комунальні підприємства є основними постачальниками теплової енергії в містах, необхідно запровадити механізм стимулювання цих підприємств у випадку виникнення збитків за рахунок постійних витрат.

Є декілька способів забезпечення цієї

умови:

1. Повна компенсація збитків.
2. Часткова компенсація збитків із постійним відсотком компенсації
3. Часткова компенсація збитків із стимулюючим відсотком компенсації.

Вигоду від впровадження ринку теплової енергії необхідно розглядати з точки зору різниці в вартості спожитої теплової енергії та середньозважених тарифах на теплову енергію при його функціонуванні та відсутності. З іншого боку, розглядається сумарна величина прибутків виробників. Сума цих двох показників є цільовою функцією моделі ринку теплової енергії.

3. Результати моделювання

Основною метою моделювання є визначення оптимального коефіцієнта частки ринку при визначеній кількості виробників теплової енергії та кількості спожитої теплової енергії за рік споживачами на ринку.

Як вже відзначалося, вигода від впровадження ринку теплової енергії розглядається як різниця в вартості спожитої теплової енергії та середньозважених тарифах при його функціонуванні та відсутності. Саме ця різниця виступає цільовою функцією для оптимізації роботи ринку теплової енергії, де обмеженням виступає коефіцієнт частки ринку.

Різниця в тарифах на теплову енергію при функціонуванні та відсутності ринку теплової енергії, грн/Гкал:

$$\Delta T = T_1 - T^{с.\ зв.}. \quad (1)$$

Ефективність ринку теплової енергії. Даний показник є сумою вигоди від впровадження ринку теплової енергії із врахуванням компенсації збитків основного виробника і суми прибутків незалежних виробників, грн:

$$E = V + P, \quad (2)$$

де V – вигода від впровадження ринку теплової енергії із врахуванням компенсації збитків основного виробника, грн, P – сума прибутків незалежних виробників, грн.

Визначені показники випливають із розрахунку різниці фінансових результатів роботи за рік при функціонуванні ринку теплової енергії, та його відсутності.

Згадані вище показники були отримані при варіюванні коефіцієнта частки ринку в діапазоні від 0,01 до 0,5. Результати моделювання наведені в табл. 4 та на рис. 2.

На рис. 3 наведені результати моделювання у вигляді середньозважених тарифів на теплову енергію для споживачів та середньозважених цін для виробників у порівнянні із тари-

***Таблиця 4* – Результати моделювання ринку теплової енергії, млн грн**

Коефіцієнт частки ринку	Вигода від впровадження ринку теплової енергії, V	Сума прибутків незалежних виробників, P	Ефективність ринку теплової енергії, E
0,01	0,14	–4,32	–4,17
0,05	0,52	–7,83	–7,3
0,1	0,75	2,55	3,31
0,15	5,11	1,09	6,2
0,2	9,01	–3,78	5,22
0,25	11,99	–8,58	3,41
0,3	14,33	–12,34	1,99
0,35	16,35	–15,57	0,77
0,4	18,11	–18,54	–0,42
0,45	19,69	–21,31	–1,62
0,5	21,18	–23,91	–2,72

