

УДК 004.021:004.94

© А.В. Бубликов, В.В. Надточий

**МОДИФІКОВАНИЙ АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ
ЕЛЕКТРИЧНИМ ОПАЛЕННЯМ ІЗ СИНХРОНІЗАЦІЄЮ РОБОТИ
ОБІГРІВАЧІВ У ЧАСІ**

© A. Bublikov, V. Nadtochy

**THE MODIFIED ALGORITHM OF AUTOMATIC CONTROL BY
ELECTRIC HEATING WITH SYNCHRONIZATION OF THE WORK OF
HEATERS IN THE TIME**

Описаний модифікований алгоритм автоматичного керування електричними обігрівачами з синхронізацією їх роботи у часі, та наведені результати перевірки ефективності запропонованого алгоритму за допомогою імітаційного моделювання.

Описан модифицированный алгоритм автоматического управления электрическими обогревателями с синхронизацией их работы во времени, и приведены результаты проверки эффективности предложенного алгоритма с помощью имитационного моделирования.

Вступ. Одним з найбільш перспективних і швидкозростаючих видів опалення є пряме електричне опалення. Задачі підвищення гнучкості системи електропостачання шляхом реалізації принципу «інтелектуальних мереж», а також запровадження вимог щодо рівня енергоефективності побутового, офісного та опалювального обладнання, енерговикористання у будівлях відносяться до пріоритетних задач розвитку електроенергетичної галузі згідно енергетичної стратегії України на період до 2035 року.

У сучасних системах типу «Розумний будинок» застосовується зонне управління температурою, коли користувач дистанційно встановлює добовий графік температур в кожній кімнаті, а wi-fi термостати забезпечують виконання цього графіка. Існує досить багато рішень стосовно реалізації керування електричним опаленням [1-3], але усі вони не дозволяють користувачеві встановлювати обмеження щодо споживаного енергоресурсу та проводити оптимізацію процесу його розподілу з урахуванням цього обмеження, що для умов України є актуальним питанням з оглядом на вартість енергоресурсу.

У роботі [4] запропонований алгоритм керування обігрівачами за критерієм максимальної синхронізації їх роботи, але перевірка алгоритму, що була проведена на основі розробленої фізичної моделі “розумної” енергетичної мережі [5], продемонструвала наступні недоліки запропонованого алгоритму:

- синхронізація роботи обігрівачів за часом у “групах” в залежності від періоду загального синхронізуючого сигналу та умов обігріву відбувається протягом 5-30 хвилин. Це означає, що розподілення енергоресурсу за даним алгоритмом буде ефективним у тому випадку, якщо період зміни ліміту за загальною

потужністю, що виділяється для обігрівачів, та період зміни умов обігріву приміщень будуть щонайменше у півтора рази більше часу синхронізації роботи обігрівачів;

- у ситуації, коли обігрівачі у “черзі” мають майже однаковий пріоритет, відбувається почергове підключення цих обігрівачів до електричної мережі з періодом 1-2 с, що є небажаним з точки зору нормальної роботи смартокнів;

- якщо до алгоритму керування обігрівачами за критерієм максимальної синхронізації переходити за умови попадання до групи хоча б одного обігрівача, за певних умов обігріву попадання інших обігрівачів до “черги” не дасть їм можливість потрапити до груп навіть за умови наявності “вільної” групи.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Описані у вступі недоліки запропонованого у роботі [4] алгоритму керування обігрівачами за критерієм максимальної синхронізації їх роботи призводять за певних умов обігріву до неповного використання виділеної потужності на електричне опалення приміщень будівлі, навіть якщо виділеного енергоресурсу не вистачає для підтримання заданих температурних режимів. Це є неприпустимим. Тому у статті поставлено за мету провести модифікацію алгоритму автоматичного керування розподілом потужності між електричними обігрівачами для усунення недоліків, що наведені у вступі. Це дозволить максимально використовувати виділений для електричного обігріву приміщень енергоресурс в умовах зміни непередбачуваним чином кількості даного енергоресурсу та режимів роботи обігрівачів.

