

В. Г. ДЕМЧЕНКО, А. В. КОНИК**ЗМЕНШЕННЯ НЕПРОДУКТИВНИХ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ПРИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ**

Стаття присвячена аналізу непродуктивних втрат при генерації теплової енергії. Встановлено причини теплових втрат на станційному обладнанні, технологічному трубопроводі та при розбалансуванні технологічних процесів. В результаті надані рекомендації сумісного застосування атомних електростанцій (АЕС) або теплових електростанцій (ТЕС) з доступними відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ), за допомогою систем теплового акумулювання, що дасть можливість збалансувати систему «генерація – транспортування – споживання». Застосування стаціонарних та мобільних теплових акумуляторів при генерації дозволить знизити теплові втрати.

Ключові слова: генерація енергії, теплові втрати, тепловий акумулятор

В. Г. ДЕМЧЕНКО, А. В. КОНЫК**УМЕНЬШЕНИЕ НЕПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПРИ ГЕНЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ**

Статья посвящена анализу непроизводительных потерь при генерации тепловой энергии. Установлены причины тепловых потерь на станционном оборудовании, технологическом трубопроводе и при разбалансировке технологических процессов. В результате даны рекомендации совместного применения атомных электростанций (АЭС) или тепловых электростанций (ТЭС) с доступными возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), с помощью систем теплового аккумулирования, что позволит сбалансировать систему «генерация – транспортировка – потребление». Применение стационарных и мобильных тепловых аккумуляторов при генерации позволит снизить тепловые потери.

Ключевые слова: генерация энергии, тепловые потери, тепловой аккумулятор

V. DEMCHENKO, A. KONYK**REDUCING OF NON-PRODUCTIVE HEAT LOSSES IN ENERGY GENERATION**

The article is devoted to the analysis of non-productive losses in the generation of thermal energy. The causes of heat losses and their localization on the station equipment, technological pipeline and at unbalance of technological processes are established. As a result of the analysis, recommendations were given for the joint use of nuclear power plants (NPPs) or thermal power plants (TPPs) with available renewable energy sources (RES), using thermal storage systems, which will balance the system "generation - transportation - consumption". The use of stationary and mobile heat accumulators in the generation of RES, secondary thermal energy (TER) will reduce heat loss, use low-potential sources, which will relieve service equipment, reduce fuel consumption (FER) and harmful emissions into the environment. Also, it is recommended to conduct a full energy audit of station equipment and pipelines. Implement replacement of technically obsolete equipment with low efficiency, replace piping and insulation. Update the automation system, introduce a process scheduling system. Balance technological processes.

Keywords: energy generation, heat loss, heat storage

Вступ

Сьогодні світ змінює своє ставлення до оточуючого середовища, природокористування та усвідомлює наслідки тієї шкоди, якої йому завдає. Тому у всіх напрямках діяльності людини відбуваються зміни, що здатні мінімізувати її негативний вплив. Одним з основних і фундаментальних напрямків діяльності є теплоенергетика, яка наразі переглядає парадигму природокористування та активно розвиває безкарбонову енергетику. Країни з розвинутою економікою в останні десятиліття здійснюють перехід до *SMART GRID* систем («розумна мережа») теплопостачання четвертого покоління 4GDH (4th Generation District Heating) і розробляють майбутні системи 5GDH (5th Generation District Heating) [1, 2], основними рисами яких є:

– широке застосування нетрадиційних джерел енергії: відновлювальної енергетики (ВДЕ), вторинних теплових енергоресурсів (ВТЕР), теплових насосів та будь-яких доступних місцевих видів палив;

– перехід до низькотемпературних режимів теплозабезпечення, де температура теплоносія знаходиться в межах 50...30 °С при зниженні робочого тиску;

– широке впровадження систем зберігання та накопичення теплоти;

– забезпечення високої стабільності роботи енергетичної системи та теплових мереж шляхом автоматизації та диспетчеризації процесів. Створено інтелектуальну систему управління, що дозволяє в режимі реального часу контролювати та керувати параметрами системи.

