

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

Граф Ілля Сергійович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Аналіз існуючих методів розрахунку та нових методик розрахунку
електричних навантажень району міста з багатоповерховими будинками
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Граф І. С.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Соколовський Олег Феліксович

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології

(науковий ступінь, вчене звання)

АНОТАЦІЯ

Граф І. С. Аналіз існуючих методів розрахунку та нових методик розрахунку електричних навантажень району міста з багатопверховими будинками. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

Метою роботи є підвищення точності розрахунку електричних навантажень житлових багатоквартирних будинків з електричними плитами і мікрорайонів в цілому, шляхом актуалізації основних розрахункових компонентів, що використовуються в методах розрахунку електричних навантажень, а також розробки нової уточнюючої методики розрахунку на основі експериментальних обстежень електричних навантажень цієї категорії споживачів.

Ключові слова: електричні навантаження, методика розрахунку, графіки електричних навантажень.

ABSTRACT

Count I. S. Analysis of existing calculation methods and new methods of calculating electric loads in the city district with multi-story buildings. Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polish National University, Zhytomyr, 2022.

The purpose of the work is to increase the accuracy of calculating the electrical loads of residential apartment buildings with electric stoves and microdistricts as a whole, by updating the main calculation components used in the methods of calculating electrical loads, as well as developing a new clarifying method of calculation based on experimental surveys of electrical loads of this category of consumers.

Keywords: electric loads, calculation method, graphs of electric loads.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЖИЛИХ БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКІВ	7
1.1 Визначення основних характеристик ГЕН житлових багатоквартирних будинків	7
1.2 Аналіз кореляційних зв'язків ГЕН житлових багато квартирних будинків	12
1.2.1 Кореляція випадкових складових ГЕН житлових БКБ	12
1.2.2 Кореляція трендових складових ГЕН житлових БКБ	17
Висновки по розділу 1	20
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ГРУПОВОГО ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ	22
2.1. Перевірка гіпотези про нормальний закон розподілу випадкової складової ГЕН	22
2.2 Математичне моделювання групового графіка навантаження	24
2.1.1 Додавання індивідуальних ГЕН без урахування їх взаємної кореляції	25
2.2.2 Додавання індивідуальних ГЕН з урахуванням їхньої взаємної кореляції	26
2.2.3 Граничні значення для дисперсії та коефіцієнта форми сумарного ГЕН при складанні однакових індивідуальних ГЕН	27
Висновки по розділу 2	28
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ДЛЯ МІКРОРАЙОНІВ МІСТА З ЖИТЛОВИМИ БАГАТОКВАРТИРНИМИ БУДИНКАМИ ОСНАЧЕНИМИ ЕЛЕКТРОПЛИТАМИ	29
3.1 Розробка уточнюючої моделі розрахунку електричного навантаження мікрорайону	30
3.2 Мультиплікативна модель розрахунку електричних навантажень групи квартир	33
3.3 Адитивна модель розрахунку електричних навантажень групи квартир	37
Висновки по розділу 3	41
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	43

ВСТУП

Актуальність теми кваліфікаційної роботи. Високі темпи розвитку енергетики потребують максимальної ефективності капіталовкладень та матеріальних витрат. Розрахунок електричних навантажень (РЕН) – найбільш відповідальний розрахунок, який виконується під час проектування системи електропостачання кожного підприємства, будь-якої галузі народного господарства. Результати розрахунку значною мірою визначають розміри капітальних вкладень у енергетичне будівництво.

Основною інформаційною базою існуючих методів РЕН є дані щодо коефіцієнтів використання, потужності, коефіцієнтів розрахункової потужності (коефіцієнта максимуму) та питомих навантажень, отриманих у результаті масових обстежень промислових електричних навантажень виконаних у 1960÷1970 р.р. та комунально-побутових навантажень – 1980÷2000 р.р. [1,6]. В останні роки триває бурхливий процес модернізації виробництва, який пов'язаний, зокрема, з появою нового менш енергоємного електроустаткування. У повсякденному житті людей з'являються нові види побутових електроприладів, при цьому спостерігаються такі тенденції:

- зниження одиничних потужностей електроприймачів (холодильники, освітлювальне обладнання тощо) із постійним режимом роботи;

- збільшення одиничних потужностей електроприймачів з короткочасним режимом роботи (електрочайники, мікрохвильові печі тощо), для зниження їх часу роботи.

Зміни режимів роботи та встановлених потужностей промислових та побутових приладів призводять до того, що існуючі методи РЕН та їх довідково-нормативна база вже не можуть забезпечити необхідну точність [4], що вносить інформаційну похибку в результати розрахунку [3,6].

Поряд з інформаційними похибками, всі методи РЕН мають методичні похибки, пов'язані з введенням різних припущень у методики, зважаючи на величезну кількість факторів, що впливають на реальне електричне навантаження - режими роботи електроприймачів, рівні систем електропостачання, різні перерізи провідників, а, отже, і постійні часу нагрівання і т.д. [8,9]. Отже, уточнення методів РЕН може виконуватися за двома напрямками [8, 10] - зниженням інформаційної похибки та зниженням методичної похибки.

Метою даної роботи є підвищення точності РЕН житлових МКД з електричними плитами і мікрорайонів в цілому, шляхом актуалізації основних розрахункових компонентів, що використовуються в методах РЕН, а також розробки нової уточнюючої методики РЕН на основі експериментальних обстежень електричних навантажень цієї категорії споживачів.

Для досягнення поставленої мети у цій роботі ставляться і вирішуються такі **практичні завдання дослідження**:

1. Експериментальне дослідження графіків електричного навантаження (ГЕН) на рівнях окремих введів у МКД, трансформаторних підстанцій (ТП) 10/0,4 (20/0,4) кВ та розподільчих трансформаторних підстанцій (РТП) 10(20) кВ мікрорайону;
2. Отримання основних характеристик ГЕН та визначення розрахункових коефіцієнтів та питомих навантажень, необхідних для РЕН житлових багато квартирних будинків (БКБ), ТП 10/0,4 (20/0,4) кВ та мікрорайону в цілому;
3. Математичне моделювання індивідуальних та групових ГЕН житлових БКБ та мікрорайону в цілому;
4. Розробка методики РЕН для житлової частини БКБ оснащених електроплитами.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використовувалися методи статистичної обробки експериментальних ГЕН, математичне ймовірнісне моделювання процесів електроспоживання з

використанням ЕОМ, елементи кореляційної теорії випадкових процесів, регресійний аналіз.

Перелік публікацій автора за темою дослідження :

Граф І. С. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАФІКА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЖИТЛОВИХ БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКІВ

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2022». 7 червня 2022 р. Житомир: Поліський національний університет, 2022.- С .

Гончаренко Ю. П., Граф І. С. КОРЕЛЯЦІЯ ТРЕНДОВИХ СКЛАДОВИХ ГРАФІКА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЖИТЛОВИХ БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКІВ

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2022» 30 листопада 2022 року. Житомир: Поліський національний університет, 2022.- С 69-71.

Соколовський О. Ф., Граф І. С. АДТИВНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ГРУПИ КВАРТИР.

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2022» 30 листопада 2022 року. Житомир: Поліський національний університет, 2022.- С 81-83.

РОЗДІЛ 1

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЖИЛИХ БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКІВ

У даному розділі виконано аналіз групових та індивідуальних графіків електричних навантажень (ГЕН) обстежених житлових багатоквартирних будинків, для визначення основних характеристик [11, 12, 13] та процесу формування групового ГЕН на основі корелювання індивідуальних ГЕН [14].

Як індивідуальні ГЕН прийняті графіки введів у житлові БКД, а групові ГЕН отримані в результаті підсумовування цих індивідуальних ГЕН (див. додаток А).

Основну увагу в роботі приділено дослідженню електричних навантажень квартир та введів у ВРУ житлової частини, від яких запитані квартири, оскільки експериментальні обстеження показали, що найбільшою частиною електричного навантаження житлового будинку є електричне навантаження квартир (рис. 1.1). ГЕН нежитлової частини багатоквартирних будівель (БКБ), ліфтів, індивідуальний тепловий пункт (ІТП) і водонапірна насосна станція (ВНС), у роботі приділено меншу увагу, оскільки їх фактичне навантаження, у випадках, не велика і пріоритетною завданням дослідження.

1.1 Визначення основних характеристик ГЕН житлових багатоквартирних будинків

ГЕН БКБ є випадковим нестационарним процесом (див. рисунок 3.1), який можна представити у вигляді адитивної моделі [14, 15]:

$$P(t) = P_T(t) + P_R(t), \quad (1.1)$$

де, $P_T(t)$ - трендова складова добового ГЕН, котра визначається як середня потужність на "ковзному" інтервалі осереднення 0 [12]:

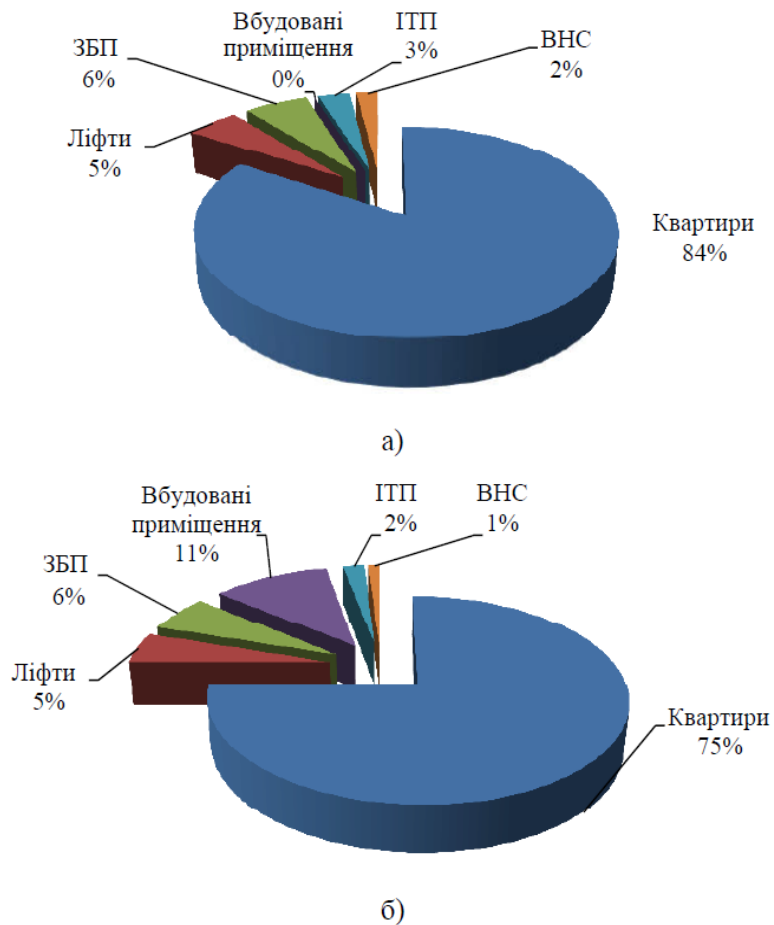


Рисунок 1.1 – Пайовий розподіл електричних навантажень жилих будинків: а) серії Еліт-1, б) серії П44Т

$$P_T(t) = P_c(t, \theta) = \frac{1}{\theta} \int_{t-\theta}^t P(t) dt, \quad (1.2)$$

де $P_R(t)$ - випадкова складова ГЕН

Випадкову складову ГЕН $P_R(t)$ отримаємо як різницю фактичного ГЕН та його трендової складової $P_T(t)$.

$$P_R(t) = P(t) - P_T(t).$$

Дослідження добових ГЕН груп квартир показали, що відмінності в ефективному та середньому електричному навантаженню, на 30-ти хвилинних ковзаючих інтервалах зосередження, не перевищує 1 %, внаслідок цього при моделюванні електричних навантажень прийнято наступне припущення:

$$P_T(t) = P_c(t, \theta) \approx P_e(t, \theta).$$

На рисунку 1.2 приведений приклад ГЕН жилого будинку серії Еліт-1 за

24.12.2019 р, а також його трендова і випадкова складова.

На ГЕН добре виражені три часові зони: зона з мінімальним навантаженням – з 0:00 год. по 8:00 год., зона із середнім навантаженням – з 8:00 год. 16:00 год. по 24:00 год. (див. рисунок 3.2). Визначимо основні характеристики ГЕН навантаження для кожної часової зони та повністю за добу:

- ефективне навантаження P_e , що визначається за формулою:

$$P_e = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+\Delta t} P^2(t) dt};$$

- середнє навантаження P_c , що визначається за формулою:

$$P_c = \frac{1}{T} \int_t^{t+\Delta t} P(t) dt;$$

- дисперсія DP , яка визначається за формулою:

$$P_p = \begin{cases} \sqrt{P_c^2 + DP_m \left(1,05 - \frac{0,05}{\varepsilon}\right)}; & 0,05 \leq \varepsilon \\ \sqrt{P_c^2 + DP \left(\frac{0,95}{1 - \varepsilon}\right)}; & 0,05 \geq \varepsilon \end{cases},$$

- коефіцієнт форми K , який визначається за формулою:

$$K_\phi = \frac{P_c}{P_e}.$$

Основні характеристиками трендової складової ГЕН визначено у додатку А, діапазони змін даних величин, від мінімального значення до максимального значення, для житлового будинку серії Еліт-1 наведено у таблиці 1.1, для житлового будинку серії П44Т – у таблиці 1.2.

Як і у випадку з трендовою складовою, випадкову складову $P_R(t)$ ГЕН житлових будинків також розділимо на три ділянки, оскільки зміни випадкової складової безпосередньо пов'язані зі змінами трендової складової.

Найменші коливання випадкової складової щодо трендової

складової, як і очікувалося, спостерігається у перший часовий інтервал, що пов'язано з мінімальною участю побутового квартирного електричного навантаження у сумарному ГЕН. У другій і третій часові інтервали вплив побутового навантаження значно вищий і коливання випадкової складової переважно визначається тим, наскільки часто вони включаються.

