

Н. М. Фіалко, М. П. Тимченко, А. А. Халатов, Ю. В. Шеренковський  
Інститут технічної теплофізики НАН України

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ

© Фіалко Н. М., Тимченко М. П., Халатов А. А., Шеренковський Ю. В., 2016

Значним є потенціал активізації споживачів електричної енергії в Україні в системах електротеплозабезпечення. При цьому на особливу увагу заслуговують гібридні системи теплозабезпечення, які ґрунтуються на сумісному використанні електроенергії та традиційних енергоресурсів, або (і) нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії.

Розглянуто особливості застосування гібридних систем електротеплозабезпечення об'єктів ЖКГ типу багатоповерхових будинків як активних споживальним інтелектуальних енергетичних мереж. Гібридна система теплозабезпечення має два базові контури: контур електротеплозабезпечення та контур теплозабезпечення. Контур електрозабезпечення повинен бути оснащений споживальним обладнанням, яке здатне до зміни навантаження, власним джерелом розосередженої генерації електричної енергії, акумуляторами електричної енергії, акумуляторами теплової енергії. Основною вимогою стосовно контура теплозабезпечення є можливість керування тепловим навантаженням будинку, що передбачає його приєднання до теплових мереж через індивідуальний тепловий пункт. У загальнобудинкових системах електротеплозабезпечення будинки слід облаштовувати електричними, електродними котлами, тепловими насосами тощо з відповідними акумуляторами теплоти.

Розроблено принципові схеми гібридних систем електротеплозабезпечення багатоповерхових будинків та проаналізовано особливості функціонування цих систем для різних варіантів реалізації їх базових контурів.

Ключові слова: інтелектуальні енергетичні системи, гібридні системи теплозабезпечення, активний споживач.

Significant potential activation of consumers of electricity in Ukraine is in a electric and thermal providing systems. At that deserve special attention hybrid thermal providing system, which based on the joint use of electric energy and traditional energy sources, or (i) alternative and renewable energy sources.

In this paper, the features of the application of hybrid electric and thermal providing systems of multistory buildings as active consumers of intelligent energy networks are considered. The hybrid electric and thermal providing system has two basic contour: contour of electric and thermal providing and contour of thermal providing. The contour of electric providing must be equipped with consuming equipment that is able to load changes, its own source of distributed generation of electricity, battery electric energy, thermal energy accumulators. The main requirements for the contour of thermal providing is the ability to control heat load that provides its accession to heating systems through individual thermal unit. The multistory buildings should have electric, electrode boilers, heat pumps, etc. with appropriate heat accumulators in electric and thermal providing systems.

Developed schematic diagrams of hybrid electric and thermal providing systems of multistory buildings. The analysis of the features of functioning of these systems for various embodiments of their base contours was executed.

Key words: intelligent energy systems, hybrid heat supply system, active consumer.

**Вступ.** Неоіндустріалізація розвинутих країн світу на початку XXI століття безпосередньо пов'язана з модернізацією їх енергетичної структури та створенням інтелектуальних енергетичних систем. Серед основних положень розвитку цих систем виділяється так звана активізація споживачів електричної енергії, тобто перехід від стратегії звичайних споживачів до стратегії активних. Останні реагують та впливають на ринок енергії через систематичні дії і реакції, скеровані на мінімізацію витрат і збільшення власного і колективного прибутку [1–5].

Значним є потенціал активізації споживачів електричної енергії в Україні в системах електротеплозабезпечення. При цьому на особливу увагу заслуговують гібридні системи теплозабезпечення, які ґрунтуються на сумісному використанні електроенергії та традиційних енергоресурсів, або (і) нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії. З огляду на це актуальним є аналіз різних аспектів застосування гібридних систем теплозабезпечення як активних споживачів Об'єднаної електричної системи України (ОЕС).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В літературі наведено низку визначень інтелектуальної енергетичної системи. Згідно з одним із них, яке вважається найбільш загальним, інтелектуальна енергетична система визначається як повністю інтегрована, саморегульована і самовідновлювана електроенергетична система, що має мережеву топологію та містить всі джерела генерування, магістральні та розподільчі мережі і всі види споживачів електроенергії, керовані єдиною мережею інформаційно-керівних пристроїв у режимі реального часу. Тобто інтелектуальна система розглядається як модернізована електрична мережа, що використовує інформаційно-комунікаційну систему для автоматичного збирання даних та реагування на таку інформацію, як поведінка всіх учасників процесу виробництва – трансформації – передавання – споживання енергії з метою покращення ефективності, економічності та стійкості виробництва, розподілу та споживання електроенергії [6,7].