Виклад основного матеріалу дослідження. З урахуванням виявлених у процесі перевірки запропонованого у роботі [4] алгоритму керування обігрівачами за критерієм максимальної синхронізації недоліків проведене наступне вдосконалення алгоритму керування:

- в алгоритмі керування групами, що здійснюють розподіл енергоресурсу між обігрівачами певної потужності, змінена процедура синхронізації обігрівачів, що входять до груп. Наразі синхронізація відбувається не на основі єдиного синхронізуючого сигналу, а за зміною режимів роботи головного обігрівача у групах. Головним приймається обігрівач із найбільшим періодом роботи. Крім того, з метою зменшення часу синхронізації обігрівачів у групах додана процедура “першого входу обігрівача у групу”, коли обігрівач, що потрапляє до групи, змінює режим роботи не за подією зміни режиму роботи головного обігрівача, а за його поточним станом;

- в алгоритмах керування групами та “чергою” з обігрівачів, що не увійшли до груп, змінена умова переходу від алгоритму рівномірного розподілу енергоресурсу до алгоритму керування обігрівачами за критерієм максимальної синхронізації. Для даного переходу потрібно, щоб відбулося заповнення усіх вільних груп власними обігрівачами. У протилежному випадку керування обігрівачами буде здійснюватися за алгоритмом рівномірного розподілу енергоресурсу з урахуванням вимоги щодо максимального використання виділеного ліміту за потужністю;

- в алгоритмі управління “чергою” з обігрівачів додана додаткова умова зміни обігрівачів у черзі для випадку, коли на енергоресурс претендують обігрівачі однакової потужності та з однаковим пріоритетом. Згідно з цією умовою, обігрівач з “черги” повинен продовжувати отримувати енергоресурс протягом однієї хвилини, навіть якщо з’явився інший обігрівач з аналогічною потужністю та з вищим пріоритетом;

- в алгоритмі формування груп обігрівачів додана процедура “скидання груп”, коли потрібна нова оптимальна комбінація обігрівачів, робота яких синхронізується у часі, з точки зору максимального використання виділеного енергоресурсу. Умовами “скидання груп” є зміна виділеного ліміту потужності або зміна режиму роботи одного з обігрівачів у групах, коли він тривалий час працює без вимикання, або не вмикається.

Проведемо дослідження роботи системи автоматичного керування розподілом потужності між електричними обігрівачами за модифікованим алгоритмом у математичному пакеті MATLAB. Для цього використаємо імітаційну модель системи автоматичного керування обігрівачами, що розроблена та описана у проміжному звіті з теми ГП-486 за 2016 рік [5].

За об’єкт дослідження прийнята трикімнатна квартира, план якої наведений на рис. 1. Теплофізичні параметри квартири представлені у табл. 1.