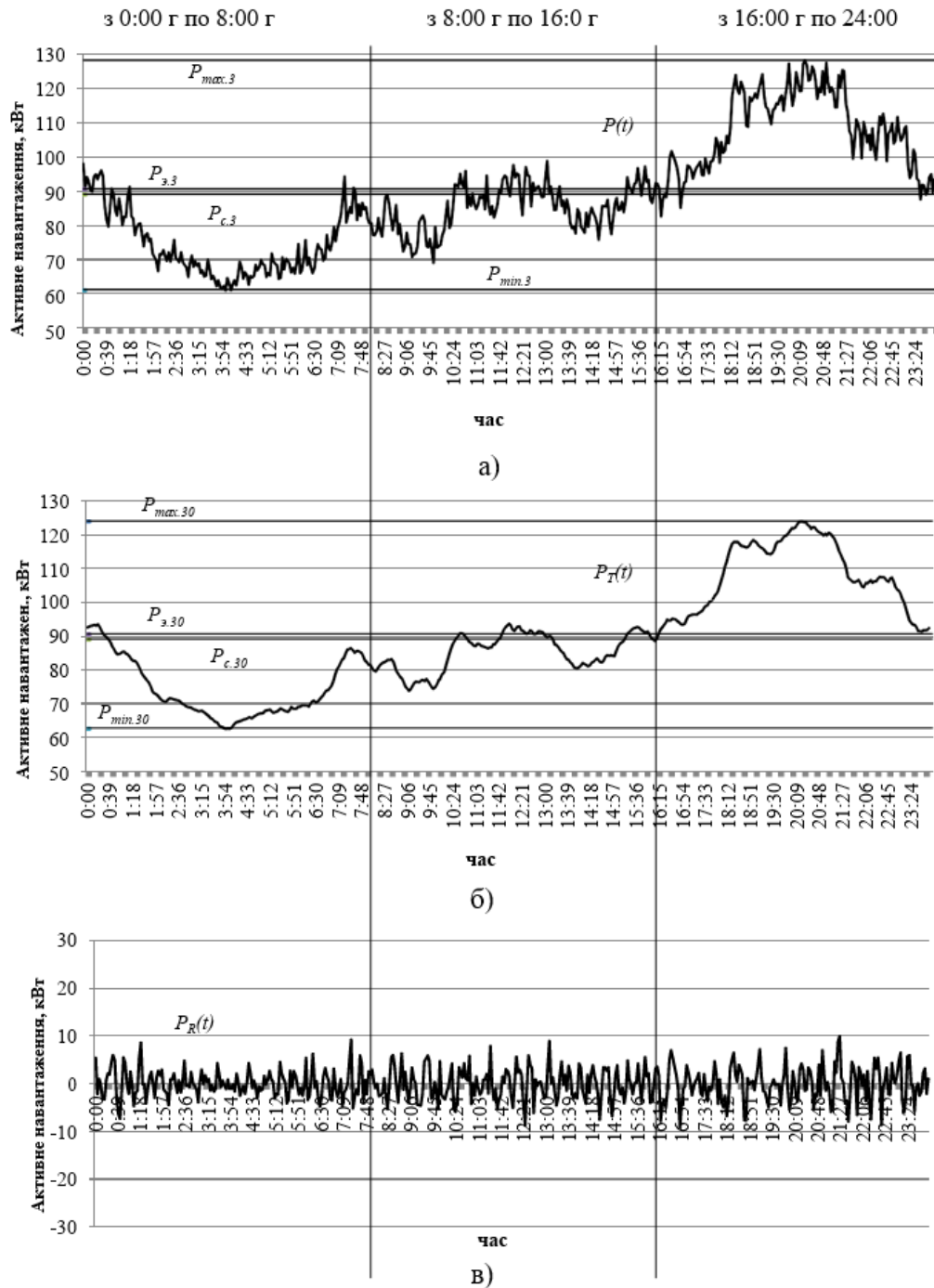


Рисунок 1.2 – ГЕН жилого будинку серії Еліт-1 за 24.12 2019 р.: а) початковий ГЕН $P(t)$; б) трендова складова ГЕН $P_T(t)$; в) випадкова складова ГЕН $P_R(t)$

Таблиця 1.1 – Діапазони змін основних властивостей трендових складових ГЕН жилого будинку серії Еліт-1

Найменування споживачів	Характеристики графіка	Межа змін по періодам доби							
		с 0:00 г по 8:00 г		с 8:00 г по 16:00 г		16:00 г по 24:00 г		с 0:00 г по 24:00 г	
		min	max	min	max	min	max	min	max
АВР (Ліфти,димовидалення)	Рср, кВт	4,49	4,85	5,38	5,67	5,53	5,99	5,16	5,43
	Реф, кВт	4,50	4,86	5,38	5,68	5,55	6,01	5,19	5,45
	DP, кВт ²	0,06	0,21	0,05	0,18	0,08	0,24	0,31	0,43
	Кф	1,002	1,005	1,001	1,003	1,001	1,003	1,005	1,008
ЗБП	Рср, кВт	5,86	7,07	6,39	7,98	6,24	7,90	6,18	7,65
	Реф, кВт	5,86	7,07	6,39	7,99	6,24	7,93	6,18	7,68
	DP, кВт ²	0,03	0,63	0,04	0,84	0,01	0,56	0,08	0,52
	Кф	1,000	1,007	1,000	1,007	1,000	1,006	1,001	1,006
Квартири	Рср, кВт	11,23	35,14	22,50	42,96	28,27	51,38	21,21	42,09
	Реф, кВт	11,67	35,39	22,60	43,27	28,57	51,62	22,71	43,14
	DP, кВт ²	3,96	26,82	4,63	100,37	9,03	55,71	34,37	167,50
	Кф	1,004	1,053	1,003	1,045	1,003	1,021	1,013	1,111
Вбудовані приміщен.	Рср, кВт	0,00	0,24	0,00	0,78	0,00	0,72	0,00	0,57
	Реф, кВт	0,00	0,24	0,00	0,85	0,00	0,78	0,00	0,68
	DP, кВт ²	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,15	0,00	0,14
	Кф	1,000	1,000	1,090	1,090	1,094	1,186	1,189	1,210
ІТП	Рср, кВт	0,27	2,33	0,72	1,82	0,29	2,33	0,82	1,60
	Реф, кВт	0,28	2,33	0,84	1,95	0,29	2,33	0,97	1,80
	DP, кВт ²	0,00	0,00	0,19	0,53	0,00	0,00	0,25	0,70
	Кф	1,000	1,031	1,073	1,298	1,000	1,002	1,121	1,271
ВНС	Рср, кВт	1,08	1,54	1,43	2,11	1,51	2,47	1,39	2,03
	Реф, кВт	1,09	1,55	1,44	2,12	1,53	2,48	1,41	2,08
	DP, кВт ²	0,02	0,09	0,02	0,09	0,02	0,08	0,07	0,22
	Кф	1,004	1,021	1,004	1,013	1,002	1,017	1,014	1,042
Всього по будинку	Рср, кВт	37,36	74,41	63,72	96,86	75,70	114,41	58,93	92,60
	Реф, кВт	38,10	74,93	64,46	97,82	76,07	114,69	61,67	95,30
	DP, кВт ²	39,34	95,33	5,04	288,07	40,31	120,20	266,81	577,34
	Кф	1,005	1,020	1,001	1,022	1,002	1,008	1,017	1,056

Таблиця 1.2 - Діапазони змін основних властивостей трендових складових ГЕН житлового будинку серії П44Т

Найменування споживачів	Характеристики графіка	Межа змін по періодам доби							
		з 0:00 г по 8:00 г		з 8:00 г по 16:00 г		з 16:00 г по 24:00 г		з 0:00 г по 24:00 г	
		min	max	min	max	min	max	min	max
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АВР (Ліфти, димовидалення)	Рср, кВт	3,61	5,09	4,92	5,73	5,15	5,90	4,71	5,39
	Реф, кВт	3,63	5,10	5,01	5,76	5,17	5,96	4,78	5,43
	DP, кВт ²	0,06	1,17	0,14	0,89	0,22	0,84	0,42	1,48
	Кф	1,002	1,031	1,002	1,018	1,004	1,012	1,007	1,030
ЗБП	Рср, кВт	4,61	5,47	5,10	7,03	5,05	6,45	4,94	6,31
	Реф, кВт	4,61	5,48	5,10	7,11	5,05	6,50	4,94	6,40
	DP, кВт ²	0,02	0,16	0,01	1,11	0,01	0,68	0,05	1,06
	Кф	1,000	1,003	1,000	1,011	1,000	1,008	1,001	1,013
Квартири	Рср, кВт	10,56	29,14	16,70	51,24	25,79	64,38	17,93	47,83
	Реф, кВт	11,00	29,87	16,85	52,96	26,11	64,92	19,37	50,46
	DP, кВт ²	4,27	91,19	3,93	178,72	16,68	134,44	45,48	349,77
	Кф	1,010	1,077	1,003	1,033	1,003	1,022	1,043	1,100
Вбудовані приміщення	Рср, кВт	0,74	3,03	3,76	8,16	3,28	6,73	2,65	5,95
	Реф, кВт	0,74	3,03	4,11	8,52	3,83	7,16	3,31	6,65
	DP, кВт ²	0,00	0,28	2,69	6,56	2,70	5,93	3,94	9,07
	Кф	1,000	1,054	1,035	1,125	1,034	1,169	1,082	1,251
ІТП	Рср, кВт	0,10	1,92	0,29	1,95	0,00	2,36	0,25	2,07
	Реф, кВт	0,11	1,92	0,37	1,96	0,00	2,37	0,36	2,09
	DP, кВт ²	0,00	0,30	0,05	0,77	0,00	0,06	0,06	0,83
	Кф	1,000	2,058	1,006	1,420	1,000	4,713	1,008	1,405
ВНС	Рср, кВт	0,00	0,99	0,00	1,59	0,00	1,80	0,00	1,42
	Реф, кВт	0,00	1,00	0,00	1,61	0,00	1,84	0,00	1,50
	DP, кВт ²	0,00	0,09	0,00	0,06	0,00	0,14	0,00	0,21
	Кф	1,010	1,062	1,006	1,019	1,002	1,025	1,022	1,073
Всього по будинку	Рср, кВт	49,37	66,14	75,19	104,49	104,53	123,17	77,78	96,67
	Реф, кВт	50,99	66,96	75,68	105,84	105,81	123,90	81,46	100,95
	DP, кВт ²	60,82	163,69	41,65	491,30	90,26	270,64	586,82	1055,24
	Кф	1,011	1,033	1,002	1,026	1,003	1,012	1,035	1,067

1.2 Аналіз кореляційних зв'язків ГЕН житлових багато квартирних будинків

1.2.1 Кореляція випадкових складових ГЕН житлових БКБ

Виконаємо оцінку автокореляційних функцій (АКФ) [16,17,18], що пов'язують значення ординат графіків $P_R(t)$ на різному видаленні щаблів ГЕН один від одного, при $\Delta t = 3$ хв:

- АКФ випадкової складової в іменованих одиницях:

$$K(m) = \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n-m} P_i \cdot P_{i+m} - P_c^2, \quad (1.3)$$

де P_i - значення випадкової складової ГЕН в i -ий момент часу, кВт;

P_{i+m} - значення випадкової складової ГЕН $i + m$ час, кВт;

P_c - середнє значення випадкової складової ГЕН;

n - загальна кількість ступенів ГЕН, при $t = 24$ години і $t = 3$ хв, $n = 480$;

m - зсув у часі, що виражається у кількості ступенів тривалістю $\Delta t = 3$ хв, $0 \leq m \leq n$.

- нормована АКФ випадкової складової (відносні одиниці):

$$k(m) = K(m) / K(0), \quad (1.4)$$

де, $K(0) = Dp$ - дисперсія випадкової складової ГЕН.

У додатку А наведено кореляційні залежності ординат ГЕН двох житлових багатоквартирних за вихідний (23.12.2019 р.) та робочий дні (24.12.2019 р.). При цьому окремо розглядається доба (з 0:00 год. по 24:00 год.) і три тимчасові періоди: з 0:00 год. по 8:00 год., з 8:00 год. по 16:00 год., з 16:00 год. по 24:00 год. Для прикладу на рисунку 1.3 та таблиці 1.3 наведено кореляційні функції та її значення для ординат ГЕН житлового будинку серії Еліт-1 за 24.12.2019 р., представлено на малюнку 1.2.

З графіків кореляційних функцій та значень коефіцієнтів кореляції, видно, що ступінь кореляційного зв'язку між сусідніми ступенями слабкий і практично повністю згасає при $m=10$, що відповідає часовому інтервалу 30 хвилин. Звідси можна дійти невтішного висновку, що з тридцятихвилинному середовищі ГЕН, т. б. щодо максимальної розрахункової навантаження, можна враховувати корелюваність його випадкової складової.

Виконаємо оцінку взаємно-кореляційної функції (ВКФ) [17, 18] випадкової складової ГЕН $P_R(t)$ двох житлових багатоквартирних будинків за умови поступового зміщення щаблів одного графіка щодо іншого на $t + \Delta t$, при $\Delta t = 3$ хв:

- ВКФ випадкових складових в іменованих одиницях:

$$K_{12}(m) = \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n-m} P_{1i} \cdot P_{2i+m} - P_{1c} \cdot P_{2c}, \quad (1.5)$$

де, P_{1i}, P_{2i} – значення випадкових складових ГЕН в i -ий момент часу, кВт;

P_{1c}, P_{2c} – середні значення випадкових складових ГЕН, кВт;

- нормована ВКФ випадкових складових (відносні одиниці):

$$k_{12}(m) = K_{12}(m) / \sqrt{K_1(0) \cdot K_2(0)}, \quad (1.6)$$

де $K_1(0)$ і $K_2(0)$ дисперсія випадкових складових ГЕН.