У дослідженнях, присвячених створенню інтелектуальних електричних мереж, значну увагу приділено аналізу ролі активних споживачів електричної енергії у підвищенні ефективності цих мереж. Зокрема зазначається, що такі споживачі є важливим засобом вирівнювання добового графіка навантаження енергосистем, зниження потреби у маневрених потужностях тощо [8, 10]. У деяких роботах розглянуто можливості застосування для таких цілей систем електротеплозабезпечення. Так, в [11–13] проаналізовано перспективи використання електротеплових споживачів-регуляторів для регулювання навантаження ТЕС. За результатами цих досліджень показано, що такі споживачі-регулятори доцільно встановлювати на потужних котельнях і ТЕЦ. При цьому найефективнішим є використання вказаних споживачів на базі теплових насосів з утилізацією теплоти відхідних газів теплових джерел.

Аналізу резервів електроенергетики України в сфері теплозабезпечення присвячено ряд робіт [14–17]. Так, в [14] особливу увагу звернено на питання підтримки нічного провалу графіка навантаження з залученням систем електротеплозабезпечення об'єктів ЖКГ. Детально висвітлено характеристики основних електротеплотехнологій теплозабезпечення, які використовуються в Україні, у роботах [18–20].

Літературні джерела свідчать також про подальше поширення в ЖКГ гібридних систем теплозабезпечення, що базуються на сумісному використанні електроенергії та традиційних або (і) нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії [21, 22]. Такі системи як активні споживачі можуть слугувати ущільненню добового графіка навантаження за рахунок підтримки його нічного провалу. Поряд з цим функціонування гібридних систем у відповідних режимах дає змогу підвищити енергетичну ефективність теплозабезпечення та його якість і комфортність. Однак у літературі відсутня інформація щодо особливостей конфігурації таких систем, їх систематизації як активних споживачів ОЕС України тощо. Ця робота орієнтована, головним чином, на усунення цієї прогалини.

**Формулювання цілі статті.** Метою статті є аналіз особливостей і систематизація гібридних систем електротеплозабезпечення будинків як активних смарт-споживачів, інтегрованих у перспективну систему ОЕС України.

**Виклад основного матеріалу.** Застосування для теплозабезпечення об'єктів ЖКГ запропонованих гібридних систем як активних споживачів інтелектуальних електричних мереж має на меті поєднати переваги двох підсистем теплозабезпечення, що призведе до певного синергетичного ефекту у всіх ланках інфраструктурного ланцюга генерація – передача – споживання електричної енергії.

Гібридні системи містить два базові контури, перший з яких є контуром електро-теплозабезпечення, другий – теплозабезпечення, з використанням традиційних або (і) нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії. Ці контури певним чином взаємодіють між собою, забезпечуючи якісне та комфортне опалення та гаряче водопостачання. При цьому в системах опалення завдяки другому контуру зазвичай забезпечується необхідний температурний фон приміщення, при якому підтримується його нормативний технічний стан. Подальше нагрівання приміщення до комфортної температури здійснюється за рахунок першого контуру відповідно до вимог користувача. У загальному випадку можуть реалізуватися й інші, суттєво складніші схеми взаємодії між базовими контурами гібридної системи теплозабезпечення.

У цій роботі особливості запропонованих гібридних систем як активних споживачів розглянуто стосовно серійних об'єктів ЖКГ типу багатоповерхових будинків.

Різні конфігурації гібридних систем, очевидно, визначаються специфікою побудови їх базових контурів. Існують два основні варіанти реалізації контура електротеплозабезпечення. Перший передбачає наявність окремого контура електротеплозабезпечення в кожній квартирі. У другому варіанті контур електротеплозабезпечення є загальнобудинковим. Стосовно контура теплозабезпечення від традиційних або (і) нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії, то тут типовими є варіанти обладнання будинків системами централізованого, помірно-централізованого, децентралізованого та автономного теплопостачання. Різні комбінації вказаних варіантів побудови двох контурів гібридної системи утворюють множину основних модифікацій цих систем.