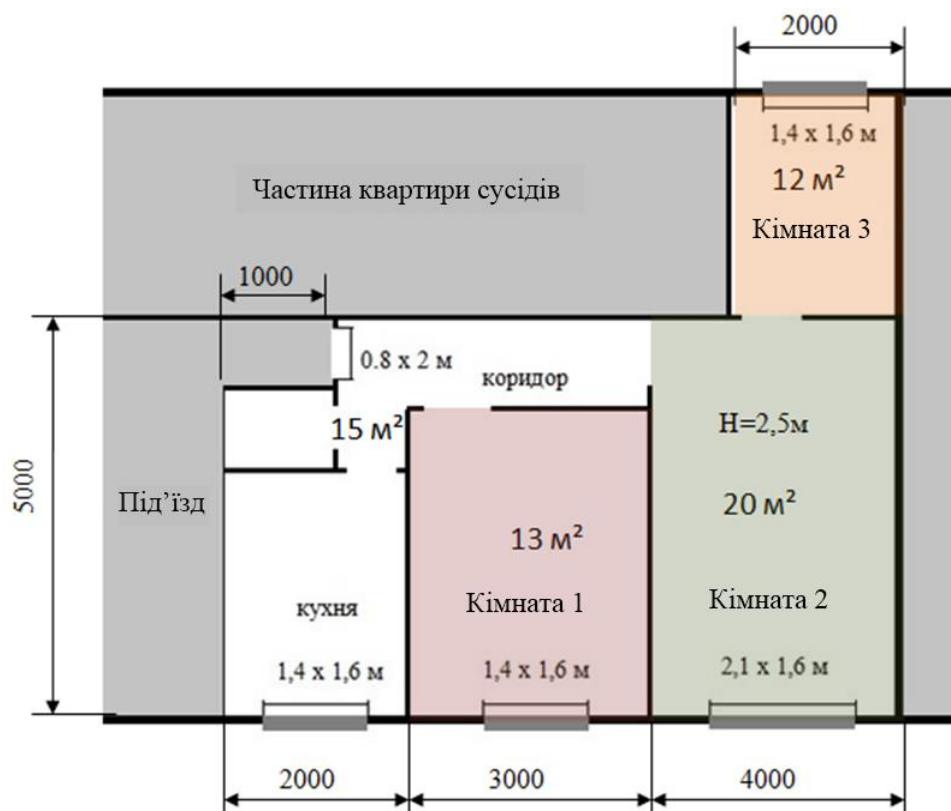


Рис. 1. План квартири – об’єкта моделювання теплових процесів

Параметри зон обігріву квартири

№ зони обігріву	Початкова температура поверхні обігрівача, °С	Початкова температура кімнати, °С	Площа кімнати, м ²	Потужність обігрівача, Вт	Потужність потоку тепла від додаткового джерела, Вт	Коефіцієнт теплопередачі кімнати щодо зовнішнього середовища, Вт/°С	Коефіцієнт теплопередачі обігрівача, Вт/°С	Постійна часу кімнати, хв	Постійна часу обігрівача, хв	Температура зовнішнього середовища, °С
1	20	20	13	1000	70	15,04	11,1	50	17,3	0
2	20	20	20	1500	120	22,56	16,7	55	17,3	0
3	20	20	12	1000	70	13,7	11,1	59	17,3	0
4	20	20	15	1500	200	18,8	16,7	50	17,3	0

Нижче на рис. 2–5 наведені основні результати досліджень роботи системи автоматичного керування обігрівачами за модифікованим алгоритмом за умови імітування різних ситуацій при обігріві приміщень у математичному пакеті MATLAB. Різні ситуації задавалися зміною характеру підключення побутових пристроїв різної потужності протягом часу моделювання, що складає 1440 хв (одна доба). Положення термостатів обігрівачів при цьому не змінювалися та були підібрані таким чином, щоб забезпечувати комфортну температуру у зонах обігріву квартири на рівні 23 – 24 °С за умови температури зовнішнього середовища 0 °С.

Аналіз рис. 2 дозволяє зробити висновок щодо відсутності перевищення ліміту потужності, що виділений на електричний обігрів квартири.