Таблиця 1.3 – Коефіцієнти автокореляції ординат ГЕН $P_R(t)$ жилого будинку серії Еліт-1 за 24.12.2019 р.

m	з 0:00 г по 8:00 г		з 8:00 г по 16:00 г		з 16:00 г по 24:00 г		з 0:00 г по 24:00 г	
	$K(m),$ кВт ²	$k(m)$	$K(m),$ кВт ²	$k(m)$	$K(m),$ кВт ²	$k(m)$	$K(m),$ кВт ²	$k(m)$
0	7,83	1,00	10,92	1,00	14,13	1,00	10,96	1,00
1	1,88	0,24	3,05	0,28	5,14	0,36	3,38	0,31
2	-1,60	-0,20	-1,93	-0,18	-1,45	-0,10	-1,66	-0,15
3	-2,53	-0,32	-3,89	-0,36	-3,82	-0,27	-3,41	-0,31
4	-2,88	-0,37	-3,42	-0,31	-3,78	-0,27	-3,39	-0,31
5	-0,80	-0,10	-1,00	-0,09	-2,47	-0,17	-1,41	-0,13
6	1,57	0,20	1,87	0,17	-3,14	-0,22	0,21	0,02
7	0,71	0,09	2,20	0,20	-1,79	-0,13	0,42	0,04
8	0,06	0,01	0,06	0,01	-0,12	-0,01	-0,07	-0,01
9	0,92	0,12	-1,66	-0,15	2,85	0,20	0,54	0,05
10	0,98	0,13	-0,91	-0,08	2,12	0,15	0,59	0,05
11	-0,73	-0,09	-0,71	-0,07	0,70	0,05	-0,25	-0,02
12	-0,08	-0,01	0,65	0,06	0,21	0,01	0,24	0,02
13	-0,59	-0,08	0,38	0,03	0,66	0,05	0,19	0,02
14	-1,03	-0,13	-0,10	-0,01	1,74	0,12	0,28	0,03
15	0,36	0,05	-0,10	-0,01	0,27	0,02	0,17	0,02
16	0,16	0,02	-0,85	-0,08	-1,21	-0,09	-0,62	-0,06
17	-0,46	-0,06	0,26	0,02	-2,49	-0,18	-0,71	-0,06
18	0,59	0,08	-0,07	-0,01	-1,62	-0,11	-0,24	-0,02
19	1,08	0,14	0,93	0,08	0,51	0,04	0,85	0,08
20	1,06	0,14	-0,19	-0,02	-0,32	-0,02	0,02	0,00

У додатку А наведено кореляційні залежності ординат ГЕН двох житлових багатоквартирних будинків за вихідний (23.12.2019 р.) та робочий

день (24.12.2019 р.). При цьому окремо розглядається доба (з 0:00 год. по 24:00 год.) і три часові зони: з 0:00 год. по 8:00 год., з 8:00 год. по 24:00 год. Як приклад, на рисунку 1.4 та таблиці 1.4 наведено кореляційні функції та її значення для графіків навантаження двох житлових багатоквартирних будинків за 24.12.2019р.

Таблиця 1.4 – Коефіцієнти взаємної кореляції ДЕН двох житлових багатоквартирних будинків за 24.12.2019р.

m	з 0:00 г по 8:00 г		з 8:00 г по 16:00 г		з 16:00 г по 24:00 г		з 0:00 г по 24:00 г	
	$K(m)$, кВт ²	$k(m)$	$K(m)$, кВт ²	$k(m)$	$K(m)$, кВт ²	$k(m)$	$K(m)$, кВт ²	$k(m)$
0	1,62	0,33	-0,38	-0,03	-0,11	-0,01	0,38	0,03
1	0,58	0,12	-0,13	-0,01	-1,21	-0,07	-0,25	-0,02
2	-0,53	-0,11	-0,54	-0,04	-2,42	-0,14	-1,21	-0,10
3	-0,24	-0,05	0,04	0,00	-1,95	-0,11	-0,79	-0,07
4	-0,57	-0,12	-0,56	-0,04	-0,10	-0,01	-0,41	-0,03
5	-0,26	-0,05	-1,76	-0,14	1,29	0,07	-0,34	-0,03
6	0,40	0,08	-1,00	-0,08	2,16	0,12	0,49	0,04
7	-0,09	-0,02	1,25	0,10	0,52	0,03	0,51	0,04
8	-0,80	-0,16	1,76	0,14	0,38	0,02	0,53	0,05
9	0,43	0,09	1,92	0,15	1,89	0,11	1,40	0,12
10	1,38	0,28	0,66	0,05	2,76	0,16	1,53	0,13
11	0,70	0,14	-2,55	-0,20	0,99	0,06	-0,49	-0,04
12	0,39	0,08	-1,56	-0,12	0,65	0,04	-0,05	0,00
13	-0,77	-0,16	0,05	0,00	-1,10	-0,06	-0,33	-0,03
14	-1,47	-0,30	2,11	0,17	-2,52	-0,14	-0,49	-0,04
15	-1,39	-0,28	3,33	0,26	-2,96	-0,17	-0,45	-0,04
16	0,45	0,09	1,58	0,12	-3,23	-0,18	-0,61	-0,05
17	0,21	0,04	-0,61	-0,05	-1,47	-0,08	-0,94	-0,08
18	0,77	0,16	-2,19	-0,17	0,09	0,00	-0,43	-0,04
19	1,00	0,20	-2,88	-0,23	2,55	0,14	0,32	0,03
20	0,52	0,11	-1,05	-0,08	3,08	0,17	1,06	0,09

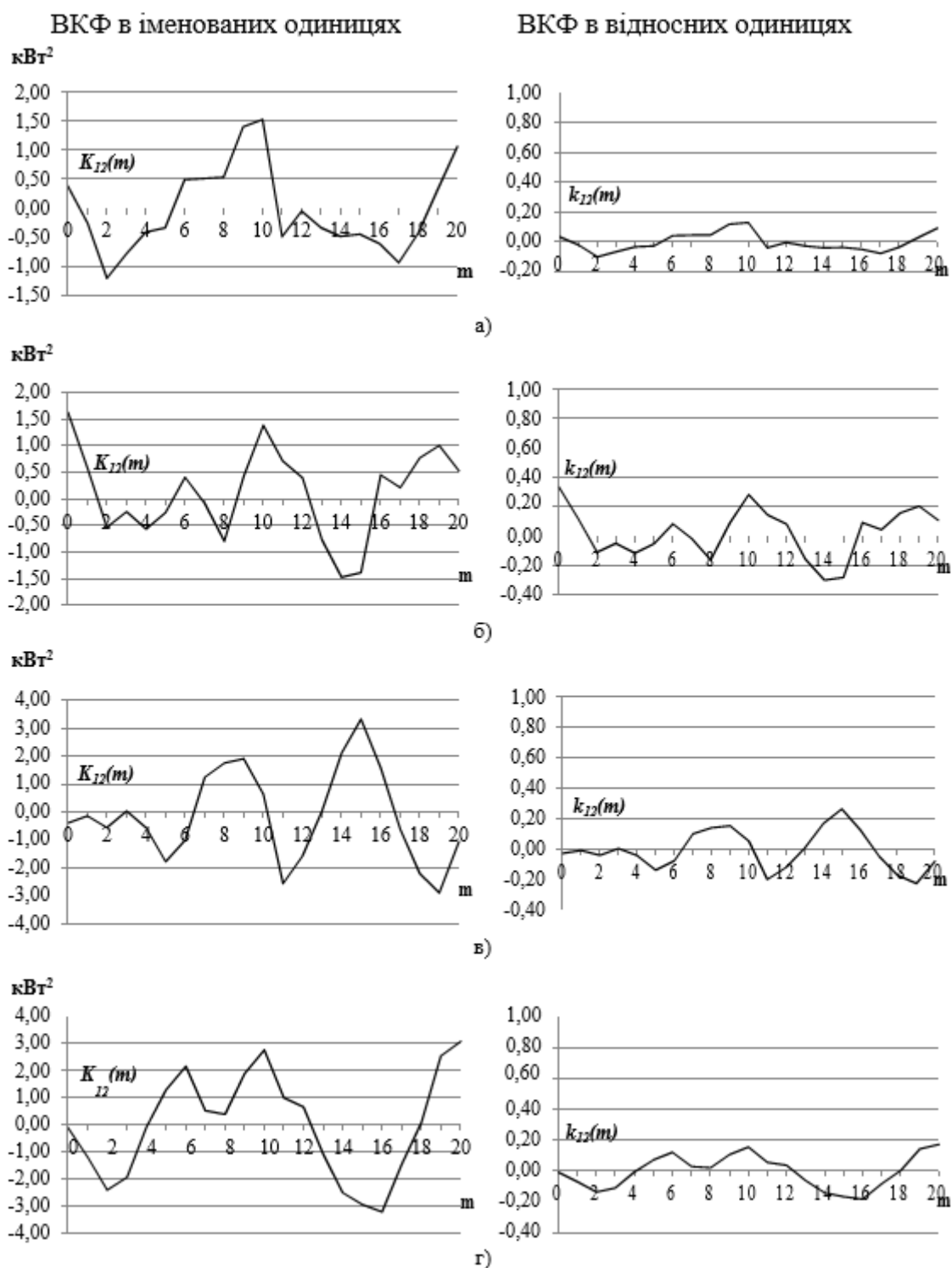


Рисунок 1.3 – ВКФ випадкових складових ГЕН жилих будинків за 24.12.2019 р.: а) за сдобу з 0:00 г по 24:00 г; б) з 0:00 г. по 8:00 г.; в) з 8:00 г. по 16:00 г.; г) з 16:00 г. по 24:00 г

Як видно з графіків ВКФ та значень коефіцієнтів кореляції, кореляційний зв'язок між двома випадковими складовими ГЕН двох житлових багатоквартирних будинків практично відсутній. Таким чином, при оцінці

максимальних навантажень на шинах 0,4 кВ ТП або мікрорайону загалом від електричних навантажень квартир, можна не враховувати корелювання випадкової складової добових ГЕН.

1.2.2 Кореляція трендових складових ГЕН житлових БКБ

У комунально-побутовому навантаженні форма трендової складової ГЕН визначається режимом роботи окремих груп електроприймачів, а не індивідуальних приймачів, як у випадку випадкової складової ГЕН. Режими роботи цих груп приймачів можна назвати встановилися, внаслідок розпорядку життя населення мегаполісів, що склався, внаслідок цього форми трендових складових ГЕН квартир і житлових багатоквартирних будинків за формою збігаються, отже, і форми графіків АКФ і ВКФ також збігатимуться.

Виконаємо оцінку кореляційних функцій ГЕН житлових БКБ та ГЕН введів у ВРУ житлової частини, що пов'язують значення ординат графіків $P_T(t)$ при зміщенні ГЕН один щодо одного, за формулами 1.5 та 1.6. Результати розрахунку наведено рисунку 1.4.

Усі графіки кореляційних функцій мають форми близькі до параболі чи трапеції, внаслідок цього, з достатньою для практичних розрахунків точністю, можуть бути замінені моделями [19, 20, 21]:

- параболічна $K_{12П}(m) = \sigma_1 \sigma_2 \cdot (6(m-0,5)^2 - 0,5)$; (1.7)

- кусочно-лінійна $K_{12КЛ}(m) = \begin{cases} \sigma_1 \sigma_2 \left(1 - 4,5 \frac{m}{n}\right); & 0 \leq m \leq \frac{n}{3} \\ -0,5 \sigma_1 \sigma_2; & \frac{n}{3} \leq m \leq \frac{2}{3} n \\ \sigma_1 \sigma_2 \left(4,5 \frac{m}{n} - 3,5\right); & \frac{2}{3} n \leq m \leq n \end{cases}$ (1.8)

У реальних умовах, зміщення трендових складових ГЕН комунально-побутових споживачів один щодо одного малоімовірно. Корелювання ж окремих ГЕН, без урахування їх зміщення, має бути високою в силу розпорядку, що склався, користування побутовими електроприладами. Визначимо величини взаємних кореляційних моментів трендових складових

ГЕН житлових будинків та введень у житлову частину за формулами 1.5, 1.6, за умови, що $m=0$.

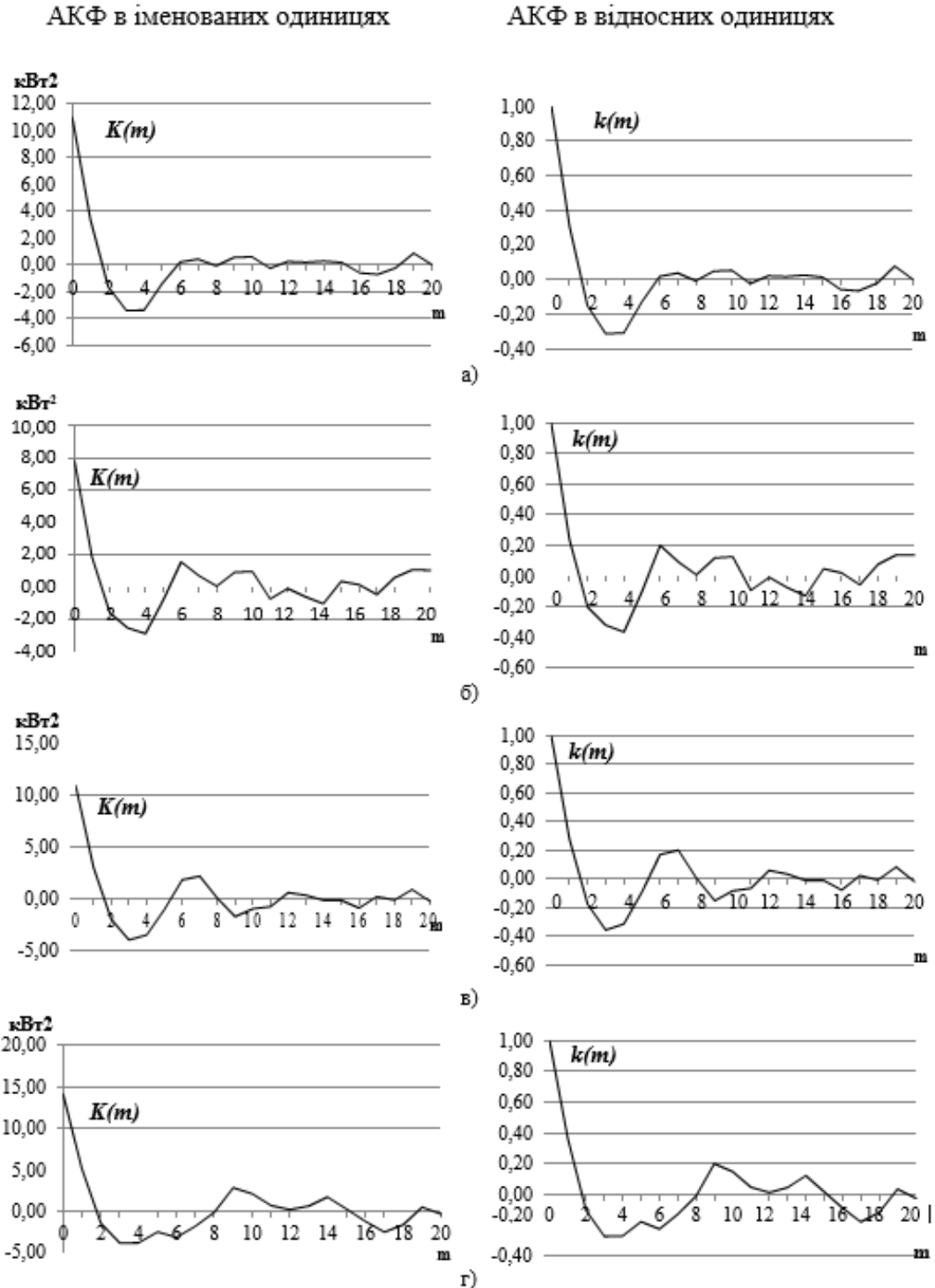


Рисунок 1.3 – АКФ випадкова складова ГЕН жилого будинку серії Еліт-1 за 24.12.2019 р.: а) за добу з 0:00 г по 24:00 г; б) з 0:00 г по 8:00 г; в) з 8:00 г по 16:00 г; г) з 16:00 г по 24:00 г

Результати розрахунку кореляційних моментів трендових складових ГЕН

вводів у ВРУ житлової частини МКД наведено у таблиці 1.5, двох житлових БКБ – у таблиці 1.6.

