

УДК 519.876.3:658.264

Ющенко Н.Л.

*кандидат економічних наук, доцент  
Чернігівського національного технологічного університету*

Ігнатенков О.Л.

*кандидат технічних наук, доцент  
Чернігівського національного технологічного університету***ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ  
ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В УКРАЇНІ****TO THE QUESTION OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY  
OF CENTRALIZED HEAT SUPPLY IN UKRAINE****АНОТАЦІЯ**

У зв'язку з необхідністю зниження витрат під час виробництва, передачі та розподілення теплової енергії на виконання оновленої Енергетичної стратегії України на період до 2035 р., що має позначитися на розмірі тарифів на теплову енергію, стаття присвячена розрахунку втрат теплової енергії в теплотрасах на прикладі однієї з котельень району міста та обґрунтуванню доцільності використання економіко-математичного інструментарію теорії планування та управління мережами для підвищення енергоефективності централізованого теплопостачання в Україні.

**Ключові слова:** витрати, втрати в теплотрасах, гаряче водопостачання, теплові мережі, системи теплопостачання, централізоване теплопостачання.

**АННОТАЦИЯ**

В связи с необходимостью сокращения затрат в процессе производства, передачи и распределения тепловой энергии в контексте выполнения обновленной Энергетической стратегии Украины на период до 2035 г., что должно отразиться на размере тарифов на тепловую энергию, статья посвящена расчету потерь тепловой энергии в теплотрассах на примере одной из котельных района города, а также обоснованию целесообразности использования экономико-математического инструментария теории сетевого планирования и управления для повышения энергоэффективности централизованного теплоснабжения в Украине.

**Ключевые слова:** затраты, потери в теплотрассах, горячее водоснабжение, тепловые сети, системы теплоснабжения, централизованное теплоснабжение.

**ANNOTATION**

In connection with the need to reduce costs in the process of production, transmission and distribution of thermal energy in the context of implementing the updated Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035, which should affect the amount of tariffs for thermal energy, the article is devoted to the calculation of heat losses in heating mains by the example of one of the boiler-houses of the city, as well as the rationale for the use of economic and mathematical tools of the theory of network planning and management in order to improve energy efficiency district heating in Ukraine.

**Keywords:** costs, losses in heating mains, hot water supply, heating networks, heat supply systems, centralized heat supply.

**Постановка проблеми.** Підвищення ефективності використання наявних ресурсів енергії стало нагальною світовою проблемою у зв'язку з глобальними змінами клімату та вичерпанням запасів викопних ресурсів енергії на планеті. У 2011 р. Євросоюз ще раз підтвердив свою офіційну мету щодо зниження емісії парникових газів (декарбонізації) у 2050 р. на 80–95% порівняно з показниками 1990 р., щоб дотри-

матися сценарію зміни клімату 2DS. Оскільки сектор енергетики є одним з основних джерел викидів парникових газів, які пов'язані з діяльністю людини, головні резерви скорочення цих викидів мають бути знайдені і реалізовані саме в ньому. Європейською Комісією розроблена Дорожня карта з енергетики до 2050 р., в якій проаналізовано, як саме можна досягти поставлених цілей зі зниження емісії парникових газів, забезпечуючи при цьому надійність та конкурентоспроможність систем енергопостачання [1]. З огляду на те, що в світі все більше уваги приділяється питанням зменшення шкідливих викидів та скороченню споживання традиційних паливно-енергетичних ресурсів, централізоване теплопостачання стає складником у вирішенні цих питань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Науковим, методичним і прикладним аспектам економіко-математичного моделювання процесів розвитку теплоенергетики присвячено дослідження А. Алексахіна і А. Бобловського [2], А. Буяка [3], О. Гаврися [4], В. Клименка та Ю. Орлова [5], Д. Чернікова [6] та інших вітчизняних і закордонних науковців. Проте існує можливість застосування моделей і методів теорії планування й управління мережами, а також вдосконалення науково обґрунтованої системи економіко-математичних моделей підтримки прийняття рішень щодо модернізації комунальної теплоенергетики.