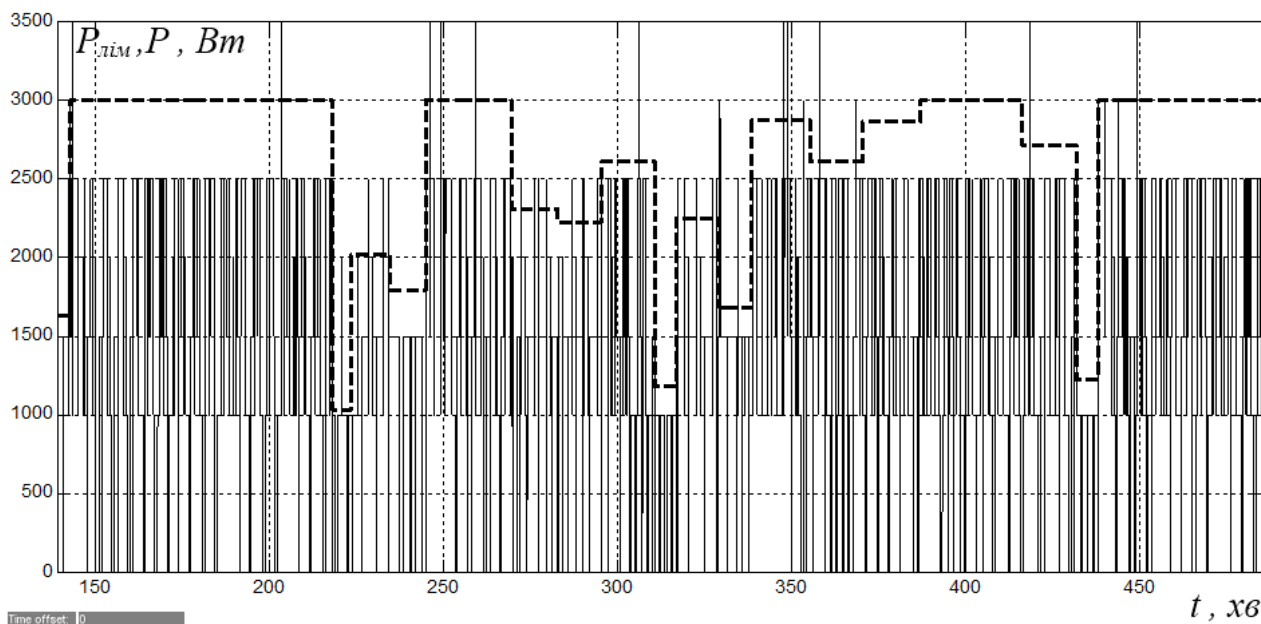


Рис. 2. Зміна у часі ліміту потужності на електричний обігрів квартири (пунктирна лінія) та сумарної потужності, що споживають обігрівачі (суцільна лінія)

Короткочасні перевищення ліміту потужності на обігрів тривають 0,01 хв та пов'язані з тим, що система реагує саме на подію перевищення ліміту та перемикає обігрівачі з метою зменшення потужності на обігрів із запізненням, що дорівнює періоду виклику функцій та оновлення змінних у програмному забезпеченні (0,01 хв або 0,6 с).

З рис. 2 ми також бачимо, що майже на усьому часовому інтервалі моделювання сумарна поточна потужність, що споживається обігрівачами за умови електричного обігріву квартири, не перевищує 2,5 кВт, хоча ліміт за потужністю становить 3 кВт. Присутність неповного використання виділеного ліміту потужності на обігрів квартири пов'язана з тим, що усі обігрівачі вийшли на задані користувачем через термостати температуру й працюють з періодичним самотійним відключенням, а 2,5 кВт потужності вистачає для підтримки комфортних температур у зонах обігріву.

Тобто за результатами досліджень маємо важливий висновок щодо комфортності та ефективності використання користувачем системи управління електричним обігрівом за запропонованим модифікованим алгоритмом автоматичного керування розподілом потужності між обігрівачами. Річ у тому, що запропонований алгоритм передбачає участь користувача у завданні комфортних температур у зонах обігріву через встановлення відповідних положень термостатів. Крім того, користувач має вирішити, який повинен бути ліміт за потужністю на обігрів. Все це робить рекомендований спосіб управління електричним обігрівом квартири на основі модифікованого алгоритму автоматичного керування розподілом потужності досить складним для користувача. Тому необхідні певні рекомендації, які дозволять спростити процедуру налаштування роботи системи управління електричним обігрівом користувачем з метою досягнення, з однієї сторони, бажаних температур у зонах обігріву, а з іншої сторони – бажаної кількості споживаної електроенергії на обігрів за умови відсутності перевищення встановленого ліміту потужності.

З оглядом на встановлені закономірності зміни у часі сумарної поточної потужності, що споживається обігрівачами, (рис.2) налаштування роботи системи управління електричним обігрівом квартири має відбуватися у два етапи:

- потрібно встановити ліміт за потужністю на обігрів з певним запасом та після цього з урахуванням інерційності зміни температури у кімнатах провести налаштування положення термостатів таким чином, щоб температура у зонах обігріву була комфортною;

- після того, як фактична температура у зонах обігріву досягла бажаного рівня, проаналізувати графік зміни у часі сумарної поточної потужності, що споживається обігрівачами. Якщо з графіку буде видно, що сумарна поточна потужність, що споживається обігрівачами, постійно менше за встановлений ліміт потужності (як на рис.2), то ліміт можна зменшити до рівня сумарної потужності, що витрачається на електричний обігрів (на рис.2 з 3 до 2,5 кВт).

Зображення на рис. 3 дає нам уявлення про роботу груп обігрівачів – ми можемо простежити, які обігрівачі, в залежності від різних ситуацій при обігріві приміщень, потрапляли до кожної групи.