Потенціал застосування нетрадиційних джерел енергії є надзвичайно потужним, деякі дослідження показують, що він може практично повністю задовольнити потреби у теплі в секторі житлово-комунального господарства ЕС, що знайшло часткове відображення в Енергетичній стратегії України на період до 2035 року. Але застосування ВДЕ має проблемні аспекти, які потрібно вирішити, щоб забезпечити ефективну і стабільну роботу джерела. Дві основні проблеми – це ситуативний

характер розташування джерела і мінливий характер його роботи, що залежить від пори року чи часу доби. Ці дві проблеми впливають на формування собівартості енергії і негативно позначаються на її вартості при розбалансуванні технологічних процесів генерації енергії. Основною проблемою є нерівномірне навантаження на станційне обладнання АЕС чи ТЕС, що зумовлено нерівномірністю між потужністю джерела та потребою споживача. Виникають пікові навантаження на обладнання та нічні «провали». Для розв'язання цих проблем необхідно провести аналіз роботи джерела енергії, визначити основні негативні чинники й запропонувати рішення, направлені на оптимізацію генерації та зменшення непродуктивних теплових втрат [3].

Мета роботи

Мета роботи – визначити причини непродуктивних втрат при генерації енергії, проаналізувати можливість їх зменшення та обґрунтувати ефективність застосування теплових акумуляторів для компенсації теплових втрат.

Задачі роботи:

- 1 Сформулювати причини непродуктивних теплових втрат при генерації енергії.
- 2 Проаналізувати можливість їх усунення.
- 3 Проаналізувати вплив використання теплового акумулятора для зменшення непродуктивних втрат.

Причини та аналіз теплових втрат

Переважаюча частина теплових втрат при тепlopостачанні зумовлена незбалансованістю системи «генерація енергії – система постачання – споживач» і можуть сягати 30...40 %, при нормативних показниках 15 %. Частка нормативних втрат на джерелі енергії обмежується 4 %, але на практиці даний показник складає 17...19 % [4]. Втрати теплоти при транспортуванні пов'язані, в першу чергу, зі зношеністю транспортної інфраструктури. Часті пориви, що супроводжуються витоком теплоносія та втрати теплоти через ізоляцію складають близько 20 % при нормативно дозволених 8 %. Втрати на розподільчих мережах складають близько 8 % при нормативних 3 %. Окремо потрібно розглядати втрати у споживача, оскільки характер їх появи дуже різноманітний – від технічного до психологічного, вони мають одне з найбільших значень, яке не нормується.

Непродуктивні втрати при генерації тепла виникають – на станційному котельному обладнанні, магістральних трубопроводах та незбалансованості збуту та споживанні теплової енергії.

Втрати на станційному обладнанні пов'язані, як правило, з низьким ККД технічно

застарілого обладнання, довгим терміном його експлуатації та технологією генерації теплоти. Близько 50 % основного та допоміжного обладнання ТЕЦ в Україні вичерпало допустимі терміни експлуатації та перевищує 30 років. Котли при різних навантаженнях працюють з коефіцієнтом корисної дії, який не перевищує 60...90 %.

На котлах встановлені палиникові пристрої та автоматика застарілої конструкції, які не дають можливості ощадливо використовувати органічні палива. Перевитрата палива на цих котлах сягає 10...15 % від рівня сучасних котлів, що призводить до додаткового забруднення атмосфери. Також морально застаріле обладнання знижує надійність тепlopостачання та його якість.

Як приклад, при проведенні авторами статті експертних робіт на ТЕЦ встановлено, що величини технологічних втрат теплоти складають:

- наднормативне підвищення коефіцієнту надлишку повітря на 0,2 підвищує втрату теплоти з відхідними газами на 1–2 %, ККД котлоагрегату знижується на 2 %, втрата палива підвищується на 2,5–3 %;
- порушення обмурівки котла на 30 % і більше приводить до наднормативної втрати теплоти на 1–2 %;
- збільшення об'єму продуктів згоряння палива на 80–90 % внаслідок розбавлення їх повітрям, збільшує втрату теплоти від хімічної неповноти згоряння палива у 2 рази;
- відхилення вмісту CO₂ у відхідних газах від оптимального значення на 1 % збільшує перевитрату палива котлоагрегатом на 0,6 %;
- наявність накипу на внутрішній поверхні котла товщиною 1,0 мм збільшує витрату палива на 2 %;
- збільшення продувки котла проти нормативних значень на 1 % еквівалентне перевитраті палива на 0,3 %;
- відхилення навантаження котла від оптимального на 10 % в бік зменшення приводить до перевитрати палива на 0,2 %, а в бік збільшення – на 0,5 %.