**Мета статті** полягає у розрахунку втрат теплової енергії в теплотрасах на прикладі котельні одного з районів обласного центру та обґрунтуванні доцільності використання економіко-математичного інструментарію теорії планування та управління мережами в процесі розподілу ресурсів під час модернізації активів галузі теплоенергетики в Україні.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У країнах Європейського Союзу найбільша частка кінцевого енергоспоживання (45%) припадає на теплову енергію, що набагато більше інших напрямів споживання: електроенергія – 20%, транспорт – 26%, неенергетичне використання – 9% [7]. Житловий фонд споживає 40% загального обсягу кінцевої енер-

гії, з яких 68% іде на опалення та 14% – на гаряче водопостачання. Сьогодні в країнах ЄС нараховується більше 6 тис. систем централізованого теплопостачання, що забезпечують 12% загальної потреби в тепловій енергії. Послугами централізованого теплопостачання користуються близько 60 млн. осіб. Більше 140 млн. осіб живуть у містах, де існує принаймні одна система централізованого теплопостачання. У 2013 р. частка населення, що користується послугами централізованого теплопостачання, перевищила 50% у восьми європейських країнах: Ісландії – 92%, Латвії – 65%, Данії – 63%, Литві – 57%, Естонії – 62%, Польщі – 53%, Швеції – 52%, Фінляндії – 50%.

У державах Західної Європи домінуючими стали системи централізованого теплопостачання з використанням технологій комбінованого виробітку теплової та електричної енергії. В останні десятиліття такі системи створювали Фінляндія, Швеція, Данія, Норвегія, Австрія та інші країни. Так, Данія за останні 20 років подвоїла частку централізованого теплопостачання на всьому ринку тепла, яка зросла з 30% до 60%. Швеція – одна з лідируючих країн світу у сфері централізованого теплопостачання, яка щорічно виробляє майже 40 ТВт/год. теплової енергії. Стале зростання потужностей ТЕЦ і невеликих установок комбінованого циклу спостерігається у Німеччині, Нідерландах, США, Франції, Великобританії. Щорічний приріст електричної потужності ТЕЦ у США становить майже 3 000 МВт, теплової – 3 500 Гкал/год. [8]. Позитивний досвід ефективного використання центрального опалення демонструють скандинавські країни.

У різних країнах ЄС частка приватних форм власності у секторі централізованого теплопостачання становить до 40% [9]. Серед експертів немає єдиної думки щодо того, які компанії ефективніші – приватні чи ті, що перебувають у державній власності, все залежить від менеджменту тієї чи іншої компанії, спроможної забезпечити високу ефективність роботи, якість послуг і конкурентні ціни. Наприклад, повністю в державній власності під контролем або держави, або муніципалітету перебувають системи централізованого теплопостачання таких міст, як Гельсінкі, Мюнхен, Гетеборг, Відень, Будапешт, повністю в приватній власності – Упсала, Мальме, Берлін, Гамбург. Окрім того, поширена змішана форма власності й управління: договір на експлуатацію або управління (Бурос, Швеція), оренда (Таллінн, Вільнюс), концесія (Париж з 1927 р.), приватизація тільки генеруючих потужностей теплоенергетики (Копенгаген, Варшава, Брно, Рига, Бухарест), партнерство за участю обраних приватних компаній у статутною капіталі (Пльзень, Дюссельдорф), партнерство за участю приватного капіталу, залученого на фондовому ринку (Мангейм, Вроцлав), повністю приватна власність із підтримкою з боку муніципалітету (Саутгемптон).

Для підвищення ефективності функціонування ринку теплової енергії кращі практики європейських країн з урахуванням місцевих умов показані для впровадження в Україні, адже системи центрального теплопостачання в містах переважної більшості пострадянських країн потребують реконструкції і оновлення. В умовах зростання цін енергоносіїв комплексна модернізація інфраструктури цих систем є як ніколи актуальною [10].

За довготривалий час експлуатації (далеко не завжди коректної) знос обладнання котелень і теплотрас досяг критичного рівня, а втрати теплоносія стали значними, що, своєю чергою, призвело до незадовільної якості обслуговування та постійних аварій. Разом із тим стрімко зросли ціни на традиційне паливо – газ, мазут і вугілля, що відразу ж відобразилося на тарифах і, відповідно, поведінці кінцевого споживача.