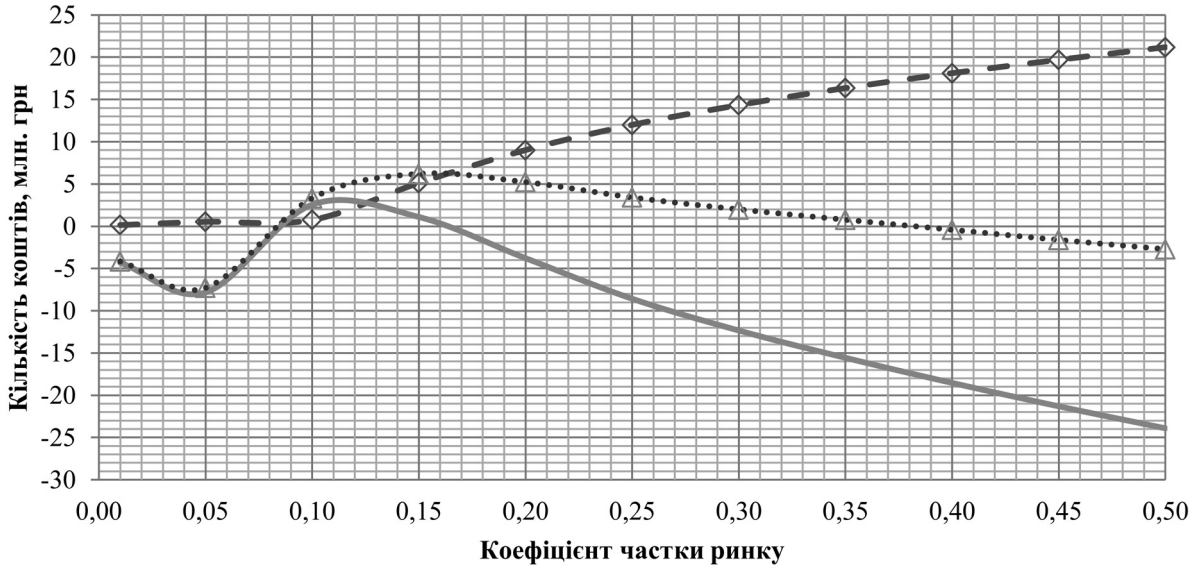

Рис. 2. Сумарні фінансові показники, млн грн

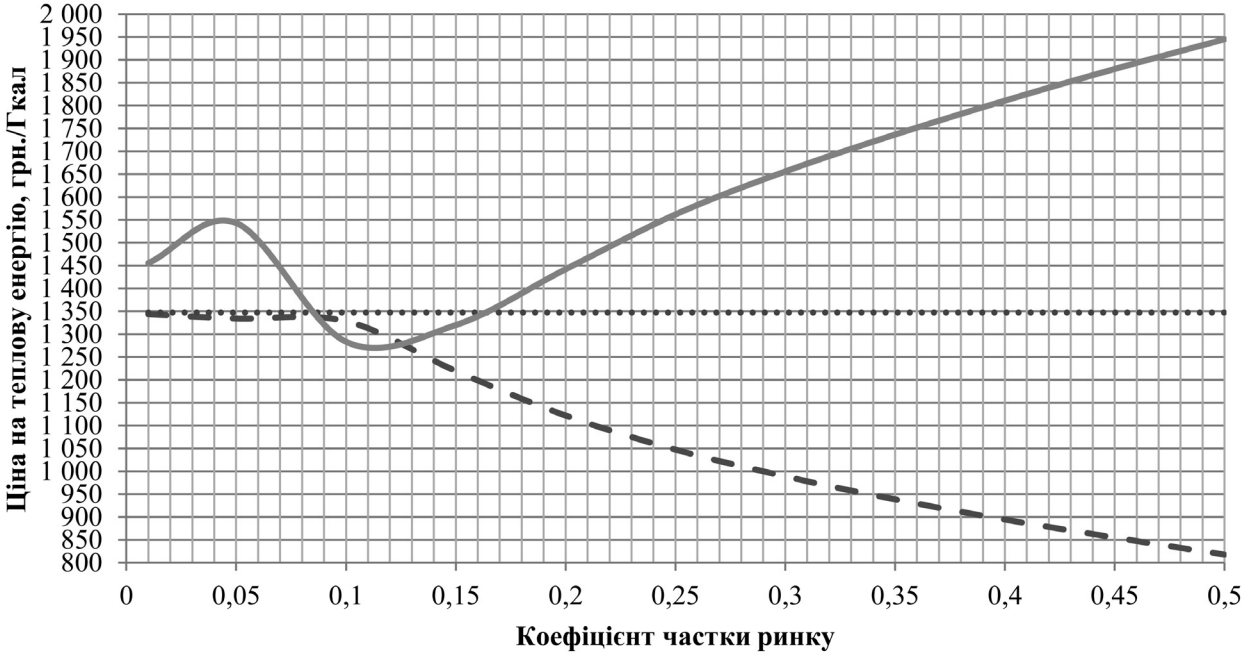

Рис. 3. Ціна на теплову енергію, грн/Гкал: *1* – середньозважена ціна незалежних виробників, *2* – тариф на теплову енергію основного виробника, *3* – середньозважений тариф на теплову енергію для споживача

фом на теплову енергію основного виробника за відсутності ринку теплової енергії.