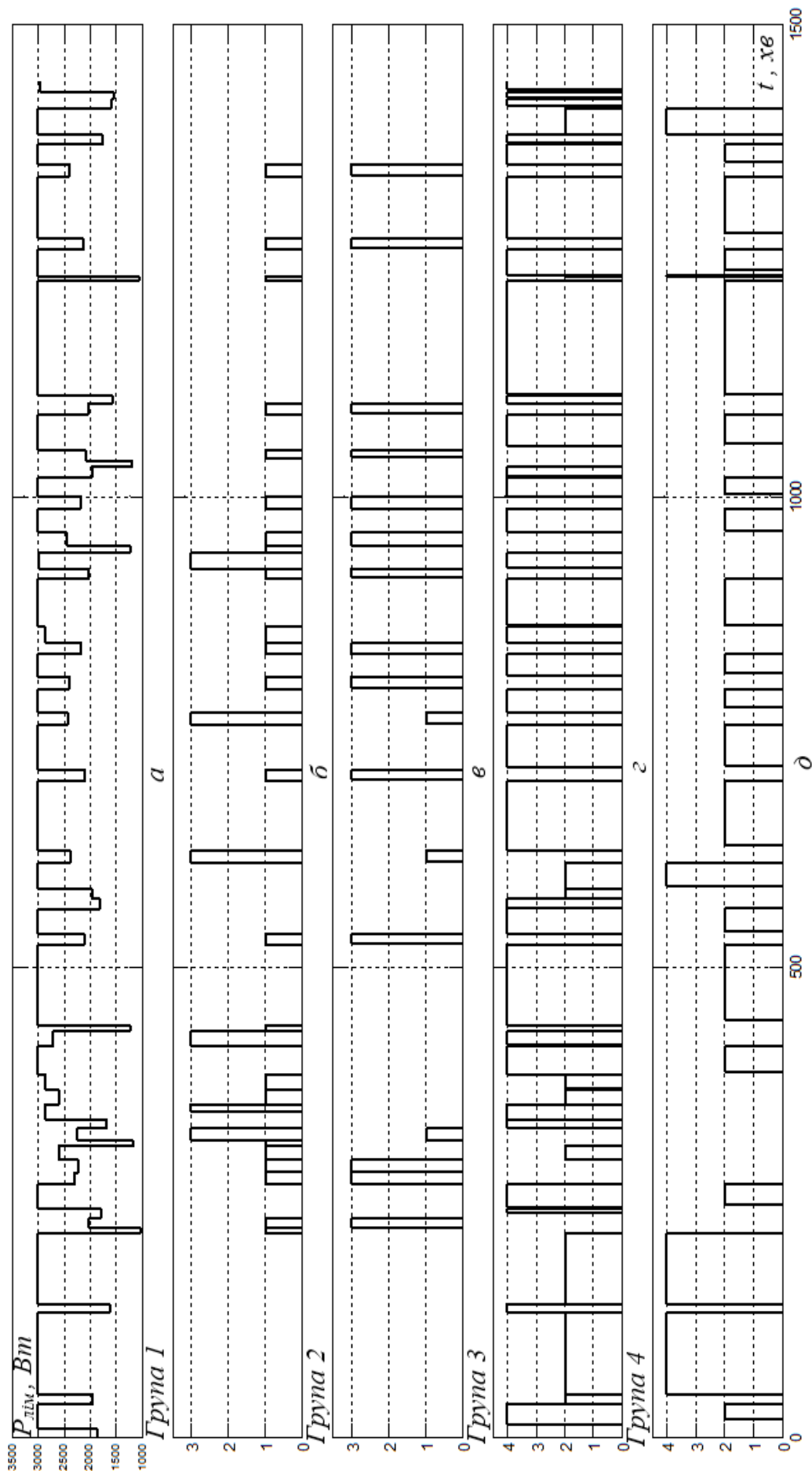


Рис. 3. Зміна у часі ліміту потужності на електричний обігрів квартири (а) та змінних, які відображують номер обігрівача, що увійшов до першої (б), другої (в), третьої (г) або четвертої (д) груп