У житловому секторі, не утепленому і в 60% випадків побудованому за старими радянськими ГОСТами, розрахованими на низьку ціну енергоносіїв, хаотичні переходи на індивідуальні котли окремих квартир і відключення від старих однотрубних систем сприяли розбалансуванню систем центрального опалення, прискорення зносу огорожувальних конструкцій та інших не менш негативних результатів. І якщо в індивідуальних системах опалення громадяни знайшли принаймні тимчасове рішення (вельми залежне від зростання тарифів на газ та електроенергію, а також сумнівне в контексті впливу на будівлю), то в бюджетній сфері знос основних засобів і периферійної інфраструктури виявився величезною проблемою. Через інфляційні процеси, зростання цін на енергоносії та низку інших факторів грошей, закладених у муніципальних бюджетах, не вистачало не тільки для здійснення ремонтних робіт, а й для забезпечення самого опалення.

Системи централізованого теплопостачання об'єктів житлового і громадського призначення в Україні, які в більшості створювалися у період масового житлового будівництва у 60-ті – початок 80-х років ХХ ст. і з того часу практично не оновлювалися, забезпечують теплопотреби близько 55% населення, потребують комплексної модернізації. Основне та допоміжне обладнання значної кількості котелень вичерпало допустимі терміни експлуатації, що зумовлює високий рівень споживання палива, забруднення довкілля і призводить до зниження надійності та якості теплопостачання [11].

В Україні одна з найвищих у світі насиченість міст тепловими мережами. Протяжність магістральних і розподільчих теплових мереж (за винятком власних тепломереж промислових підприємств) становить 24,3 тис. км у двотрубному обчисленні, у тому числі тепломережі Мінпалівернерго України – 3,5 тис. км діаметром від 125 до 1 400 мм, комунальні тепломережі – 20,8 тис. км діаметром від 50 до 800 мм

[12]. Зношеність магістральних і розподільних мереж досягає 70% їх загальної протяжності [13]. Втрати тепла через неякісну ізоляцію трубопроводів із витокami теплоносія під час пошкодження труб становлять більше 20% від відпущеної теплової енергії проти 13%, які передбачені нормами. Наприклад, виконаний нами підрахунок утрат у теплових мережах одного з мікрорайонів міста, за даними лічильників споживачів, показав цифру більше 30% (див. нижче).

В Україні витрати тепла на опалення об'єктів такої ж площі у два-три рази перевищують рівень країн Західної Європи [14]. Взагалі втрати теплової енергії в генерації сягають 30%. До будинків корисно доходить 55 зі 100 м<sup>3</sup> газу, спалених у котельнях. Утрати транспортування – 25–40%, фактично корисно використовується 21 зі 100 спалених м<sup>3</sup> газу. Втрати в будівлях сягають 77% від отриманого тепла з котельні, корисно виходить 70 зі 100 м<sup>3</sup> спаленого газу, з них 20 млрд. власного видобутку, 10 – імпортується за ціною 4,942 тис. грн. за тис. м<sup>3</sup> без ПДВ [15]. Країна щороку випалює близько 30 млрд. м<sup>3</sup> газу на опалення та приготування їжі. 40% теплогенерації не обладнані засобами обліку проданого тепла, 70% споживачів не обладнані лічильниками спожитого тепла й оплачують за умовні метри. Доплати продавцям енергії на два порядки більші, ніж вкладення в енергозбереження. 60% відпущеного тепла в країні перебувають поза обліком. Візуалізація термовізійною камерою демонструє втрати в перегрітих будинках через поведінку (наприклад, відкриті вікна), наземні теплотраси +29° при -19°, фрагменти теплотрас +80° при -20°, земля над теплотрасою тепліша на 12 градусів від повітря при -16° через погану ізоляцію теплотрас, при -20° на вулиці люки можуть мати до +90°, у бюджетних установках батареї видно через стіну, поверхні будинків на 6–10 градусів тепліші за повітря [16].

Нами виконано розрахунок утрат теплової енергії в теплотрасах [17, с. 330–346] до об'єктів, що входять до складу системи опалення однієї з котельні району міста стосовно періоду опалення 30 днів з 18 листопада до 18 грудня (дати фіксації показань лічильників).