Гібридна система теплозабезпечення, що розглядається як активний споживач, має бути оснащена певним основним обладнанням. Це насамперед стосується контура електротеплозабезпечення, який у загальному випадку має містити такі види обладнання:

- споживаюче обладнання, здатне до зміни навантаження;
- власні джерела розосередженої генерації електричної енергії;
- акумулятори електричної енергії;
- акумулятори теплової енергії.

Наявність хоча б одного з цих видів обладнання є необхідною умовою перетворення звичайного споживача на активного. При поєднанні ж кількох видів цього обладнання споживач набуває більше можливостей щодо своєї активізації.

Стосовно контура теплозабезпечення на основі використання традиційних або (і) нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії, то тут серед основних вимог виділяється можливість керування тепловим навантаженням будинку, що передбачає його приєднання до теплових мереж через індивідуальний тепловий пункт. Окрім того, таке керування повинно бути узгодженим з контуром електротеплозабезпечення.

На рис. 1, 2 наведено схеми основних зв'язків обладнання електричного контура гібридної системи теплозабезпечення як активного споживача на рівні окремої квартири та всього будинку. (Лінія з білою стрілкою відповідає прямому впливу, пунктирна лінія – зворотному, лінія з чорною стрілкою. – інформаційним та керованим сигналам). Вказані контури, як видно, відрізняються за кількістю видів обладнання. А саме, за умови поквартирної локалізації у контурі електротеплозабезпечення відсутні власні джерела розосередженої генерації.

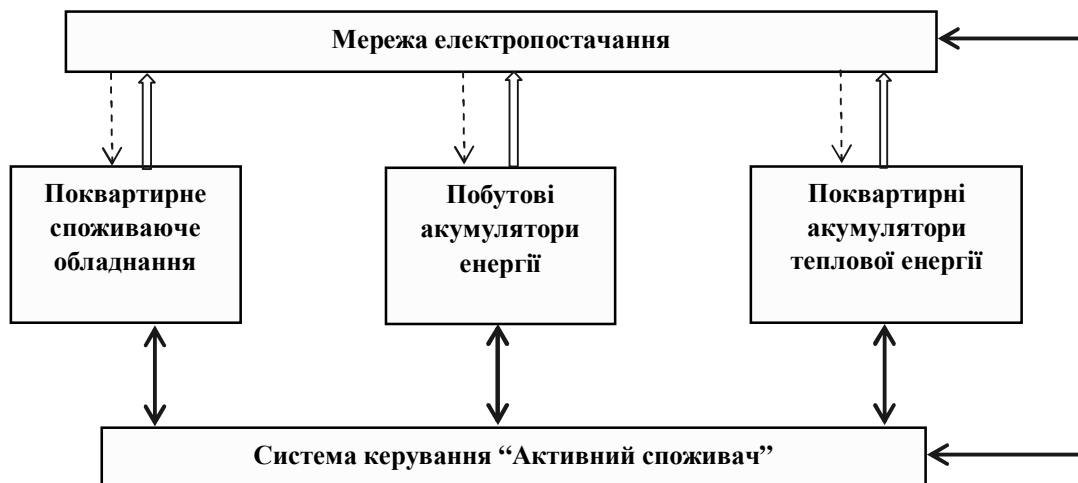


Рис. 1. Схема основних зв'язків обладнання електричного контура гібридної системи при його поквартирній локалізації

Що стосується споживаючого обладнання і обладнання для акумулювання електричної або теплової енергії, то в обох контурах, які розглядаються, воно значною мірою слугує засобом керування добовим навантаженням енергетичної системи.

У поквартирних системах як споживаюче обладнання доцільно застосовувати різні види електротеплоакумуляційного обладнання, що забезпечує підтримку нічних електричних навантажень. Це насамперед системи підлогового електроопалення (кабельного та водяного), підлогового теплонасосного водяного тощо. Тепло за цих умов акумулюється в матеріалах огорожувальних конструкцій та підлоги. Перспективним є також застосування акумуляційних електропечей зі спеціальними твердотільними наповнювачами для накопичення теплоти.