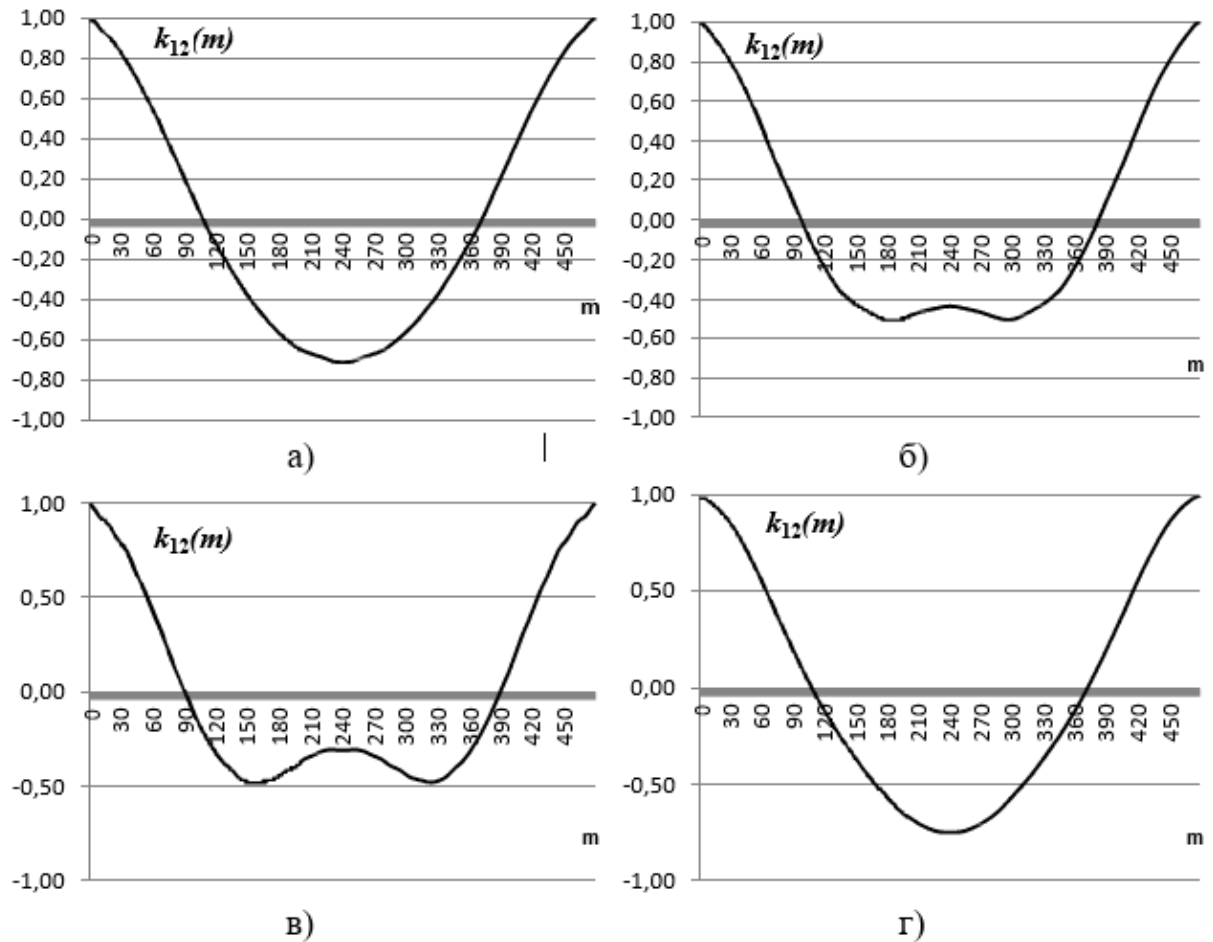


Рисунок 1.4 – ВКФ та АКФ трендових складових ГЕН за добу у відносних одиницях: а) введення №1 у ВРУ житлової частини МКД серії Еліт-1 за 17.11.2019р.; б) МКД серії Еліт-1 за 24.12.2019р.; в) введення №1 до ВРУ МКД житлового будинку серії П44Т за 22.12.2019р.; г) МКД серії П44Т за 23.12.2019р.

Виконаний розрахунок кореляційних моментів ГЕН вводів у житлову частину МКД та житлових будинків свідчить про наявність високого кореляційного зв'язку. Графіки змін максимальних значень кореляційних моментів ГЕН вводів у житлову частину МКД та житлових будинків наведено на рисунках 1.5, 1.6.

Таблиця 1.5 - Кореляційні моменти трендових складових ГЕН вводів у ВРУ житлової частини БКБ

№ п.п.	Найменування жилого будинку	Дата замірів	Значення кореляційного моменту, в залежності від часової зони			
			з 0:00 г по 8:00 г	з 8:00 г по 16:00 г	16:00 г по 24:00 г	з 0:00 г по 24:00 г
1	Жилий будинок серії Еліт-1	17.11.2019	0,90	0,84	0,64	0,94
		18.11.2019	0,91	0,84	0,50	0,92
		22.12.2019	0,88	0,49	0,45	0,88
		23.12.2019	0,77	0,72	0,39	0,89
		24.12.2019	0,75	-0,23	0,85	0,78
		10.02.2019	0,68	0,90	0,48	0,92
		11.02.2019	0,86	-0,61	0,55	0,86
		Максимальне значення	0,91	0,90	0,85	0,94
		Середнє значення	0,82	0,42	0,55	0,89
		Мінімальне значення	0,68	-0,61	0,39	0,78
2	Жилий будинок серії П44Т	17.11.2019	0,84	0,73	0,87	0,95
		18.11.2019	0,96	0,79	0,83	0,92
		22.12.2019	0,84	0,09	0,63	0,88
		23.12.2019	0,93	0,78	0,53	0,92
		24.12.2019	0,84	-0,26	0,79	0,86
		10.02.2019	0,95	0,84	0,74	0,93
		11.02.2019	0,95	0,39	0,86	0,94
		Максимальне значення	0,96	0,84	0,87	0,95
		Середнє значення	0,90	0,48	0,75	0,91
		Мінімальне значення	0,84	-0,26	0,53	0,86
3	Осередковане значення по обох будинках	Максимальне значення	0,93	0,87	0,86	0,95
		Середнє значення	0,86	0,45	0,65	0,90
		Мінімальне значення	0,76	-0,43	0,46	0,82

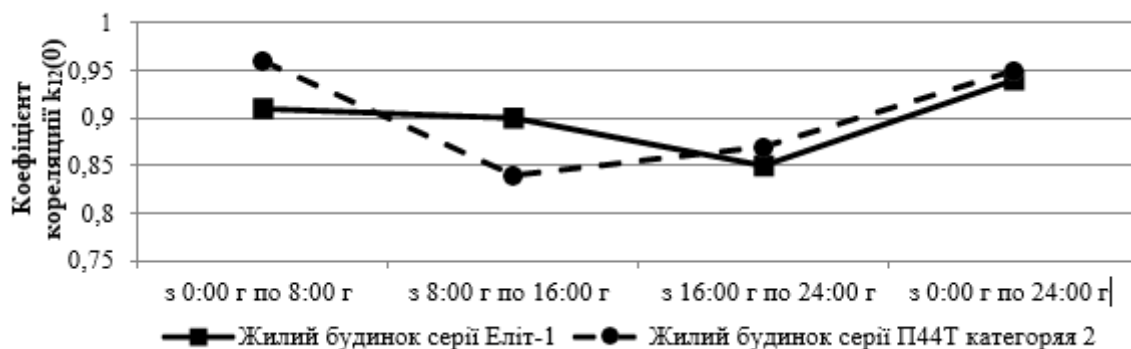


Рисунок 1.5 – Графіки змін максимальних значень кореляційних

моментів ГЕН уведення в житлову частину БКБ

Таблиця 1.6 – Кореляційні моменти трендових складових ГЕН житлових будинків серії Еліт-1 та серії П44Т

Дата замірів	Кореляційний момент, в залежності від часової зони			
	з 0:00 г по 8:00 г	з 8:00 г по 16:00 г	16:00 г по 24:00 г	з 0:00 г по 24:00 г
17.11.2019	0,96	0,86	0,83	0,97
18.11.2019	0,95	0,97	0,88	0,98
22.12.2019	0,97	0,83	0,79	0,97
23.12.2019	0,90	0,91	0,82	0,97
24.12.2019	0,90	0,54	0,90	0,95
10.02.2020	0,95	0,93	0,82	0,96
11.02.2020	0,93	0,40	0,86	0,96
Максимальне значення	0,97	0,97	0,90	0,98
Середнє значення	0,94	0,78	0,84	0,97
Мінімальне значення	0,90	0,40	0,79	0,95

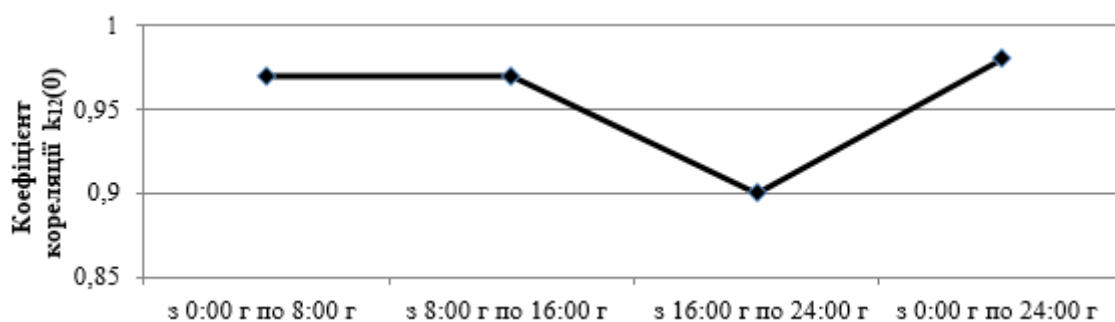


Рисунок 3.6 – Графіки змін максимальних значень кореляційних моментів ГЕН житлових будинків серії Еліт-1 та серії П44Т

Висновки по першому розділу

Найменша величина кореляційного моменту за добу спостерігається в період з 16:00 до 24:00 год, тобто у момент максимального споживання електричної енергії, що з деяким зміщенням включення основних електроприймачів, які працюють у цей час: мікрохвильові печі, електрочайники, електричні плити тощо. Перелічені приймачі, в момент часу з 16:00 до 24:00, створюють основне електричне навантаження житлових БКБ.

Якщо розглядати не окремі часові зони, а добу, то середній кореляційний момент для ГЕН введів у ВРУ житлової частини склав $k_{12}(0)=0,9$ і для ГЕН житлових БКБ склав $k_{12}(0) = 0,97$.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ГРУПОВОГО ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ

2.1 Перевірка гіпотези про нормальний закон розподілу випадкової складової ГЕН

Дослідження показали, що закон розподілу випадкових ординат графіка $P(t)$ на інтервалі доби має розподіл, як правило, відмінний від нормального. Це пов'язано з тим, що трендова складова $P_T(t)$ добового графіка $P(t)$, а також дисперсія випадкової складової значно змінюється протягом доби. Отже, сама постановка задачі визначення закону розподілу $P(t)$ за доби є некоректною, тому що в цьому випадку не дотримуються умови однорідності вибірки даних.

Ординатами випадкової складової $P_R(t)$ ГЕН є випадкова величина P_R з нульовим математичним очікуванням та ненульовою дисперсією. Перевірка гіпотези про нормальний закон розподілу випадкової складової ГЕН $P_R(t)$ у роботі виконана за критерієм Пірсона χ^2 [22, 23]. На рисунках 2.1÷2.4 наведено гістограми розподілу випадкової складової доби, а також на інтервалах: 0÷8 год., 8÷16 год., 16÷24 год.