Вихідні дані.

Витрата природного газу – 159,168 тис. м куб., у тому числі витрата поза котельні – 0,348 тис. м куб. (Акт за грудень 2010 р. – за 30 днів).

Калорійність газу – 8,35 Гкал на 1000 м куб. ККД котлів – 83%.

Кількість теплової енергії, використаної сторонніми споживачами, – 280 Гкал (Відомість обліку від 17.12.2010 – за 29 днів).

Кількість води, споживаної у системі гарячого водопостачання: гуртожиток – 1 146 куб. м, сторонні споживачі – 813 куб. м, корпуси закладу освіти – 320 куб. м, загалом – 2 280 куб. м (дані журналу обліку в котельні).

Температура питної води – 5°С, нагрітої – 50°С.

Середньомісячна різниця температур на подаючому та зворотному трубопроводах –  $\Delta t = 7,6^\circ\text{C}$  (за даними журналу обліку котельні).

Теплоємність води – 1 Гкал/тис. м куб.

Розрахунок.

1. Витрата теплової енергії сторонніми споживачами за 30 днів:

$$Q_c = 280 \times 30 / 29 = 290 \text{ Гкал.}$$

Втрата газу за вирахуванням витрат поза котельні:

$$L = 159,168 - 0,348 = 158,8 \text{ тис. м куб.}$$

2. Теплота, що надійшла до теплотраси від спалювання газу (з урахуванням ККД котлів):

$$Q = 158,8 \times 8,35 \times 0,83 = 1100 \text{ Гкал.}$$

За вирахуванням теплоти спожитого гарячого водопостачання:

$$Q_g = 2,28 (50 - 5) = 100 \text{ Гкал.}$$

$$Q_t = 1100 - 100 = 1000 \text{ Гкал.}$$

3. Витрата мережної води насосами:

$$G = Q / C \Delta t = 1100 / 7,6 = 145 \text{ м куб./год.}$$

Місячна витрата води  $M = 0,145 \times 24 \times 30 = 104,4 \text{ тис. м куб.}$

4. Мінімальна витрата мережної води сторонніми споживачами (вважається, що середньомісячна різниця температур на подаючому та зворотному трубопроводах у місці встановлення лічильників споживачів не може бути більшою за  $\Delta t = 7,6^\circ\text{C}$ ):

$$M_c = Q_c / C \Delta t = 290 / 7,6 = 38,2 \text{ тис. м куб.}$$

5. Максимальна витрата мережної води споживачами, що не оснащені приладами обліку теплової енергії:

$$M_n = 104,4 - 38,2 = 66,2 \text{ тис. м куб.}$$

Максимальна споживана ними теплова енергія:

$Q_n = 66,2 \times 7,6 = 503,1 \text{ Гкал}$  (якщо вважати, що перебіг температур на подаючому та зворотному трубопроводах на об'єктах така ж, як на котельні).

6. Максимальна теплова енергія, споживана всіма споживачами:

$$Q_p = 503,1 + 290 = 793,1 \text{ Гкал.}$$

7. Мінімальні втрати у теплотрасах:

$$Q_t = 1000 - 793,1 = 206,9 \text{ Гкал.}$$

У процентному відношенні:

$$206,9 \times 100 / 1000 - \text{це більше } 20\%.$$

8. Доказово, якщо прийняти середньомісячну різницю температур на подаючому та зворотному трубопроводах у місці встановлення лічильників споживачів на півградуса меншу  $\Delta t = 7^\circ\text{C}$ , тоді:

$$M_c = 290 / 7 = 41,5$$

$$M_n = 104,4 - 41,5 = 62,9$$

$$Q_n = 62,9 \times 7 = 440$$

$$Q_p = 440 + 290 = 730 \text{ Гкал.}$$

Втрати у теплотрасах  $Q_t = 1000 - 730 = 270 \text{ Гкал.}$

У процентному відношенні  $270 \times 100 / 1000 - \text{це більше } 27\%.$

**Висновки.** Зниження витрат під час виробництва, передачі та розподілення теплової енер-

гії, що має позначитися на розмірі тарифів на теплову енергію, – один з основних напрямів розвитку теплової енергетики, передбачених оновленою Енергетичною стратегією України [18]. Потрібна модернізація активів галузі, зниження втрат енергії та підвищення якості послуг теплогенеруючих і теплопостачальних підприємств. При цьому спеціалісти й зовнішні підрядники, обладнання, необхідне для виконання певної роботи, а також фінансові ресурси повинні розподілятися з урахуванням потреби інших робіт у цих ресурсах.