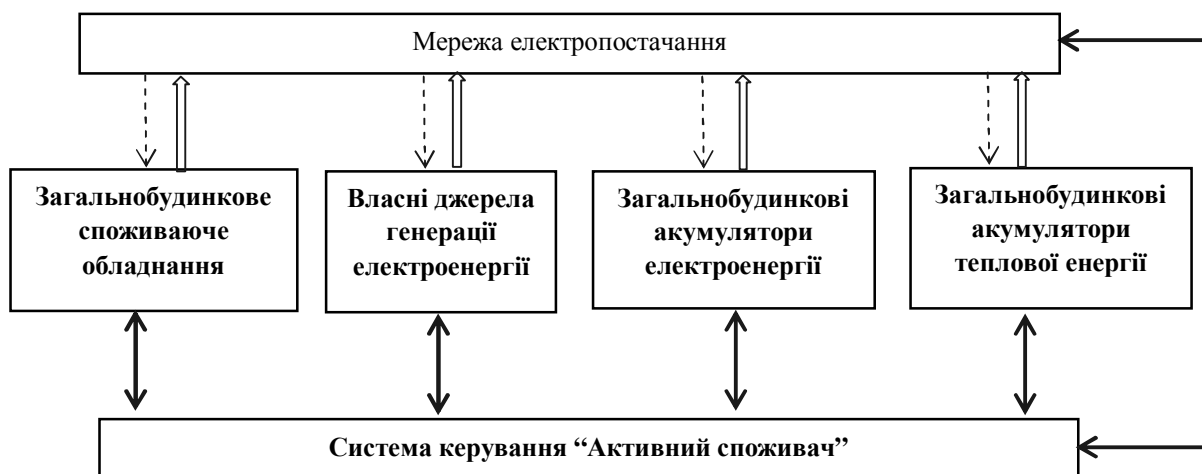


Рис. 2. Схема основних зв'язків обладнання електричного контура гібридної системи при його загальнобудинковій локалізації

У загальнобудинкових системах електротеплозабезпечення будинки слід облаштовувати електричними, електродними котлами, тепловими насосами тощо з відповідними акумуляторами теплоти. В останніх накопичується тепло в період нічного провалу добового графіка навантажень системи, а використовують її вдень. Такий часовий профіль електротеплозабезпечення та акумулювання теплоти окрім компенсації нічного провалу сприяє також зниженню пікового навантаження системи.

Щодо власних джерел розосередженої генерації електричної енергії, яка є однією з важливих складових інтелектуальної енергетики, то за умови загальнобудинкової локалізації контура електротеплозабезпечення доцільним є застосування насамперед сонячних електричних станцій з розташуванням активних елементів на фасадах та покрівлях будинків. Окремі джерела розосередженої генерації інтегруються з утворенням мікросистем (Microgrids) або віртуальних електростанцій (VPP). Така структурна організація локальних джерел забезпечує їх доступ до електричної мережі і створює сприятливі умови функціонування в інтелектуальній енергосистемі.

Електрична енергія від власних джерел розосередженої генерації накопичується в акумуляторах, що дає змогу активному споживачу оптимізувати її використання залежно від миттєвих цін.

Акумуляування енергії при поквартирній локалізації контура електротеплозабезпечення передбачає застосування побутових акумуляторних батарей. Налагоджене останнім часом широкомасштабне виробництво їх високоефективних модифікацій забезпечує доступність застосування цих батарей стосовно умов, які розглядаються.

Характеризуючи особливості застосування розглянутих електричних контурів, слід зазначити, що їх поквартирна локалізація забезпечує дещо вищу маневреність і меншу інерційність теплозабезпечення. Окрім того, гарантує гнучкіше управління тепловим станом окремих приміщень у межах квартири. Загальнобудинкова локалізація електричного контура відповідає меншим капітальним витратам на встановлення обладнання (за відсутності власних джерел генерації електричної енергії), простіше інтегрування в систему теплозабезпечення тощо.

Другий контур гібридної системи – контур теплозабезпечення від традиційних або (і) нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії відповідає, як вже зазначалося, таким варіантам їх теплопостачання:

- централізоване теплопостачання (сукупність джерел теплової енергії потужністю  $N$  понад 20 Гкал/год);
- помірно-централізоване теплопостачання з сукупною потужністю джерел  $N$  від 3 до 20 Гкал/год;
- децентралізоване теплопостачання,  $1 < N \leq 3$  Гкал/год;
- автономне теплозабезпечення,  $N \leq 1$  Гкал/год.

Застосування в гібридних системах, що розглядаються, централізованого теплопостачання має в Україні певні переваги, насамперед, через його поширеність. Однак очевидно, що при відносно низькій теплощільності забудови ефективнішим є помірно-централізоване, децентралізоване та автономне теплопостачання.

Щодо ролі другого контура теплозабезпечення в розподілі навантаження між базовими контурами гібридної системи, то що менший ступінь централізації теплопостачання, то більшими є можливості впливу цього контура на вказаний розподіл.