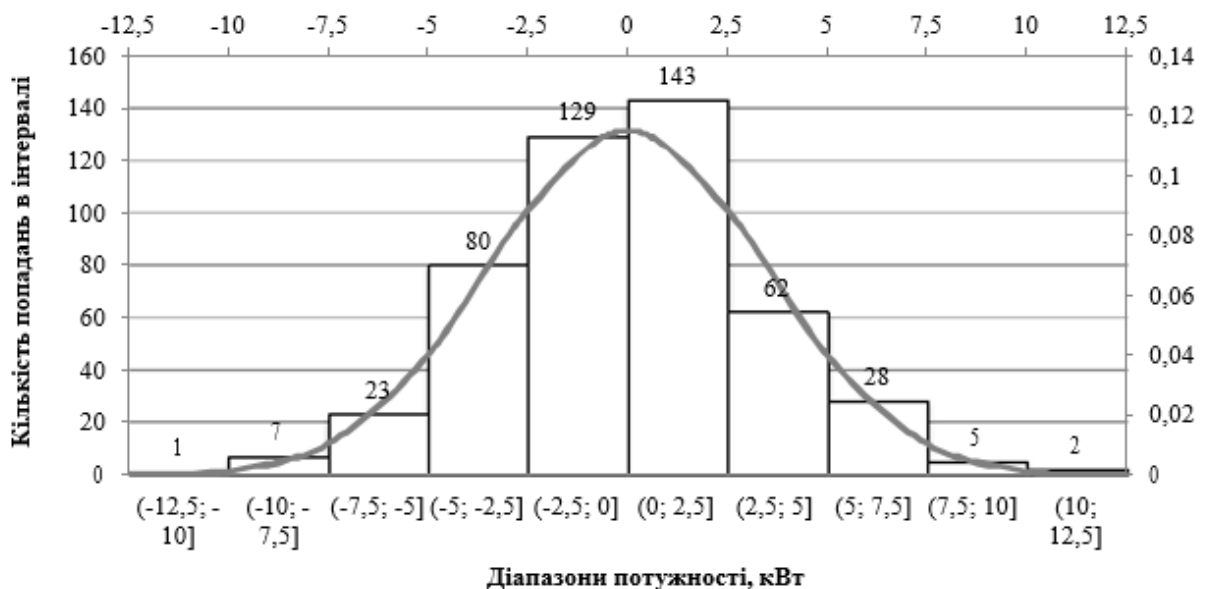


Рисунок 2.1 – Гістограма розподілу випадкової величини P_R тимчасового інтервалу 0 – 24 год.

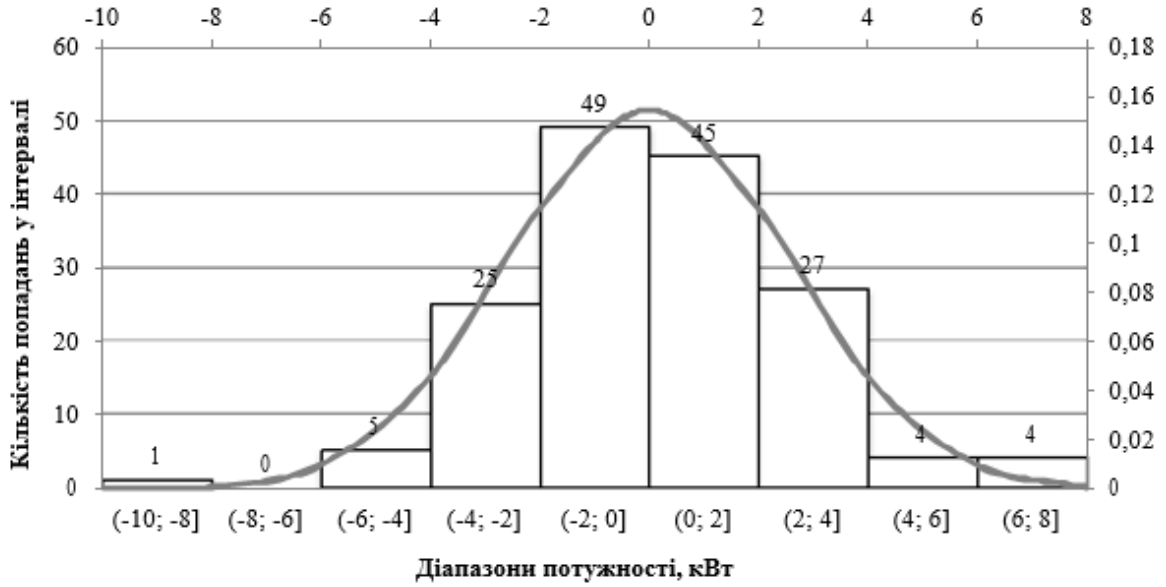


Рисунок 2.2 – Гістограма розподілу випадкової величини P_R для часового інтервалу 0 – 8 год.

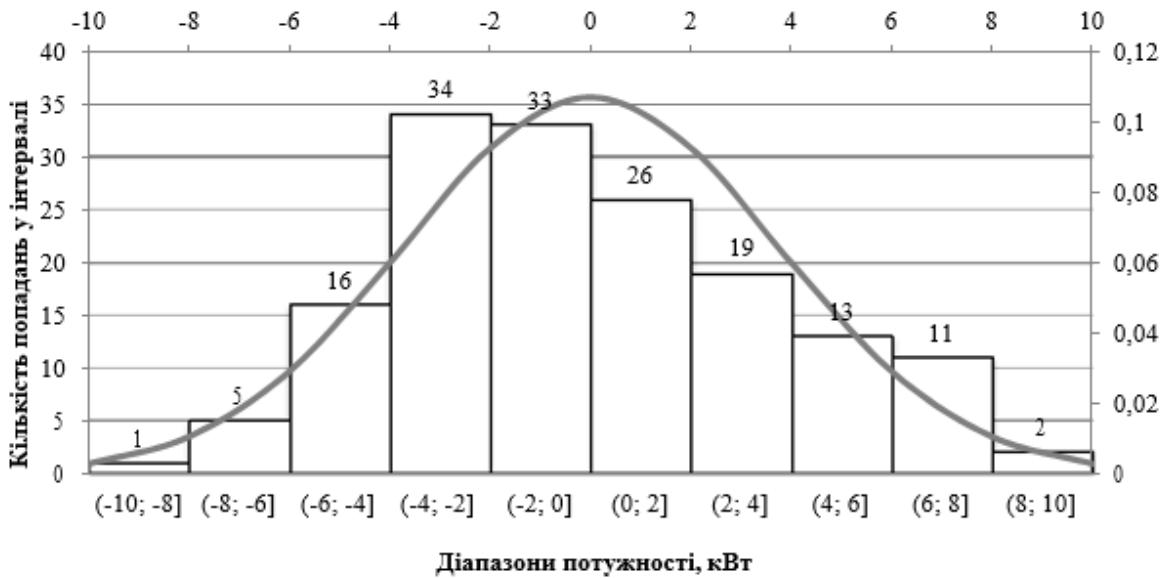


Рисунок 2.3 – Гістограма розподілу випадкової величини P_R для часового інтервалу 8 – 16 год.

Результати перевірки за критерієм Пірсона χ^2 узгодженості експериментального та теоретичного (нормального) законів розподілу випадкової величини P_R на зазначених вище інтервалах наведено у таблиці 2.1.

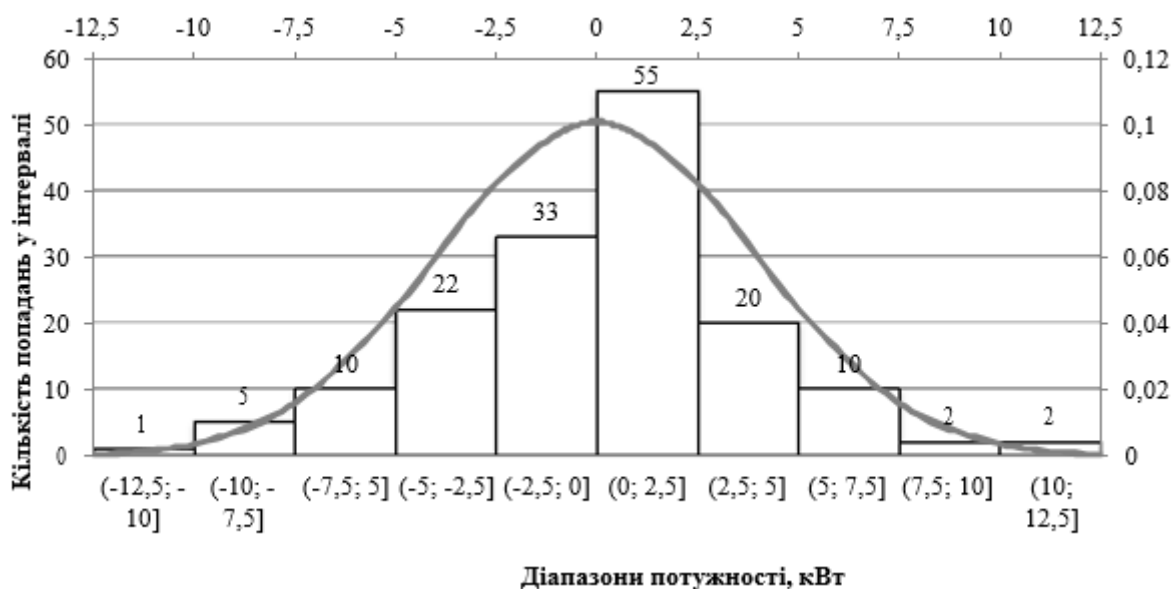


Рисунок 2.4 – Гістограма розподілу випадкової величини P_R для часового інтервалу 16 – 24 год.

Таблиця 2.1 – Числові характеристики випадок величини P_R та результати перевірки узгодженості за критерієм Пірсона

№ п/п	Часовий інтервал, год	Дисперсія D_{P_R} , кВт ²	Середн. кв. відхил. σ_{P_R} , кВт	Значення критерія χ^2		Висновок про гіпотезу
				Розрахункове	Критичне.	
1	0 – 8	6,61	2,57	8,60	11,1	Підтверджується
2	8 - 16	13,87	3,72	11,30	14,1	Підтверджується
3	16 – 24	15,42	3,93	11,09	12,6	Підтверджується*
4	0 - 24	11,92	3,45	7,97	14,1	Підтверджується

* При рівні значимості 0,025.

Як видно з таблиці, на всіх розглянутих інтервалах гіпотеза про нормальний закон розподілу випадкової величини P_R підтверджується.

2.2 Математичне моделювання групового графіка навантаження

Груповий ГЕН ВРУ, житлового будинку та мікрорайону в цілому може бути представлений у вигляді суми індивідуальних ГЕН, що є його складовими [19, 20]:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n p_i(t). \quad (2.1)$$

При цьому кожен індивідуальний ГЕН визначається середньою p_{ci} та ефективною p_{ei} електричними навантаженнями, дисперсією Dp_i , коефіцієнтом форми $k_{\phi i}$. Розрахункове електричне навантаження індивідуального ГЕН, при

Допущення того, що вона дорівнює ефективному електричному навантаженню на інтервалі θ , можна записати:

$$p_i = p_{ei} = \sqrt{Dp_i + p_{ci}^2} = p_{ci} \cdot k_{\phi i} . \quad (2.2)$$

Т.б. груповий ГЕН прийме вигляд:

$$P = \sum_{i=1}^n \sqrt{Dp_i + p_{ci}^2} = \sum_{i=1}^n p_{ci} \cdot k_{\phi i} . \quad (2.3)$$

Наявність кореляційних зв'язків між ГЕН говорить про необхідність її обліку щодо електричної навантаження групи електроприймачів.

Тоді дисперсія групового графіка навантаження [13, 19, 20] може бути записана:

$$DP = \sum_{i=1}^n Dp_i + 2 \sum_{i < j} K_{ij}(m) . \quad (2.4)$$

Визначимо вирази зв'язуючі коефіцієнти форми та дисперсію групового графіка та його індивідуальних ГЕН без урахування та з урахуванням кореляції трендових складових цих графіків.

2.2.1 Додавання індивідуальних ГЕН без урахування їх взаємної кореляції

З припущення про відсутність взаємної кореляції випливає, що $K_{ij}(m) = 0$ при всіх $i \neq j$, $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, n$.

Дисперсія сумарного графіка визначається у разі за формулою:

$$DP = \sum_{i=1}^n Dp_i .$$

Дане припущення було прийнято у методі впорядкованих діаграм [12], що є однією з причин високої похибки даного методу розрахунку.

За умови, що графіки, що складаються, однакові (наприклад, графіки електричних навантажень квартир), можна записати:

$$DP = nDp . \quad (2.5)$$

Тоді: $P_c = np_c$;

$$P_c^2 = n^2 p_c^2 ;$$

$$DP = n(p_e^2 - p_c^2) = P_e^2 - P_c^2 ;$$

$$\begin{aligned} P_e^2 &= n(p_e^2 - p_c^2) + P_c^2 = np_e^2 - np_c^2 + n^2 p_c^2 = np_e^2 + n(np_c^2 - p_c^2) = \\ &= np_e^2 + np_c^2(n-1) ; \end{aligned}$$

Коефіцієнт форми групового графіка буде визначатися як:

$$\begin{aligned} K_\phi^2 &= \frac{P_e^2}{P_c^2} = \frac{np_e^2 + np_c^2 \cdot (n-1)}{n^2 p_c^2} = \frac{p_e^2 + p_c^2 \cdot (n-1)}{np_c^2} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{p_e^2 + p_c^2 \cdot (n-1)}{p_c^2} \right) = \\ &= \frac{1}{n} \cdot (k_\phi^2 + n - 1) = \frac{k_\phi^2}{n} + 1 - \frac{1}{n} = 1 + \frac{k_\phi^2 - 1}{n} . \end{aligned}$$

$$K_\phi = \sqrt{1 + \frac{k_\phi^2 - 1}{n}} . \quad (2.6)$$

2.2.2 Додавання індивідуальних ГЕН з урахуванням їхньої взаємної кореляції

З припущення про наявність взаємної кореляції дисперсію сумарного графіка можна записати [19, 20]:

$$DP = \sum_{i=1}^n Dp_i + 2 \sum_{i<j} K_{ij}(m) = \sum_{i=1}^n Dp_i + 2 \sum_{i<j} k_{ij} \sqrt{Dp_i Dp_j} = \sum_{i=1}^n Dp_i + 2 \sum_{i<j} k_{ij} \sigma_i \sigma_j .$$