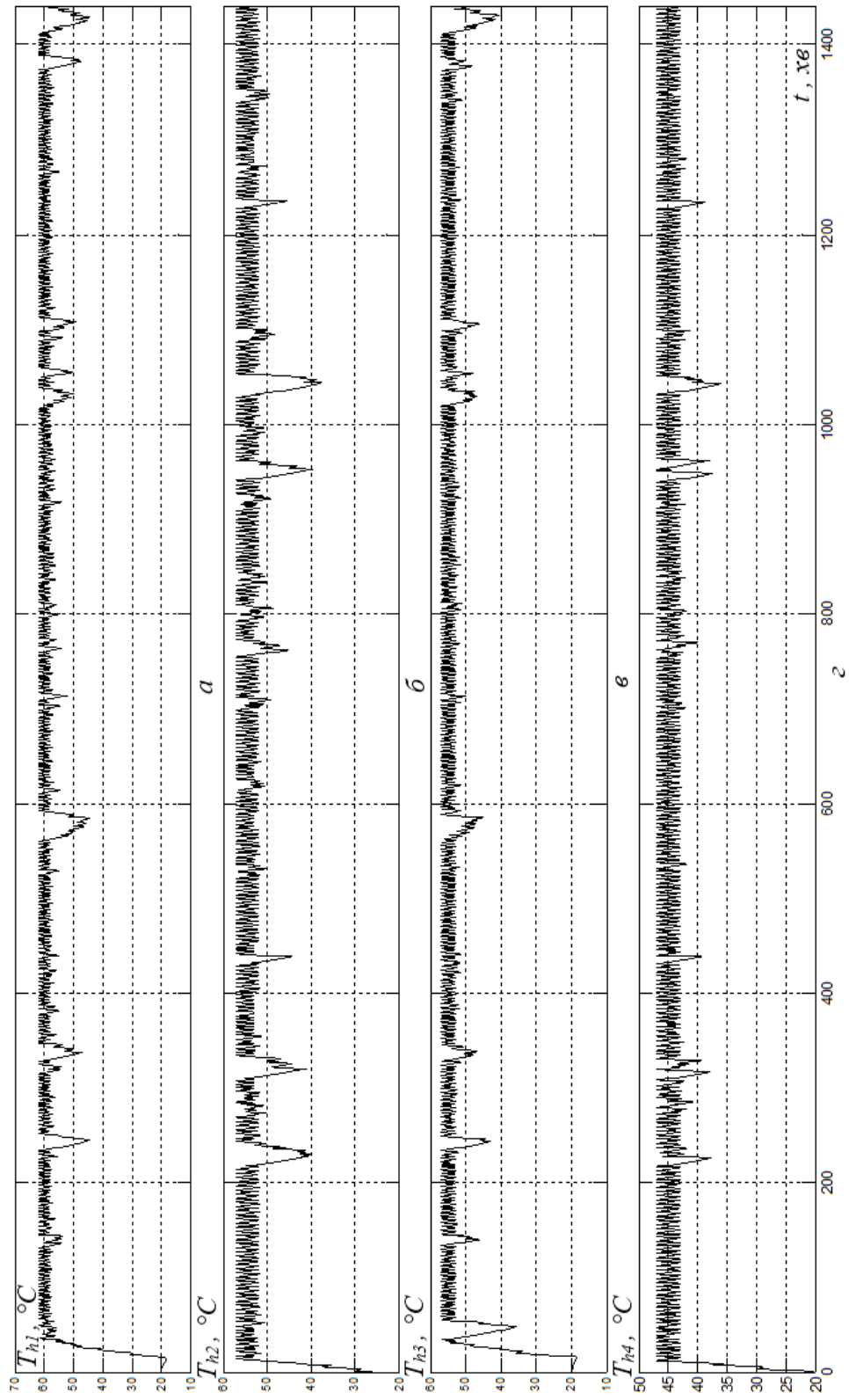


Рис. 4. Зміна у часі температури поверхні першого (а), другого (б), третього (в) та четвертого (г) обігрівачів