Підвищити ефективність планування виконання істотних за обсягами, вартістю і часом робіт, управління проектами з заміни та/або модернізації пунктів генерування і мереж транспортування пару, гарячої води та кондиціонованого повітря дасть змогу адаптація наявних у теорії планування та управління мережами економіко-математичних моделей та методів критичного шляху (critical path method, CPM), оцінки і перегляду планів (Program Evaluation and Review Technique, PERT), прийняття рішень щодо стохастичних GERT-мереж (Graphical Evaluation and Review Technique) [19, с. 309–313] та використання відповідного програмного забезпечення як, наприклад, Project Standard, Open Plan, Primavera Project Planner, SureTrak Project Manager та ін. [20], що допомагатимуть генерувати інваріанти управлінських рішень щодо встановлення послідовності і термінів використання обмежених ресурсів протягом усього періоду реалізації проекту, проводити динамічне регулювання термінів початку кожного виду робіт [21], здійснювати оптимальний розподіл засобів, відведених на проект, за критерієм скорочення тривалості всього проекту, виконувати аналіз компромісних співвідношень між витратами і термінами виконання різноманітних робіт з урахуванням наявного резерву часу, коли йдеться про велику кількість взаємопов'язаних робіт, що повинні виконуватися у суворій технологічній послідовності, потребують встановлення термінів і контролю для досягнення поставленої цілі.

Поточний інвестиційний портфель Світового банку в Україні становить 2,8 млрд. дол. США. Більшість цих інвестицій мають на меті підвищення якості базових державних послуг, які приносять безпосередню користь звичайним людям, у тому числі й у таких сферах, як опалення та енергопостачання. Після приєднання України до Світового банку в 1992 р. сукупний розмір операцій банку в країні сягнув більше 12 млрд. дол. США за 70 проектами та програмами [22], серед яких і проект Світового банку «Підвищення енергоефективності централізованого теплопостачання в Україні» з пільговим кредитуванням під 1% річних, розрахований на десять міст України, що вже стартував у семи містах, серед них – Харків, Дніпро, Миколаїв, Херсон.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Аналіз енергетичних стратегій країн ЄС та світу і ролі в них відновлювальних джерел енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://greenergy.com.ua/info-data/analiz-energetichnih-strategij-krajin-es-ta-svitu-i-roliv-v-nih-vidnovlyuvai-nih-dzherel-energiyi/>.
2. Алексахин А.А. Теплотери трубопроводами отопительной сети при изменении расчетной отопительной загрузки зданий микрорайона / А.А. Алексахин, А.В. Бобловский // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 9 (91). – С. 20–27 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://cyberleninka.ru/article/n/-teplopoteri-truboprovodami-otopitelnoy-seti-pri-izmenenii-raschetnoy-otopitelnoy-nagruzki-zdaniy-mikrorayona-1>.
3. Буюк А.Є. Економіко-математичне моделювання розвитку енергетики регіону : автореф. дис. ... канд. екон. наук : спец. 08.00.11 «Математичні методи, моделі і інформаційні технології в економіці» / А.Є. Буюк. – К., 2010. – 20 с.
4. Оптимізація систем теплопостачання із використанням економіко-математичного моделювання : [монографія] / За заг. ред. О.М. Гаврися. – Х. : НТУ «ХПІ», 2015. – 209 с.
5. Клименко В.А. Математическая модель оптимизации системы теплоснабжения / В.А. Клименко, Ю.Н. Орлов [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=473](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=473).
6. Черников Д.Н. Обоснование способов повышения надежности систем теплоснабжения населенных пунктов при планировании ремонтно-восстановительных работ : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.08 «Технология и организация строительства» / Д.Н. Черников ; Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. – Воронеж, 2014. – 140 с.
7. Як працюють ринки теплової енергії в країнах ЄС // Україна Комунальна від 01 листопада 2016 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://jkg-portal.com.ua/ua/publication/one/jak-pracujut-rinki-teploveji-jenergi-v-krajinah-jes-48089>.
8. Шалигайло А. Аналіз досвіду застосування систем опалення, у тому числі індивідуальних, іноземними державами / А. Шалигайло [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.pereobuy.com.ua/about/branch/branch-te/1416-analiz-dosvidu-zastosuvannya-sistem-opalennya-u.html>.
9. Рынки тепловой энергии в странах ЕС // Южная правда. – 2017. – № 140(23612) [Электронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.up.mk.ua/mainpage/show\\_item/14122](http://www.up.mk.ua/mainpage/show_item/14122).
10. Бюллетень о внедрении проектов в рамках Программы Восточного партнерства ЕС «Демонстрационные проекты Соглашения мэров» (CoMDeP) [Электронний ресурс]. – Режим доступу : [http://com-dep.enefcities.org.ua/upload/files/CoMDeP\\_Newsletter%20No1\\_FINAL\\_RU\\_print\(1\).pdf](http://com-dep.enefcities.org.ua/upload/files/CoMDeP_Newsletter%20No1_FINAL_RU_print(1).pdf).
11. Програма модернізації систем теплопостачання на 2014–2015 роки : Постанова Кабінету Міністрів України № 948 від 17.10.2013 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/948-2013-%D0%BF>.
12. Характеристика сучасного стану теплових мереж [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
13. Дзеркало тижня [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://dt.ua/ECONOMICS/meshkanci-budinkiv-nedootrimuyut-do-45-tepla-cherez-yogo-vtrat-128039\\_.html](http://dt.ua/ECONOMICS/meshkanci-budinkiv-nedootrimuyut-do-45-tepla-cherez-yogo-vtrat-128039_.html).
14. Аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду використання енергозберігаючих технологій у галузі будівництва / За ред. М.А. Саницького, О.Р. Позняк. – Львів, 2008 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [cstei.lviv.ua/upload/pub/Energo/1259276548\\_34.pdf](http://cstei.lviv.ua/upload/pub/Energo/1259276548_34.pdf).