За умови, що графіки, що складаються, однакові $\sigma_i = \sigma_j$, $Dp_i = Dp_j$, а також за умови, що зрушення у часі t_i , t_j між ними дорівнюють нулю (справедливо для електричного навантаження групи квартир), тобто $\Delta t_{ij} = t_i = t_j = 0$, отримаємо такий вираз:

$$\begin{aligned} DP &= \sum_{i=1}^n Dp_i + 2 \sum_{i<j} \sigma_i^2 k_{ij} ; \\ DP &= nDp + n(n-1)Dpk_{ij} = nDp + (n^2 - n)Dpk_{ij} = \\ &= nDp + n^2 Dpk_{ij} - nDpk_{ij} = n^2 Dpk_{ij} + nDp(1 - k_{ij}) = \\ &= Dp(n^2 k_{ij} + n(1 - k_{ij})) = Dpn(nk_{ij} + 1 - k_{ij}) ; \\ DP &= nDp(1 + k_{ij}(n-1)) . \end{aligned} \quad (2.7)$$

Коефіцієнт форми групового графіка:

$$\begin{aligned}
K_{\phi}^2 &= \frac{DP + P_c^2}{P_c^2} = \frac{DP}{n^2 p_c^2} + 1 = \frac{nDp(1 + k_{ij}(n-1))}{n^2 p_c^2} + 1 = \\
&= \frac{Dp(1 + k_{ij}(n-1))}{np_c^2} + 1 = \frac{(p_s^2 - p_c^2)(1 + k_{ij}(n-1))}{np_c^2} + 1 = \\
&= (k_{\phi}^2 - 1) \frac{(1 + k_{ij}(n-1))}{n} + 1; \\
K_{\phi} &= \sqrt{1 + \frac{(k_{\phi}^2 - 1)}{n} (1 + k_{ij}(n-1))}.
\end{aligned} \tag{2.8}$$

З урахуванням виконаних розрахунків DP та K_{ϕ} можна записати електричне навантаження групового графіка (див. формулу 2.6), отриманого в результаті складання однакових індивідуальних ГЕН:

$$\begin{aligned}
K(p_i p_j) = 0: P &= \sqrt{nDp + n^2 p_c^2} = n p_c \sqrt{1 + \frac{k_{\phi}^2 - 1}{n}}; \\
K(p_i p_j) \neq 0: P &= \sqrt{nDp(1 + k_{ij}(n-1)) + n^2 p_c^2} = \\
&= n p_c \sqrt{1 + \frac{(k_{\phi}^2 - 1)}{n} (1 + k_{ij}(n-1))}.
\end{aligned}$$

Дана модель РЕН, заснована на додаванні ГЕН з урахуванням кореляції, надалі буде використана для розробки уточнюючої методики РЕН квартир.

2.2.3 Граничні значення для дисперсії та коефіцієнта форми сумарного ГЕН при складанні однакових індивідуальних ГЕН

Як показано в [17] при рівномірних законах розподілу зрушень у часі графіків навантаження щодо загального початку циклу, випадкові величини $DP(t)$ і $K_{\phi}(t)$ змінюються в діапазонах:

$$\begin{aligned}
0 \leq DP \leq n^2 Dp, \\
1 \leq K_{\phi} \leq \kappa_{\phi}.
\end{aligned} \tag{2.5}$$

Випадок $DP = n^2 Dp$ та $K_{\phi} = \kappa_{\phi}$ відповідає кореляційному резонансу, а випадок $DP = 0$ та $K_{\phi} = 1$ – кореляційному антирезонансу [18].

Використання понять кореляційного резонансу та антирезонансу може бути використане при вирішенні задачі вирівнювання сумарного ГЕН за критерієм мінімуму дисперсії сумарного графіка [18]. На практиці це може бути реалізовано зрушенням у часі початку технологічних циклів електроприймачів щодо загального початку.

У силу встановленого характеру електроспоживання комунально-побутового навантаження, усунення ГЕН щодо одне одного практично неможливо. При цьому для ГЕН житлових багатоквартирних будинків та квартир (див. таблицю 1.5, 1.6) спостерігається режим, близький до кореляційного резонансу, при якому спостерігається максимальне значення дисперсії сумарного ГЕН.

Висновки по другому розділу

На основі виконаного аналізу характеристик фактичних ГЕН сформовано математичні моделі групових ГЕН з урахуванням та без урахування корелювання індивідуальних ГЕН, однакових за формою та початком циклу. Запропоновані математичні моделі застосовуються для електричних навантажень груп квартир.

Розроблені математичні моделі групових ГЕН, і навіть отримані основні характеристики ГЕН, надалі використані розробки уточнюючих методик РЕН.

Підтверджено гіпотезу про нормальний закон розподілу випадкової складової ГЕН.

РОЗДІЛ 3

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ДЛЯ МІКРОРАЙОНІВ МІСТА З ЖИТЛОВИМИ БАГАТОКВАРТИРНИМИ БУДИНКАМИ ОСНАЧЕНИМИ ЕЛЕКТРОПЛИТАМИ

Виконувати РЕН мікрорайонів житлової забудови та житлових БКБ та об'єктів громадського призначення, що входять до нього, як згадувалося в розділі 1 даної роботи, слід відповідно до чинних нормативних документів: РД 34.20.185-94, заснованими на емпіричних методах РЕН: метод коефіцієнта попиту, методи питомих навантажень. Виконання РЕН за цими нормативними документами останнім часом призводить до значних похибок у розрахунках. Так, розрахункові навантаження мікрорайонів з часткою житлової забудови понад 70 % та квартирами оснащеними електроплитами до 10,5 кВт, перевищують фактичні навантаження у 2÷4 рази (див. рис. 1.2, глава 1), що говорить про необхідність виконання досліджень, спрямованих на підвищення точності РЕН цієї категорії споживачів.

Виконані обстеження електричних навантажень (див. розділ 2) свідчать про те, що найбільше електричне навантаження близько 69 % відноситься до житлових БКБ з квартирами, оснащеними електричними плитами, при цьому найбільше електричне навантаження житлового будинку (за даними вимірів – 75%÷84) %) сконцентрована в електричному навантаженні квартир. Іншими словами, першим кроком у вирішенні задачі підвищення точності РЕН є уточнення методу розрахунку навантажень квартир, з подальшим удосконаленням моделі розрахунку на інші споживачі електроенергії (громадські будівлі, об'єкти комунального призначення) та рівні системи електропостачання (введення в квартири, ВРУ житлового будинку, РУ -0,4 кВ ТП, РУ-6/10/20 кВ РТП).

Для вирішення поставленого завдання можна запропонувати два напрямки:

1. Уточнення методики РЕН закладеної в чинні нормативи з проектування та РЕН житлових та громадських будівель [24].

2. Розробка принципово нової методики РЕН, для цієї категорії споживачів, яка спирається на статистичні показники фактичного електроспоживання.

Далі представлені результати досліджень та варіанти вирішення поставлених завдань.

3.1 Розробка уточнюючої моделі розрахунку електричного навантаження мікрорайону

Модель розрахунку електричного навантаження мікрорайону має відповідати наступним основним критеріям: точність та простота.

Використовувана модель розрахунку електричних навантажень, закладена в [24], досить проста, завдяки чому була прийнята в проектну практику, але останніми роками ця модель показує недостатню, втрачену згодом, точність, пов'язану з старінням своєї нормативної бази. Основним розрахунковим компонентом щодо розрахункових електричних навантажень БКБ і мікрорайонів міст є питома електричне навантаження квартир. Коригування питомих електричних навантажень, у межах України, і всього діапазон квартир від 1 до 1000 прим., відповідно до таблицею 6.1 [24], досить складний і трудомісткий процес, потребує величезних фінансових витрат.

Більш фізично простим у реалізації та теоретично обґрунтованим рішенням підвищення точності моделі РЕН квартир, житлових БКБ, може з'явитися введення нової базової величини - середнього навантаження квартири [109], яка не залежить від кількості квартир у будинку, але яка може бути різною для різних регіонів держави, залежно від рівня життя населення, або типу будинків (бюджетні, підвищеної комфортності), при цьому середню навантаження на квартиру можна прийняти в першому наближенні незалежно від кількості кімнат у квартирі, так як у будинках з електричними плитами

приріст навантаження за рахунок збільшення площі квартири незначний, оскільки відбувається тільки за рахунок навантаження освітлення та приладів малої потужності (холодильників, телевізорів, аудіопристроїв та ін.) [25].

Визначення середніх навантажень на квартири є більш простим рішенням, ніж визначення питомих максимальних навантажень, оскільки вихідними даними для визначення та коригування може бути величина місячного споживання електроенергії, визначена за показаннями приладу обліку на вводах в будинок або квартиру. Роботи щодо отримання середньої величини електроспоживання на квартиру та як наслідок середнього електричного навантаження на даний момент виконуються Регіональними службами за тарифами у рамках впровадження пілотних проектів запровадження соціальної норми споживання електроенергії. Так у Київській області на одну квартиру з 1 квітня 2014 року діють такі норми електроспоживання для квартир з електроплитами:

- 1 людина – 186,0 кВт×год на місяць – $P_c=0,250$ кВт;
- 2 особи – 246,0 кВт×год – $P_c=0,331$ кВт;
- 3 особи – 325,0 кВт×год – $P_c=0,437$ кВт;
- 4 особи – 408,0 кВт×год – $P_c=0,548$ кВт;
- 5 осіб та більше – 491,0 кВт×год – $P_c=0,660$ кВт.

Тобто. розрахункове середнє електричне навантаження на одну квартиру з електричними плитами для Київської області має перебувати в діапазоні 0,250÷0,660 кВт. Виконана оцінка середнього електричного навантаження для квартир обстежуваного мікрорайону наведена на рисунку 3.1.

З графіка, зображеного рисунку 3.1 видно, що середнє електричне навантаження однієї квартири $p_{c,кв}$ лежить у діапазоні від 0,30 кВт до 0,59 кВт. Середнє значення електричних навантажень квартир за всіма експериментами практично незмінне (вагається в діапазоні від 0,40 кВт до 0,42 кВт), і збігається з прямою рівняння лінійної регресії [26] отриманих величин, яка практично паралельна осі абсцис, що говорить про сталість середнього навантаження на одну квартиру та незалежності цієї величини від загальної кількості квартир у

будинку. Розрахунки електричних навантажень житлових БКБ і мікрорайонів в цілому, виконані із середніми навантаженнями: $p_{c1}=0,41$ кВт, $p_{c2}=0,55$ кВт, $p_{c3}=0,59$ кВт, показали, що найкращим чином у запропонованих далі уточнюючих методиках розрахунку підходить величина $p_{c2}=0,55$ кВт/квартиру, яка і буде прийнята як рекомендована для подальших розрахунків.

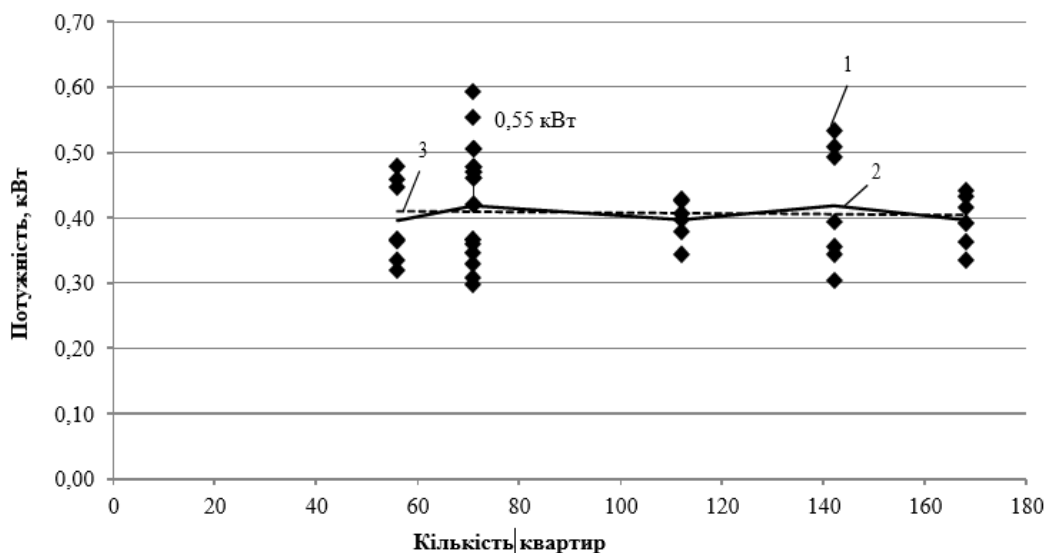


Рисунок 3.1 – Експериментальна залежність середніх електричних навантажень квартир від кількості в будинку: 1 – середнє навантаження однією квартирою в експерименті; 2 – середнє значення з усіх експериментів; 3 – пряма рівняння лінійної регресії

Перехід від середнього навантаження групи квартир $P_{с.кв}$ до розрахункового $P_{р.кв}$ можна виконати двома способами:

1. Збільшенням середнього навантаження квартир $P_{с.кв}$ на деяку величину (мультиплікативна модель), за аналогією з методом упорядкованих діаграм [12, 27] та універсальним методом [28] для промислових споживачів;

2. Додаванням середнього навантаження квартир з деякою величиною, що враховує взаємну кореляцію добових графіків (адитивна модель), за аналогією зі статистичним методом розрахунку електричних навантажень [29].

Відповідно до [23] меншу похибку дають методи, у яких величина перевищення максимального навантаження над середнім додається до середнього. Це тим, що відносна похибка [30] твори дорівнює сумі відносних похибок співмножників. Відносна похибка суми менша від суми відносних похибок доданків. Тому основним розрахунковим прийомом при знаходженні розрахункового максимуму електричного навантаження має бути складання її складових.

Визначимо основні розрахункові вирази.

3.2 Мультиплікативна модель розрахунку електричних навантажень групи квартир

Як розрахункове електричне навантаження групи квартир приймемо півгодинний максимум графіка електричного навантаження на кожному інтервалі опосередкування (трендова складова ГЕН), яка еквівалентна за своїм тепловим впливом фактичного змінного навантаження [12, 28, 8] (див. формулу 1.6).

ГЕН введення у житловий МКД, з квартирним електричним навантаженням, наведено рисунку 3.2.