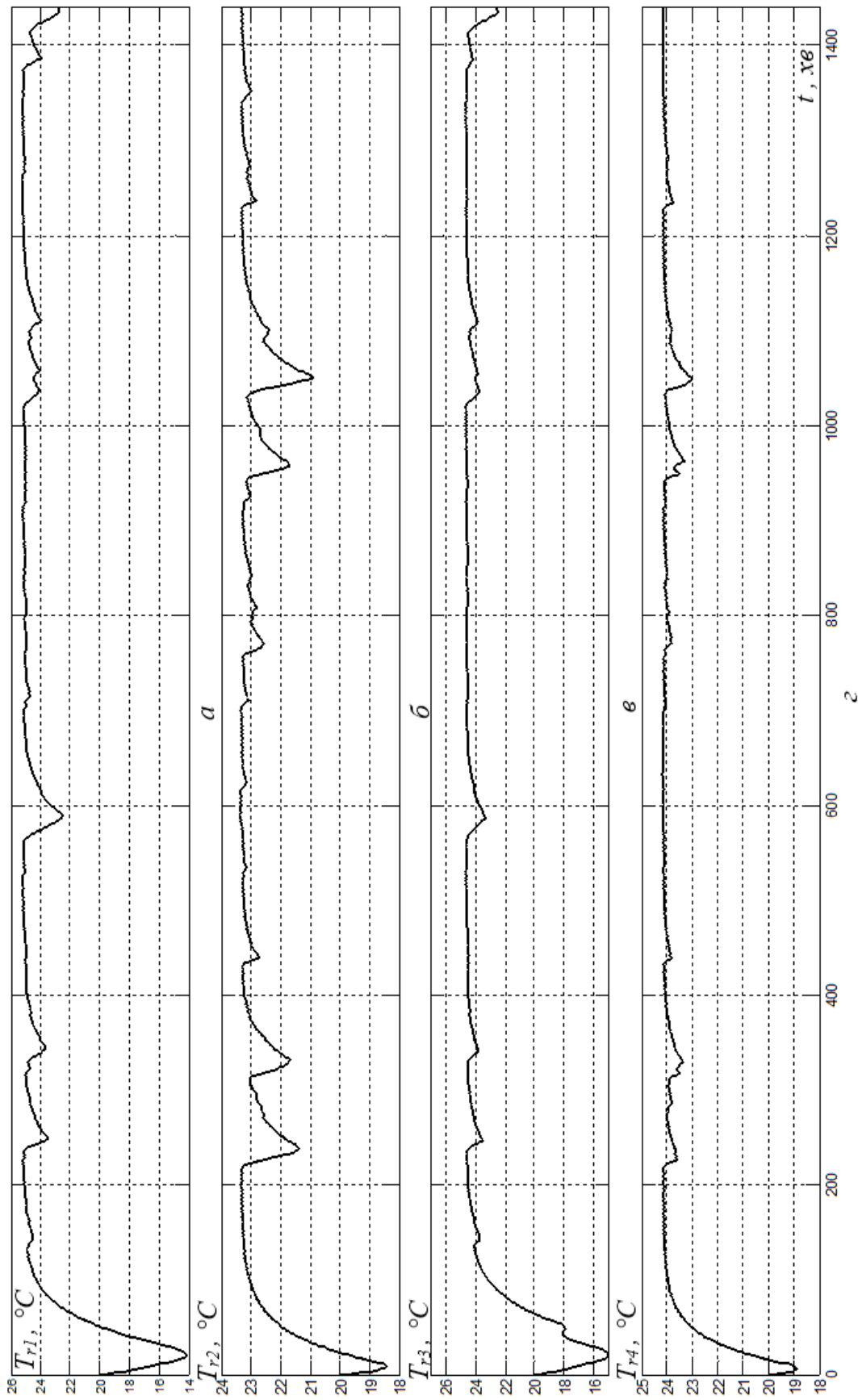


Рис. 5. Зміна у часі температур у першій (а), другій (б), третій (в) та четвертій (г) зонах обігріву

З рис. 3 видно, що до першої та другої груп, що керують розподілом потужності 1 кВт, обігрівачі потрапляли, як правило, за умови знаходження ліміту потужності між значеннями 2 та 2,5 кВт. До третьої та четвертої груп, що керують розподілом потужності 1,5 кВт, обігрівачі потрапляли набагато частіше. Це пов'язане з тим, що для виділеного ліміту 3 кВт оптимальна з точки зору максимального використання ліміту комбінація обігрівачів становить два обігрівача по 1,5 кВт. Тому за умови знаходження ліміту потужності на рівні 3 кВт активними були саме третя та четверта групи обігрівачів.

Одним з головних показників того, наскільки вистачає виділеного ліміту потужності на підтримку заданих температур у зонах обігріву, є кількість та величини відхилень температур поверхонь обігрівачів від заданих значень. З рис. 4 ми бачимо, що протягом доби на один обігрівач у середньому приходяться 4-5 помітних відхилень фактичної температури поверхні обігрівача від заданого рівня на 10-15 °С протягом 5-20 хв. З урахуванням того, що динаміка температури у кімнаті є у 2-3 рази більш інерційною, ніж динаміка температури поверхні обігрівача, відхилення фактичної температури поверхні обігрівача від заданого рівня на 10-15 °С протягом 20 хв не має суттєвий вплив на температуру у зоні обігріву.