Другий контур у загальному випадку містить споживаюче обладнання, власну розосереджену генерацію теплової енергії та обладнання для акумуляування теплоти. Щодо власної генерації, то тут доцільно застосовувати нетрадиційні та відновлювані джерела енергії, насамперед, сонячні термopanелі і джерела низькопотенційної теплоти (вентиляційні викиди, відхідні стічні води, ґрунти тощо).

У світовій енергетичній практиці застосування нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії для теплопостачання охоплює широкий спектр можливостей – від окремих будинків до значних регіонів. Причому в останньому випадку практично обов'язковим є сезонне акумуляування теплоти. Таке акумуляування здійснюється за технологіями підземного або поверхневого і наземного зберігання теплової енергії. Для прикладу наведемо світовий рекорд сезонної акумуляції тепла, встановлений в Альберті, Канада, в будинках Дрейк Лендінг Солар громади. Тут тепло від сонячних термopanелей на гаражних дахах акумуляується у великому масиві природного каменю під центральним парком міста.

У таблиці систематизовано основні типи гібридних систем теплозабезпечення будівель. Ця систематизація не претендує на повноту і може бути суттєво доповнена застосуванням низки

класифікаційних ознак, таких як тип споживаючого, генеруючого та акумулюючого обладнання базових контурів системи, різні варіанти взаємодії між елементами гібридної системи тощо.

### Основні типи гібридних систем електротеплозабезпечення

№	Класифікаційна ознака	Тип гібридної системи
1	Тип локалізації контура електротеплозабезпечення	1. Система з поквартирною локалізацією контура електротеплозабезпечення. 2. Система із загальнобудинковою локалізацією контура електротеплозабезпечення.
2	Тип системи контура теплозабезпечення	1. Централізоване теплопостачання. 2. Помірно-централізоване теплопостачання. 3. Децентралізоване теплопостачання. 4. Автономне теплопостачання.
3	Кількість джерел теплоти	1. Бівалентна система, в якій використовують два джерела теплоти. 2. Полівалентна система, в якій використовують понад два джерела теплоти.
4	Наявність власної розосередженої генерації електричної або теплової енергії	1. Системи з власною генерацією електричної або теплової енергії. 2. Системи без власної генерації електричної або теплової енергії.
5	Наявність акумулювання електричної або теплової енергії	1. Системи з акумулюванням електричної або теплової енергії. 2. Системи без акумулювання електричної або теплової енергії.

Гібридна система як активний споживач взаємодіє з іншими активними споживачами та системою енергопостачання. Так, гібридні системи, локалізовані в окремих квартирах, тісно пов'язані між собою умовами обмеженого навантаження будинків, а відтак суперництвом за ресурси тощо.

Керування інтелектуальними електричними мережами за наявності великої кількості таких розосереджених об'єктів, як гібридні системи електротеплопостачання, суттєво ускладнюється. Перспективною стратегією за цих умов є застосування так званих мультиагентних систем керування (МАСК).

У таких системах реалізується децентралізоване групове керування, при якому множина автономних агентів, що утворюють мультиагентну систему, формує програму колективних дій відповідно до поставлених цілей [23].

**Висновки.** Розроблено принципові схеми гібридних систем електротеплозабезпечення багатоповерхових будинків як активних споживачів інтелектуальних електричних мереж. Проаналізовано особливості функціонування цих систем для різних варіантів реалізації їх базових контурів. Запропоновано систематизацію гібридних систем теплозабезпечення за різними класифікаційними ознаками.

1. Стогній Б. С. Світовий досвід та перспективи побудови інтелектуальних енергетичних систем в Україні / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, С. П. Денисюк // *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. – Київ, 2013. – С. 5–17. 2. Вариводов В. Н. *Интеллектуальные электроэнергетические системы* / В. Н. Вариводов, Ю. А. Коваленко // *Электричество*. – 2011. – №9. – С. 4–9. 3. Кобец Б. Б. *Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid* / Б. Б. Кобец, И. О. Волкова. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с. 4. Денисюк С. П. *Особливості формування активного споживача в сучасних електромережах* / С. П. Денисюк, Т. М. Базюк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2014. – № 3. – С. 75–79. 5. Волкова И. О.