Втрати на технологічному трубопроводі – втрати сягають 30 %. Великі втрати тепла обумовлює низька надійність теплотрас через незадовільний стан ізоляції трубопроводів та через пориви з втратами теплоносія та корозією трубопроводів. Більшість теплотрас прокладені в непрохідних каналах з недосконалою ізоляцією. Теплотраси часто не захищені від проникання ґрунтових вод, що призводить до ушкодження ізоляції і, як наслідок, до корозії труб, появи свищів та розривів трубопроводів з утканням теплоносія. Часто повністю відсутня деаераційна обробка теплоносія, що приводить до корозії трубопроводів та обладнання.

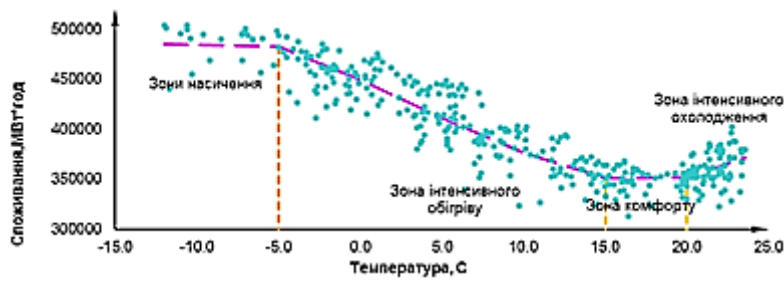


Рис. 1 – Типовий добовий графік навантаження енергосистеми України [5]

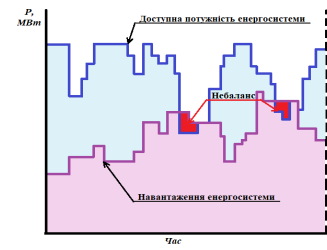


Рис. 2 – Пінч-аналіз доступних резервів потужності теплоенергосистеми [6]

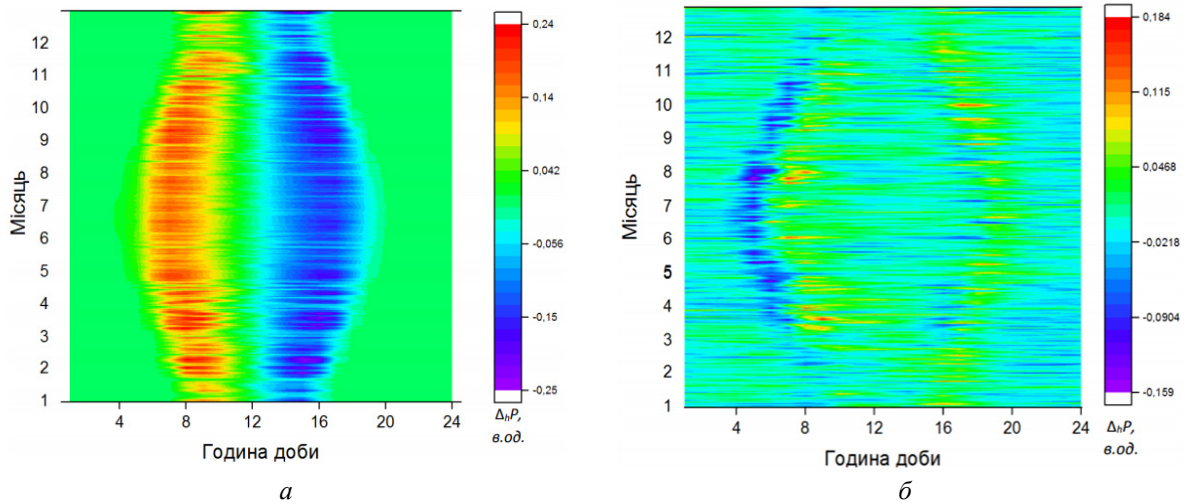


Рис. 3 – Розподіл стрибків потужності, генерованої групою електростанцій [6]:
а – сонячних електростанцій (СЕС); б – вітрових електростанцій (ВЕС)