Рис. 5 підтверджує висновок щодо незначного впливу відхилень температур поверхонь обігрівачів від заданого рівня на 15 °С протягом 20 хв на температури у зонах обігріву – ми бачимо, що останні відхиляються від заданих значень не більше, ніж на 2 °С протягом 60-90 хв.

Отже, з оглядом на отримані результати досліджень можна сформулювати ще одну рекомендацію користувачеві, що використовує систему управління електричним опаленням квартири на основі модифікованого алгоритму автоматичного керування розподілом потужності, – у часи, коли очікуються часті підключення потужних побутових приладів до електричної мережі та, відповідно, суттєві зменшення ліміту потужності на обігрів, обирати бажані значення температур у зонах обігріву з певним запасом на 1-2 °С.

Висновки: для модифікованого алгоритму автоматичного керування розподілом потужності між електричними обігрівачами отримана наступна закономірність, що дозволяє сформулювати рекомендації користувачеві щодо спрощення та підвищення ефективності використання системи управління електричним опаленням, коли застосовується модифікований алгоритм автоматичного керування розподілом потужності. За умови, коли кількість виділеного енергоресурсу перевищує необхідну кількість енергоресурсу для забезпечення бажаних температурних режимів у зонах обігріву, на більшій частині часового інтервалу маємо фактичну сумарну потужність, що споживається електричними обігрівачами, яка дорівнює необхідному ліміту потужності для забезпечення бажаних температурних режимів. Ця закономірність дозволяє сформулювати наступні рекомендації користувачеві:

- потрібно встановити ліміт за потужністю на обігрів з певним запасом та після цього з урахуванням інерційності зміни температури у кімнатах провести налаштування положення термостатів таким чином, щоб температура у зонах обігріву була комфортною;

- після того, як фактична температура у зонах обігріву досягла бажаного рівня, проаналізувати графік зміни у часі сумарної поточної потужності, що споживається обігрівачами. Якщо з графіку буде видно, що сумарна поточна потужність, що споживається обігрівачами, постійно менше за встановлений ліміт потужності, то ліміт можна зменшити до рівня сумарної потужності, що витрачається на електричний обігрів.

Перелік посилань

1. Analysis of tariff setting in the district heating sector of EU countries. (2016). Research Report. Ukraine: Bioenergy Association of Ukraine.
2. Callaway, D.S., & Hiskens, I.A. (2011). Achieving Controllability of Electric Loads. Proceedings of the IEEE, (99), 184-199.
3. Guillaume, G., Souan, Ben A., & Alain, B. (2012). A Complex System Approach for Smart Grid Analysis and Modeling. In 16th Annual KES Conference “Advances in Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems” (pp. 1-10). Versailles, France: Université de Versailles Saint-Quentin
4. Bublikov, A., Protsenko, S., Karpenko, O., & Mazur, R. (2017). Alhorytm keruvannya obihrivachamy za kryteriyem maksimal'noyi synkronizatsiyi yikh roboty. Zbirnyk naukovykh prats' NHU, (50), 252-262.
5. Tekhnolohiya stvorennya rozumnykh enerhetychnykh merezh bahatofunktsional'nykh sporud z metoyu efektyvnoho rozpodilennya elektroenerhiyi mizh spozhyvachamy. (2016). Research Report. Ukraine: Ministry of Education and Science.

ABSTRACT

Purpose. To develop the scientific approach to the creation of the mini smart-grids for small segments of electrical network based on the synchronization of working of electrical devices.

The methods of research are the methods of integer optimization and the methods of simulation of working of automatic control systems.

Findings. The investigations of the power distribution process between electric heaters according to the proposed modified algorithm showed that the made corrections in the algorithm allowed to ensure maximum use of the allocated energy resource in the conditions of constantly changing power limit. It is proved that the modified power distribution algorithm allows to determine the required amount of electricity to maintain the desired temperature in the heating zones. This allowed to formulate recommendations to the user to simplify and improve the efficiency of applying of the electric heating control system based on the modified power distribution algorithm.

The originality of the modified power distribution algorithm consists in using for synchronization of the work of electric heaters not of a single synchronizing signal, but events of switching on and switching off heaters with which synchronization occurs. This makes the modified algorithm more resistant to the often changing of the power limit for electric heating.