- 15.Топалов М. Ціна на газ: удар по кишенях українців чи розлучення з МВФ / М. Топалов // Економічна правда [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.epravda.com.ua/publications/2017/10/9/629897/>.
- 16.Втрати теплової енергії в Україні – де ховаються проблеми? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://prezi.com/ro7ubjqevqst/presentation/>.
- 17.Кулаков Н.Г. Справочник по эксплуатации систем теплоснабжения / Н.Г. Кулаков, И.А. Бережнов. – К. : Будівельник, 1977. – 352 с.
- 18.Про схвалення концепції Енергетичної стратегія України на період до 2035 р. : Проект Розпорядження Кабінету Міністрів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?jsessionid=AD08EE061406F1E3F3605ABE4B949A3A.app1?art\\_id=245068707](http://www.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?jsessionid=AD08EE061406F1E3F3605ABE4B949A3A.app1?art_id=245068707).
- 19.Филлипс Д. Методы анализа сетей / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас ; пер. с англ. Е.Г. Коваленко, М.Г. Фуругяна ; под ред. Б.Г. Сушкова. – М. : Мир, 1984. – 496 с.
- 20.Ющенко Н.Л. Інформаційні технології, що реалізують моделі та методи аналізу в процесі прийняття рішень щодо ресурсів і витрат при модернізації теплоенергетики в Україні / Н.Л. Ющенко // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС '2017 : тези доповідей Дванадцятої міжнародної наук.-практ. конф. (Чернігів, 26–29 червня 2017 р.). – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – С. 224–232.
- 21.Ющенко Н.Л. Математичні моделі визначення резерву часу для збалансованого розподілу трудових, матеріальних і фінансових ресурсів при модернізації комунальної теплоенергетики України / Н.Л. Ющенко // Науковий вісник Полісся. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2016. – № 2. – С. 16–25.
- 22.Економіка поступово відновлюється попри суттєві виклики [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.worldbank.org/uk/news/press-release/2017/04/04/ukraine-economic-update-spring-2017>.