За результатами моделювання визначено, що при збільшенні коефіцієнта частки ринку загальна вигода для споживачів збільшується, а отже і тариф на теплову енергію зменшується. Але, з певного моменту, середньозважена ціна незалежних виробників починає перевищувати тариф основного виробника. В цьому випадку, виникає ситуація, в якій неза-

лежні виробники фактично фінансують зниження тарифу для споживачів. Тому, ця зона не може вважатись ефективною при функціонуванні ринку теплової енергії.

З іншого боку, коли коефіцієнт частки ринку має малі значення, кількість виробленої теплової енергії для кожного з незалежних виробників призводить до підвищення собівартості теплової енергії за рахунок постійних витрат кожного з незалежних виробників.

Отже, маємо зону, в якій середньозважений тариф нижче за тариф основного виробника. Тому, можна казати про ефективну зону роботи ринку теплової енергії при даних умовах.

Висновки

Ефективне використання місцевих ресурсів для виробництва теплової енергії є важливим аспектом при функціонуванні ринку теплової енергії з точки державної політики в сфері енергетики. При створенні ринку теплової енергії, аналіз енергетичного потенціалу ресурсів є основоположним, оскільки саме ця інформація забезпечує використання об'єктивного показника частки ринку в ролі обмеження у поєднанні із такими характеристиками локального ринку теплової енергії, як об'єм споживання теплової енергії та кількість виробників.

У цій роботі проведено аналіз умов функціонування ринку теплової енергії для середнього за розмірами міста з населенням від 50 до 150 тисяч мешканців. За результатами моделювання взаємодії 10 виробників, які мають різні технології виробництва теплової енергії на ринку об'ємом споживання в 40 тис. Гкал, визначено ефективну зону роботи ринку теплової енергії при коефіцієнті частки ринку, яка знаходиться в діапазоні від 0,085 до 0,165, де середньозважений тариф незалежних виробників нижче за тариф основного виробника, із врахуванням компенсації збитків основному виробнику у випадку їх виникнення.

Розроблена модель дозволяє в подальшому визначити максимальну кількість виробників, нижній рівень об'єму споживання теплової енергії та оптимальний коефіцієнт частки ринку. Визначено, що при оптимальному коефіцієнті частки ринку, який становить 0,15, при тарифі основного виробника в 1350 грн/Гкал, середньозважений тариф для споживачів буде на 10% нижче при функціонуванні ринку теплової енергії. Для оптимізації рівня ефективності ринку теплової енергії, необхідно провести моделювання із зміною параметра кількості виробників на ринку, та об'єму споживання теплової енергії за рік. Важливим є визначення максимальної кількості виробників, при якій функціонування ринку теплової енергії є ефективним. Також, необхідним є визначення граничного нижчого рівня об'єму споживання теплової енергії за рік, нижче якого існування ринку теплової енергії є економічно не обґрунтованим.

Дана модель може бути використана в ролі інструменту для стратегічного планування систем теплопостачання існуючих міст, а також міст, які проектуються, для забезпечення максимального рівня ефективності таких систем, де визначними факторами для споживачів є кінцева ціна та якість теплової енергії.

1. Карпенко Д.С., Дешко В.І. Побудова ефективної моделі ринку теплової енергії в реаліях України. *Енергетика та електрифікація.* 2016. №2 (390). С. 18—23.

2. Про теплопостачання. Закон України від 02.06.2005 № 2633-IV з поточною редакцією від 01.01.2016 р. : URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2633-15/page (дата звернення: 06.09.2017).