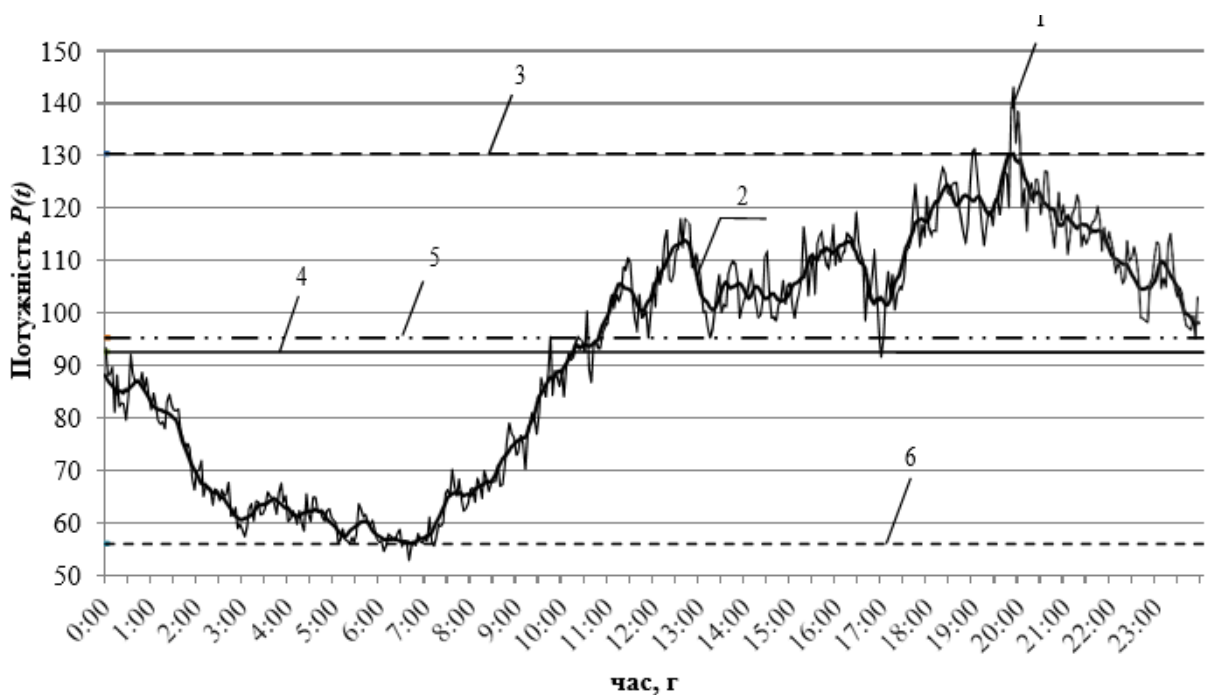


Рисунок 3.2 – ГЕН введення в житлову частину МКД (3-х хвилинні значення)(1), трендова складова ГЕН (2), максимальне значення трендової складової ГЕН (3), середнє значення трендової складової ГЕН (4), ефективне значення трендової складової ГЕН (5), мінімальне значення трендової складової ГЕН (6)

$$P_{p.кв} = P_{макс0} = P_{e.кв} \cdot K = P_{с.кв} \cdot K_{\phi} \cdot K = P_{с.кв} \cdot K_{м} = n_{кв} P_{с.кв} K_{м}, \quad (3.1)$$

де, $P_{с.кв}$ – середнє електричне навантаження однієї квартири, кВт;

$P_{с.кв}$ – середнє електричне навантаження групи квартир, кВт;

$P_{e.кв}$ - ефективне електричне навантаження групи квартир, кВт;

K_{ϕ} – коефіцієнт форми ГЕН групи квартир;

K - коефіцієнт, що визначає відношення максимального електричного навантаження (розрахункової) групи квартир до ефективного електричного навантаження групи квартир.

$K_{м}$ – коефіцієнт максимуму електричного навантаження групи квартир.

Форми ГЕН більшості квартир практично збігаються, отже, можна припустити, що розрахункові коефіцієнти повинні мати досить стабільні величини. Розрахунок величин коефіцієнтів розрахункового навантаження K_{ϕ} , K , $K_{м}$, за період обстеження електричних навантажень житлових БКБ, результати розрахунку наведено на рисунках 3.3 ÷ 3.5.

Як впливає з результатів виконаних розрахунків коефіцієнтів електричного навантаження, межі їх змін такі:

- K_{ϕ} -1,01÷1,11;
- K - 1,28÷1,85;
- $K_{м}$ – 1,30÷2,0.

Виконаємо регресійний аналіз отриманих величин [4,12]. Як регресійну залежність приймемо рівняння прямої лінії виду: $\hat{Y} = a + bx$. Коефіцієнти a та b визначимо методом найменших квадратів [32]. Щоб зменшити ймовірність помилки, використовуємо довірчий інтервал.

Межі довірчого інтервалу визначимо за формулою [33]:

$$\hat{Y} - t_{(1-\alpha/2, n-2)} S_{\hat{Y}} < Y < \hat{Y} + t_{(1-\alpha/2, n-2)} S_{\hat{Y}}, \quad (3.2)$$

де, \hat{Y} - значення рівняння регресії;

$S_{\hat{Y}}$ - помилка регресії;

$t_{(1-\alpha/2, n-2)}$ - t -значення розподілення Стюдента, для кількості вимірювань рівному $n=42$ і рівня значимості $\alpha=0,05$.

$$t_{(1-\alpha/2, n-2)} = 2,021.$$

Стандартну помилку регресії $S_{\hat{Y}}$ визначимо за такою формулою:

$$S_{\hat{Y}} = S_e \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{1}{n} + \frac{(X - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}} \quad (3.3)$$

де, m - кратність вимірювання Y при даному X ;

\bar{X} – середнє арифметичне значення;

S_e - залишкове відхилення регресії [41, 97], що визначається за формулою:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{n - 2}} \quad (3.4)$$

Графіки зміни основних розрахункових коефіцієнтів, їх регресійні наближення та довірчі інтервали наведені на рисунках 3.3÷3.5.

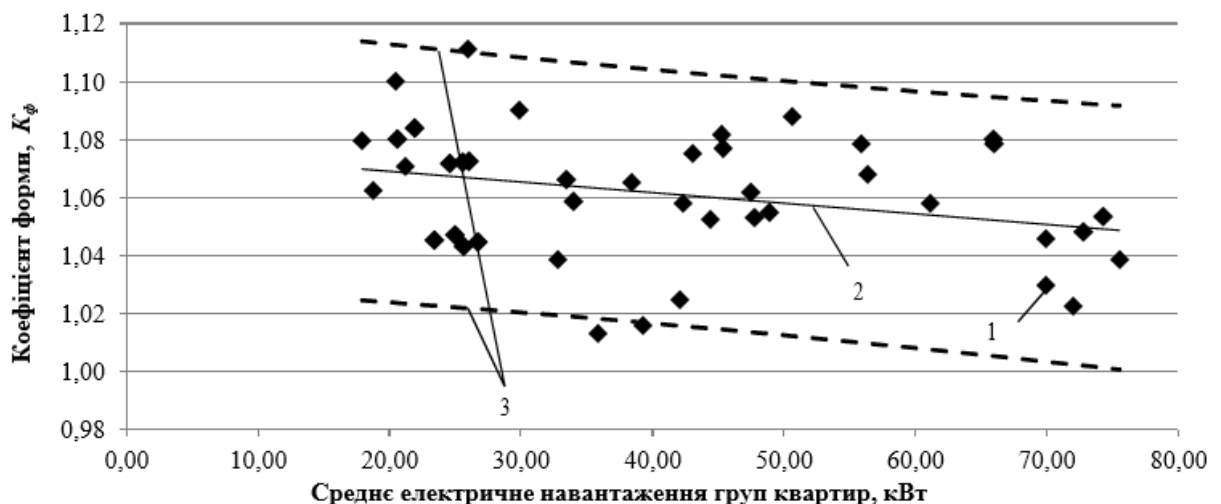


Рисунок 3.3 - Залежність коефіцієнта форми K_{ϕ} від середнього навантаження групи квартир $P_{c.kв}$: 1 - експериментальні K_{ϕ} групи квартир; 2 – пряма рівняння лінійної регресії; 3 – межі довірчого інтервалу з рівнем значущості 0,05

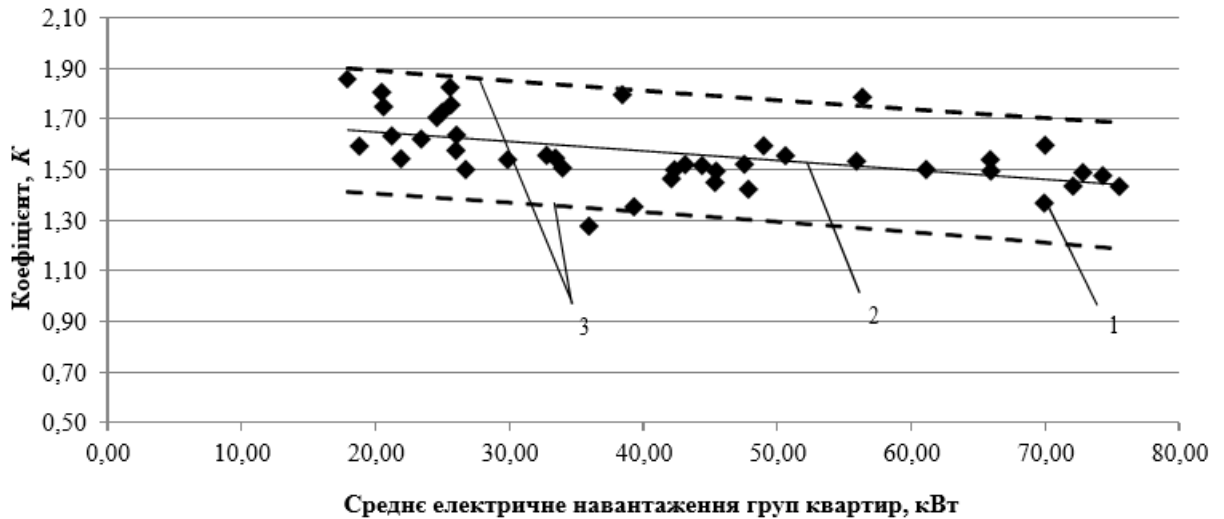


Рисунок 3.4 – Залежність коефіцієнта K до середнього навантаження групи квартир $P_{с.кв}$: 1 – експериментальні значення коефіцієнта K до групи квартир; 2 – пряма рівняння лінійної регресії; 3 – межі довірчого інтервалу з рівнем значущості 0,05

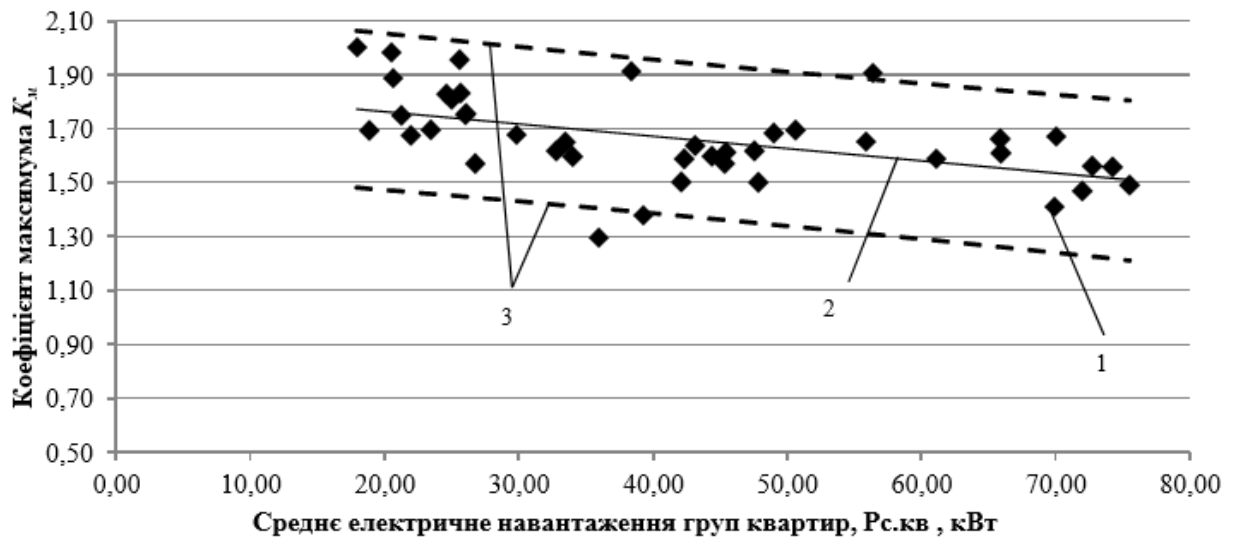


Рисунок 3.5 - Залежність коефіцієнта максимуму K_m від середнього навантаження групи квартир $P_{с.кв}$: 1 - експериментальні значення K_m групи квартир; 2 – пряма рівняння лінійної регресії; 3 – межі довірчого інтервалу з рівнем значущості 0,05

Для забезпечення запасу в розрахунковій електричній навантаженні з одного боку та прийнятної для практичних завдань точності розрахунку з іншого боку, значення коефіцієнтів K_ϕ , K , K_m рекомендується приймати по верхній межі довірчого інтервалу.

Рекомендовані значення коефіцієнтів розрахункового електричного навантаження, залежно від середньої потужності електричного навантаження квартир, наведено у таблиці 3.1.