Рис. 4 – Схема застосування систем стаціонарного та мобільного зберігання теплоти:
ВДЕ – відновлювальні джерела енергії; МТА – мобільний тепловий акумулятор; ВТЕР – вторинні теплові енергоресурси; ТЕС (ТЕЦ) – теплові електростанції; ТА – тепловий акумулятор

В результаті частого відключення абонентів теплової мережі гідравлічна система знаходиться в гідравлічно-тепловому розрегульованому стані, що приводить до додаткових витрат теплової та електричної енергії та перевитратам теплоносія.

Втрати при розбалансуванні технологічних процесів, викликаних невідповідністю в часі генерації та споживання, рис. 1, 2. Як правило, джерела енергії ТЕС, АЕС генерують енергію зі стабільною потужністю, а потреба у споживача змінюється протягом часу доби, а також в залежності від сезону.

При генерації енергії ВДЕ, наприклад сонця і вітру, потужності мають нерівномірний характер, рис. 3. Ці фактори викликають нерівномірне навантаження на станційне обладнання [6]. Одним з шляхів розв'язання цієї проблеми може бути застосування теплових акумуляторів (ТА), які накопичують надлишок теплоти і віддають його за необхідності.

Обговорення можливих рішень

Одним з рішень зменшення непродуктивних теплових втрат при генерації енергії є необхідність збільшення частки ВДЕ та ВТЕР при генерації енергії, що дасть можливість суттєво знизити навантаження на наявне обладнання. В Україні у поточному році збільшено виробництво електроенергії з ВДЕ в порівнянні з минулим роком на 5,5 %, а в цілому до 17 % [7].

Зменшити втрати, викликані розбалансуванням технологічних процесів при генерації, можливо, вживаючи комплексний підхід сумісного підключення джерел ВДЕ сонця і вітру та АЕС у різних співвідношеннях. Отримані авторами [8] результати моделювання процесу сумісного підключення АЕС і доступних ВДЕ при залученні теплових акумуляторів великої потужності свідчать, що можливо оптимізувати графік навантажень і уникнути пікових навантажень. При індивідуальному підході до вибору співвідношення частки ВДЕ і АЕС можливо не лише суттєво знизити енергетичні і теплові втрати, а й зменшити витрати на обслуговування технологічного обладнання АЕС та ТЕС, що позитивно позначиться на собівартості енергії.

Також одним з рішень зменшення втрат при розбалансуванні технологічних процесів може бути застосування систем стаціонарного та мобільного акумуляування енергії [9], рис. 4. Теплові акумулятори характеризуються способом відбору енергії від джерела при зарядженні акумулятора, віддачею енергії споживачу при розрядці та трансформацією в необхідний вид енергії за необхідності. Застосування ТА дозволяє вирівняти графіки навантаження-розвантаження, спростити процес і суттєво зменшити розхід паливно-

енергетичних ресурсів та навантаження на обладнання джерела енергії, що позитивно відобразиться на її собівартості.

В роботі АЕС, ТЕС і ВДЕ доцільно застосувати хімічні, термічні та термохімічні системи зберігання. Найбільше використання в останній час отримали термічні акумулятори теплоти.

Окрім того, мобільні теплові акумулятори (МТА) можуть застосовуватися в системах централізованого теплопостачання та системах опалення окремих об'єктів та забезпечувати стале теплозабезпечення в мирний час, а також в зоні надзвичайних ситуацій [10].