Активный потребитель в интеллектуальной энергетике / И. О. Волкова, Д. Г. Шувалова, Е. А. Сальникова // Академия энергетики. – 2011. – № 2. – С. 50–57. 6. Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы: Под общ. ред. акад. НАН Украины А. В. Кириленко / Институт электродинамики НАН Украины. – К.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2014. – 408 с. 7. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими: за заг. ред. акад. НАН України О. В. Кириленко / Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с. 8. Волкова И. О. Активный потребитель: задача оптимизации потребления электроэнергии и собственно генерации / И. О. Волкова, М. В. Губко, Е. А. Сальникова // Проблемы управления. – 2013. – № 6. – С. 53–61. 9. Сальникова Е. А. Стимулирование активного поведения потребителя в электроэнергетике / Е.А. Сальникова // Вестник ТвГУ. Серия: Экономика управления. – 2013. – Вып.18. – С. 177–188. 10. Веселов Ф. В. Активные потребители как важный фактор активного развития интеллектуальной энергетики в России [эл. ресурс]: Режим доступа: [www.eriras.ru/files/veselov\\_ies.pdf](http://www.eriras.ru/files/veselov_ies.pdf). 11. Дубовський С. В. Підвищення робочого ресурсу ТЕС з використанням системних електротеплових споживачів – регуляторів / С. В. Дубовський // Проблеми загальної енергетики. – 2012. – Вип. 3(30). – С. 5–11. 12. Дубовський С. В. Акумулявання енергії у високотехнологічних інтелектуальних енергосистемах / С. В. Дубовський, А. П. Гляшенко // Новини енергетики. – 2012. – № 24. – С. 34–39. 13. Дубовський С. В. Методичні особливості оптимізації складу регулюючих енергоблоків ТЕС з обмеженими динамічними властивостями з урахуванням їх взаємодії з системними споживачами-регуляторами / С. В. Дубовський, Р. В. Григор'єв, М. Є. Бабін // Проблеми загальної енергетики. – 2012. – №1(29). – С. 15–23. 14. Халатов А. А. Перспективи електроопалення в енергетиці України / А. А. Халатов, Н. П. Тимченко // Промислова електроенергетика та електротехніка. – 2015. – № 5–6 (95-96). – С. 27–32. 15. Долінський А. А. Електроенергія як замінювальний енергоносіє в сфері теплопостачання / А. А. Долінський, А. А. Халатов, М. П. Тимченко, О. І. Сігал // Пром. теплотехніка. – 2014. – Т. 36, № 6. – С. 12–21. 16. Тимченко М. П. Електроопалення і питання забезпеченості ПЕР України // Промислова електроенергетика та електротехніка. – 2015. – № 3. – С. 26–35. 17. Сучасний стан і основні напрямки застосування електричної енергії для теплопостачання в Україні // Ред. А. А. Долінський, Д. Й. Розинський. Авт.: А. А. Долінський, Н. П. Тимченко, Д. Й. Розинський. – К.: Видавництво Купріянова О. О., 2009. – 252 с. 18. Пырков В. В. Электрические кабельные системы отопления. Энергетическое сопоставление. – К.:ООО “Медиа-Макс”, 2004. – 88с. 19. Енергоощадна технологія електротеплоакумуляційного обігріву в житлово-комунальному та аграрно-промисловому комплексах України // Д. Й. Розинський, В. Д. Юргачов, С. Я. Меженний та ін. – К.: Видавництво Купріянова О.О., 2007. – 272 с. 20. Черных Л. Ф. Тепловые режимы помещений при экологически чистом теплоаккумуляционном напольном отоплении / Л. Ф. Черных, Н. М. Фіалко, Д. И. Розинский, В. И. Савенко. – К.: София – А, 2014. – 416 с. 21. Энергетическая эффективность комбинированных систем традиционного и электрического отопления / Н. М. Фіалко, Ю. В. Шеренковский, В. Г. Прокопов и др. // Пром. теплотехніка. – 2011. – №5. – С. 49–59. 22. Підвищення ефективності комбінованих систем традиційного та електричного опалення / Ю. В. Шеренковський, Н. М. Фіалко, В. Г. Прокопов та ін. // Мат. XXI міжд. конф. “Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики”, 7–11 юня 2011 г., Ялта. – Київ, 2011. – С. 114–116. 23. Nagendra Prasad M. V. Learning Situation-Specific Coordination in Cooperative Multi-agent Systems / M.V. Nagendra Prasad // Autonomous Agents and Multi-Agent System. – 1999. – 2. – 173.207.