3. Семенов В.Г. Оценка возможности организации конкуренции в системах теплоснабжения URL: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=316 (дата звернення: 15.08.2017).

4. Люльчак З.С., Хтей Н.І., Акімова Л.М. Засади формування конкурентних відносин на регіональних ринках теплової енергії системи централізованого теплопостачання. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка».* 2008. № 623. С. 137—142.

5. Гелетуха Г.Г., Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Перспективи впровадження конкурентного ринку теплової енергії. URL: http://uabio.org/img/files/Events/pdf/b4e-

conf-geletukha-20-09-2016-ua.pdf (дата звернення: 10.09.2017).
6. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Баштовий А.І. Аналіз моделей функціонування сектору централізованого теплопостачання країн Європейського Союзу. Частина 1. *Промислова теплотехніка*, 2016. Т. 38. №4. С. 63—70.
7. Гелетуха Г.Г.,Желєзна Т.А., Баштовий А.І. Аналіз моделей функціонування сектору централізованого теплопостачання країн Європейського Союзу. Частина 2. *Промислова теплотехніка*. 2016. Т. 38. №5. С. 78—85.
8. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Баштовий А.І. Аналіз тарифоутворення у секторі централізованого теплопостачання країн Європейського Союзу. Аналітична записка No 14 Біоенергетичної асоціації України. 2016. URL: http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper- uabio-14-ua.pdf (дата звернення: 07.09.2017).
9. Зябкин А.С. Рынок тепловой энергии и его специфика в классических и современных концепциях рыночных отношений. *БИЗНЕС. ОБРАЗОВАНИЕ. ПРАВО. Вестник Волго-градского института бизнеса.* 2011. №3 (16).
10. Семенов В.Г. Опыт Польши в теплоснабжении – урок для России. *Новости теплоснабжения*. № 9 (25), сентябрь. 2002. С. 8—15.
11. Башмаков И.А. Папушкин В.Н. Проблемы теплоснабжения и необходимость разработки программ развития, модернизации и реабилитации систем теплоснабжения. *Сантехника, Отопление, Кондиционирование*. 2005. №4. С. 56—62.
12. Малафеев В.А. К вопросу о едином закупщике в теплоснабжении. НП «Российское теплоснабжение» *Новости теплоснабжения.* 2004. №11. С. 21—25.
13. Папушкин В.Н. Радиус теплоснабжения. Хорошо забытое старое. *Новости теплоснабжения*. № 9 (25), сентябрь. 2010. С.44—49.
14. Папушкин В.Н., Полянцев С.О., Щербаков А.П., Храпков А.А., Методика расчета радиуса эффективного теплоснабжения для схем теплоснабжения URL: http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=1601 (дата звернення: 12.09.2017).
15. Шевцов А.І., Бараннік В.О., Земляний М.Г., Ряузова Т.В. Стан та перспективи реформування системи тепло забезпечення в Україні. Аналітична доповідь. URL: http://www.db.niss.gov.ua/docs/energy/Teplozabezpechennya.pdf (дата звернення: 03.06.2017).
16. Брич В., Федірко М., Янік І. Організаційно-економічні передумови реінженірінгу бізнес-процесів на ринку комунальної теплоенергетики України. *Вісник Тернопільского національного економічного університету*. № 2. 2016. С.7—19.
17. Демина О.В. Рынки тепловой энергии:тенденции пространственной организации. *Пространственная экономика*. 2016. №4. С.33—60.
18. Гаврикова А.О., Критический анализ функционирующей модели энергетического рынка Украины. URL: vestnik.kpi.kharkov.ua/files/vestnik/2011/39/2_39_2011.pdf (дата звернення: 15.09.2017).
19. Долматов И.А., Панова М., Дробыш И. Анализ возможных последствий и проблем внедрения новой модели рынка тепловой энергии. *Энергорынок*. № 3 (128). 2015. С.57—66.
20. Роберт С. Пиндайк, Дэниел Л. Рубинфельд. *Микроэкономика*. 2001. Санкт-Петербург: *Дело*.

Надійшла до редколегії 19.09.2017.