З нашого багаторічного практичного досвіду обстеження та розробки проектів модернізації теплопостачання та великої кількості котельень, ТЕЦ, ВДЕ, ВТЕР та інших джерел теплової енергії робимо висновки, що знизити непродуктивні теплові втрати при генерації енергії можливо наступним чином:

- проведенням аудиту стану діючого станційного обладнання з розробкою проекту його модернізації;
- підвищенням ККД обладнання шляхом заміни морально і технічно застарілого обладнання
- проведенням заміни технологічних трубопроводів та їх ізоляції;
- налагодженням гідравлічної системи теплоносія;
- впровадженням сучасної диспетчеризації технологічних процесів;
- інтеграцією акумуляторів теплоти, потужністю із розрахунку пікових навантажень системи теплопостачання.

Висновки

В результаті аналізу теплових втрат при генерації енергії на реальних ТЕЦ було встановлено невідповідність нормативних втрат фактичним, які перевищують їх на 13 %. Визначені основні причини непродуктивних теплових втрат при генерації енергії, визначена їх локалізація на станційному обладнанні та причини розбалансування системи навантаження при генерації та енергоспоживанні споживача.

Для зменшення та компенсації непродуктивних втрат запропоновано збільшити частку ВДЕ та ВТЕР в загальній системі генерації. А також застосувати сумісне використання системи АЕС, ТЕС у поєднанні з доступними місцевими видами палива, ВДЕ та ВТЕР, що дасть можливість варіювати виробничими потужностями та зменшити навантаження на станційне обладнання. Системна робота поєднаних джерел можлива при застосуванні систем теплового акумуляування, що дасть можливість накопичення теплоенергетичних ресурсів і використання їх при збільшенні попиту у споживача.

Застосування ТА і МТА дозволяє зменшити теплові втрати до 20 % та шкідливі викиди в атмосферу до 40 % і, головне, забезпечити стабільність роботи джерела.

Потрібно провести повне енергетичне обстеження станційного обладнання і трубопроводу. Провести заміну технічно застарілого обладнання з низьким ККД, замінити трубопровід і ізоляцію. Запровадити систему диспетчеризації процесів. Збалансувати технологічні процеси. Рекомендовані заходи дозволять не тільки привести фактичні втрати до нормативних, а й мінімізувати останні.

Список літератури

- Lund H., Werner S., Wiltshire R., Svendsen S., Thorsen J. E., Hvelplund F., et al. 4th Generation District Heating (4GDH): integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*. 2014. No. 68. pp. 1–11. doi: 10.1016/j.energy.2014.02.089.
- Stiles L., Gitchell A., Hulse D. Hiller Underground Thermal Energy Storage in the United States/ *9th International Conference on Thermal Energy Storage, Warsaw, POLAND*. Warsaw, 2003. pp. 651–656.
- Shah Y. T., ed. (2018), *Thermal Energy: Sources, Recovery, and Applications*. USA: CRC Press, Boca Raton, FL, 2018. p. 889. ISBN 9781138033535. <https://doi.org/10.1201/9781315305950>.
- Демченко В. Г. (2018), *Дослідження непродуктивних втрат теплоти в теплових мережах та обґрунтування нового способу транспортування теплоносія*. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/325260308_Doslidzennia_neproduktivnih_vtrat_teplosti_v_teplovih_merezah_ta_obgruntuвання_novogo_sposobu_transportuvannya_teploносія (дата звернення: 23.10.2020).
- Укрэнерго. *Методологія, методи та засоби проведення досліджень з підготовки документу «Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей»*. 2018. https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/04/ZvitAdekvatnostiGenPotuzhnostej_31_03_2019.pdf (дата звернення: 21.10.2020).
- Кармазін О. О. *Балансова надійність електроенергетичних систем в умовах зростання частки відновлюваної енергетики : дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: 05.14.08 ; захищена 18.09.2019 / Кармазін Олександрович*. Київ, 2019. 143 с.
- За рік Україна збільшила виробництво електроенергії з ВЕД на 5,5 % / Агробізнес сьогодні*. URL: <http://agrobusiness.com.ua/agrobusiness/item/18488-za-rik-ukraina-zbilshyla-vyrobnystvo-elektroenerhii-z-ved-na-5-5protsent.html> (дата звернення: 23.10.2020).
- Denholm Paul, King Jeffrey C., Kutcher Charles F., Wilson Paul P. H. Decarbonizing the electric sector: Combining renewable and nuclear energy using thermal storage. *Energy Policy*. Vol. 44, May, 2012. pp. 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.055>.

- Бекман Г., Гилли П. *Тепловое аккумулярование энергии / Пер. с англ. под ред. д.т.н. В. М. Бродянского*. Москва: Мир, 1987. 272 с.
- Демченко В. Г., Гронь С. С., Погорелова Н. Д. Конструкторський розрахунок мобільного теплового акумулятора. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2019. Т. 41, № 4. С. 35–43. ISSN 2663-7235. doi: <https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2019.5>.

References (transliterated)

- Lund H., Werner S., Wiltshire R., Svendsen S., Thorsen J. E., Hvelplund F., et al. (2014), “4th Generation District Heating (4GDH): integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems”, *Energy*, no 68, pp. 1–11, doi: 10.1016/j.energy.2014.02.089.
- Stiles L., Gitchell A., Hulse D. (2003), “Hiller Underground Thermal Energy Storage in the United States”, *9th International Conference on Thermal Energy Storage, Warsaw, POLAND*, Warsaw, pp. 651–656.
- Shah Y. T., ed. (2018), *Thermal Energy: Sources, Recovery, and Applications*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, p. 889, ISBN 9781138033535, <https://doi.org/10.1201/9781315305950>.
- Demchenko V. G. (2018), *Research of non-productive heat losses in thermal networks and substantiation of a new method of heat carrier transportation*. https://www.researchgate.net/publication/325260308_Doslidzennia_neproduktivnih_vtrat_teplosti_v_teplovih_merezah_ta_obgruntuвання_novogo_sposobu_transportuvannya_teploносія (accessed 23 October 2020).
- Ukrenergo. (2018), *Methodology, methods and means of conducting research on the preparation of the document “Report on the assessment of compliance (sufficiency) of generating capacity”*, https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/04/ZvitAdekvatnostiGenPotuzhnostej_31_03_2019.pdf (accessed 21 October 2020).
- Karmazin O. O. (2019), *Balance reliability of electric power systems in the conditions of growth of the share of renewable energy: dissertation for the degree of Cand. Tech. Science: 05.14.08 ; protected on September 18, 2019 / Karmazin Oleksiy Oleksandrovych*, Kyiv, 143 p.
- During the year, Ukraine increased electricity production from foreign trade by 5.5 % / Agribusiness today*, <http://agrobusiness.com.ua/agrobusiness/item/18488-za-rik-ukraina-zbilshyla-vyrobnystvo-elektroenerhii-z-ved-na-5-5protsent.html> (accessed 23 October 2020).
- Denholm Paul, King Jeffrey C., Kutcher Charles F., Wilson Paul P. H. (2012), “Decarbonizing the electric sector: Combining renewable and nuclear energy using thermal storage”, *Energy Policy*, vol. 44, May, pp. 301–311, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.055>.
- Beckman G., Gilly P. (1987), *Thermal energy accumulation*, Ph. D. Brodyanskogo V. M. (ed.), World, Moscow, 272 p.
- Demchenko V. G., Gron S. S., Pogorelova N. D. (2019), “Design calculation of mobile heat accumulator”, *Thermophysics and thermal power engineering*, vol. 41, no 4, pp. 35–43, ISSN 2663-7235, doi: <https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2019.5>.

Надійшла (received) 25.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Демченко Володимир Георгійович (Демченко Владимир Георгиевич, Demchenko Vladimir) – кандидат технічних наук, Інститут технічної теплофізики НАН України, завідувач лабораторії ПТТ відділу «Тепломасообміну і гідродинаміки в елементах теплоенергетичного устаткування»; м. Київ, тел.: (044) 453-28-68, 453-28-89; e-mail: dr-demch@meta.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4211-356X>.

Коник Аліна Василівна (Коник Алина Васильевна, Konuk Alina Vasilyevna) – кандидат технічних наук, Інститут технічної теплофізики НАН України, провідний науковий співробітник лабораторії ПТТ відділу «Тепломасообміну і гідродинаміки в елементах теплоенергетичного устаткування»; м. Київ, тел.: (044) 453-28-68, 453-28-89; e-mail: Alina_tds@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3188-8490>.