Коефіцієнти	Значення розрахункових коефіцієнтів у залежності від середнього електричного навантаження квартир							
	10	20	30	40	50	60	70	80
K_{ϕ}	1,118	1,113	1,108	1,104	1,100	1,097	1,093	1,090
K	1,934	1,891	1,850	1,811	1,773	1,738	1,704	1,671
$K_{\text{м}}$	2,105	2,053	2,004	1,956	1,911	1,868	1,826	1,787

3.3 Адитивна модель розрахунку електричних навантажень групи квартир

Для отримання розрахункового виразу відповідно до адитивної моделі РЕН – додаванням середнього навантаження квартир з величиною, що визначає розрахункове навантаження, представимо фактичний ГЕН групи квартир (введення в будинок) у вигляді триступеневої моделі, у якій: максимальне $P_{\text{max.м}}$, мінімальне $P_{\text{min.м}}$ та середнє $P_{\text{с.м}}$ значення дорівнюють відповідним значенням фактичного ГЕН, тривалість одного ступеня триступеневої моделі, що дорівнює 1/3 від часу доби (8 годин), а також дотримується рівність різниць максимального електричного навантаження $P_{\text{max.м}}$ та середнього навантаження $P_{\text{с.м}}$, а також середнього електричного навантаження $P_{\text{с.м}}$ та мінімального навантаження $P_{\text{min.м}}$, тобто, $P_{\text{max.м}} - P_{\text{с.м}} = P_{\text{с.м}} - P_{\text{min.м}}$, $P_{\text{с.м}} = (P_{\text{max.м}} + P_{\text{min.м}})/2$. На рисунку 3.6 наведено графік фактичного електричного навантаження житлового будинку, його трендова складова $P_{\Theta}(t)$ – середнє значення на тридцятихвилинному ковзному інтервалі, та його триступінчаста модель, де $t^* = t/24$.

Застосування триступеневої моделі обумовлено тим, що на фактичних ГЕН групи квартир та багатоквартирних будинків добре виражені три ділянки з мінімальними (з 0:00 год до 8:00 год), середніми (з 8:00 год до 16:00 год) та максимальними (з 16:00 год до 24:00 год) навантаженнями за добу, з характерними для них основними характеристиками ГЕН [13], які визначені у Розділі 2 цієї роботи. Другою особливістю добових графіків $P(t)$ і $P_{\Theta}(t)$ є те,

що відносна взаємно-кореляційна функція (ВКФ) фактичних графіків $k^{\Phi}_{ij}(\tau)$ та триступінчастих моделей $k^{M}_{ij}(\tau)$ практично збігаються (див. рисунок 3.7), що дає підстави використовувати відомі співвідношення для ВКФ моделі [19, 20].

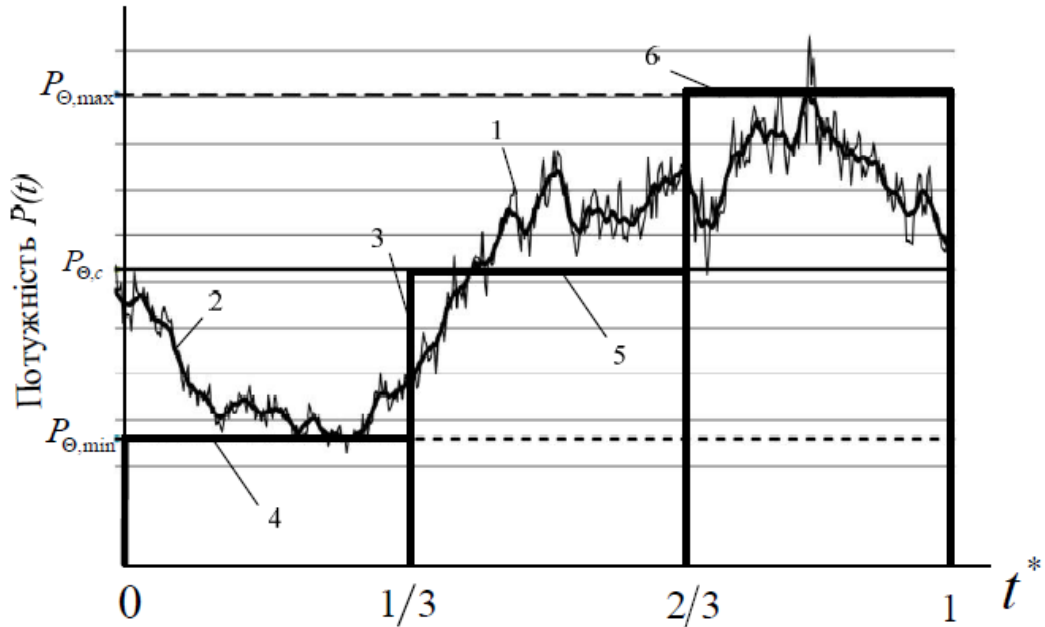


Рисунок 3.6 – ГЕН групи квартир (1), його трендова складова (2), триступінчаста модель (3) та параметри моделі: $P_{\min, m}$ (4), $P_{c, m}$ (5), $P_{\max, m}$ (6)

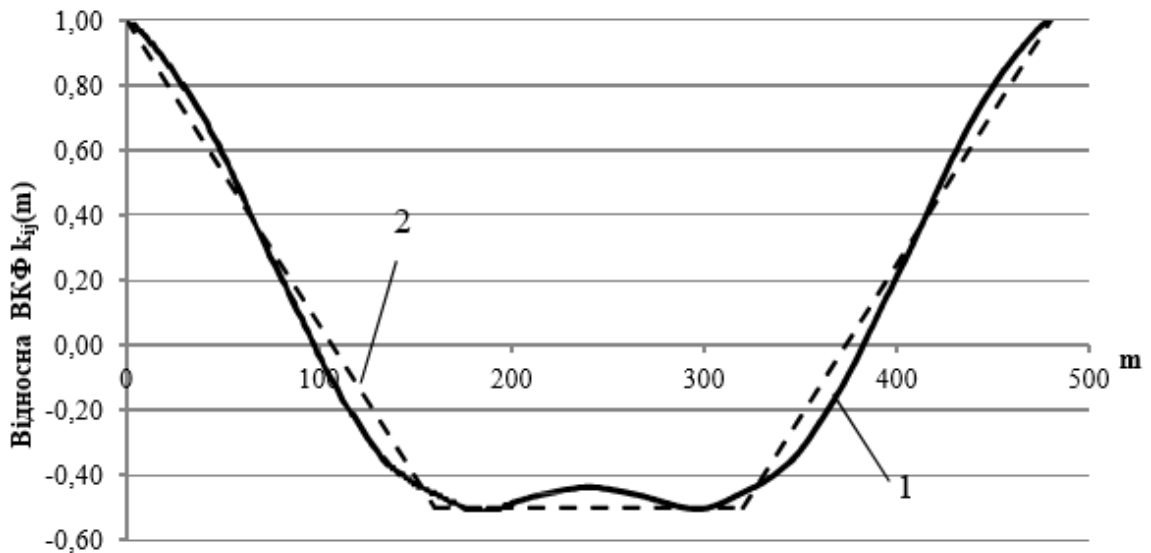


Рисунок 3.7 – Кореляційні функції трендової складової фактичного графіка (1) та його триступеневої моделі (2)

Визначимо дисперсію та середньоквадратичне відхилення триступеневої моделі ГЕН, зображеної рисунку 3.6 [29]:

$$DP_M = \frac{(P_{\min.M} - P_{c.M})^2}{3} + \frac{(P_{c.M} - P_{c.M})^2}{3} + \frac{(P_{\max.M} - P_{c.M})^2}{3} = \frac{2}{3}(P_{\max.M} - P_{c.M})^2; \quad (3.5)$$

$$\sigma P_M = \sqrt{\frac{2}{3}}(P_{\max.M} - P_{c.M}). \quad (3.6)$$

Використовуючи критерії збіжності моделі, отримано наступну розрахункову формулу:

$$P_p = P_{\max} = P_{\max.M} = P_{c.M} + \sqrt{\frac{3}{2}}\sigma P = P_{c.M} + 1,22\sigma P, \quad (3.7)$$

де σP - середньоквадратичне відхилення групового ГЕН, кВт.

Отримане рівняння для розрахунку електричних навантажень (3.7) нагадує основну формулу статистичного методу РЕН (див. розділ 1, формула 1.8), відповідно до чого можна припустити, що кратність міри розсіювання β відносного середнього в нашому випадку дорівнює 1,22 [29].

Дослідження впливу взаємної кореляції індивідуальних ГЕН окремих електроприймачів на розрахункові показники групового графіка, виконані в роботах [19,20].

У розділі 3 даної роботи визначено залежності дисперсії та коефіцієнта форми для групового ГЕН в результаті складання індивідуальних графіків з урахуванням та без урахування кореляційних зв'язків між ними. Значна величина кореляційного моменту між ГЕН введів у ВРУ житлової частини БКБ ($k_{ij} = 0,9$ див. розділ 2) вказує на необхідність її обліку щодо розрахункових групових електричних навантажень. Використовуючи формули (2.15) та (3.7), розрахункове електричне навантаження групи квартир, що враховує взаємну кореляцію індивідуальних ГЕН, можна записати:

$$P_{p.k\delta} = n_{k\delta} p_{c.k\delta} + 1,22\sigma p_{k\delta} \sqrt{n_{k\delta} (1 + k_{ij} (n_{k\delta} - 1))}, \quad (3.8)$$

де $\sigma p_{k\delta}$ - середньоквадратичного відхилення ГЕН однієї «осередненої» квартири, кВт.

Розрахунок величини $\sigma_{p_{кв}}$ за графіками фактичного електричного навантаження, за умови, що $p_{с.кв} = 0,55$ кВт, виконаний в [29].

На рисунку 3.8 наведено залежність $\sigma_{p_{кв}}$ від середнього електричного навантаження групи квартир $P_{с.кв}$ та її лінійне регресійне наближення.

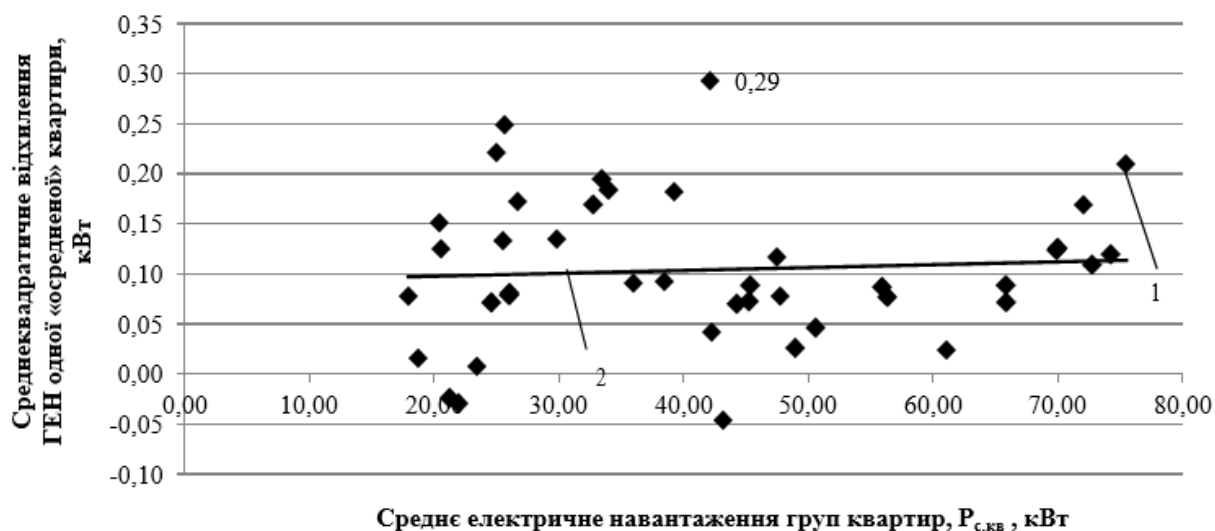


Рисунок 3.8 - Залежність $\sigma_{p_{кв}}$ від середнього навантаження групи квартир $P_{с.кв}$: 1 - експериментальні значення $\sigma_{p_{кв}}$ квартири; 2 – пряма рівняння лінійної регресії

З результатів розрахунку, наведеним рисунку 3.8, видно, що величина $\sigma_{p_{кв}}$ змінюється у діапазоні $-0,05 \div 0,29$ кВт. Негативні значення $\sigma_{p_{кв}}$ вказують не на помилку в розрахунках, а на те, що середнє електричне навантаження на одну квартиру взято із зайвим запасом, внаслідок чого розрахункове середнє навантаження групи квартир виявилось вищим за максимальнє значення ГЕН, прийнятого як фактичне електричне навантаження. Але через те, що отриманий результат має одиничний характер (спостерігався лише 17.11.2019р. в БКБ серії Еліт-1), рекомендується не знижувати середнє навантаження на одну квартиру.

З рисунка 3.8 також видно, що величина $p_{кв}$ практично не залежить від $P_{с.кв}$ (лінійна регресія практично паралельно осі абсцис), отже, в РЕН груп квартир можна задатись якоюсь постійною величиною середньоквадратичного відхилення ГЕН однієї квартири $\sigma_{p_{кв}} = \text{const}$.

Для забезпечення необхідного запасу в розрахунковому електричному навантаженні як рекомендована величина середньоквадратичного відхилення $\sigma_{p_{кв}}$ рекомендується прийняти максимальне значення $p_{кв} = 0,29$ кВт.

Висновки по третьому розділу

Результатами проведених робіт з аналізу фактичних електричних навантажень мікрорайону та закономірностей формування групових ГЕН на основі корелювання індивідуальних ГЕН стали:

- кориговані значення питомих електричних навантажень квартир $P_{кв. тип}$ і коефіцієнтів розбіжності максимумів навантажень $K_{н.м}$ застосовуваних у РЕН при проектуванні систем електропостачання житлових БКБ та мікрорайонів загалом;

– уточнююча методика РЕН груп квартир житлових БКБ, заснована на складанні середнього електричного навантаження квартир та величини визначальної розрахункового навантаження – адитивна модель розрахунку.

ВИСНОВКИ

Основні результати кваліфікаційної роботи полягають у наступному:

1. Підвищено точність розрахунку електричних навантажень мікрорайонів з багатоквартирними будинками, оснащеними електричними плитами, що дозволило знизити їх розрахункові електричні навантаження більш ніж на 50 % по відношенню до проектних даних.

2. Експериментально отримано та теоретично досліджено ГЕН введів у житлові БКБ, трансформаторів ТП 10/0,4 кВ та РТП мікрорайону.

3. Отримані основні характеристики ГЕН, розрахункові коефіцієнти потужності, коефіцієнти розбіжності максимумів навантажень, коефіцієнти форми, питомі електричні навантаження квартир, а також уточнюючі моделі розрахунку електричних навантажень груп квартир можуть бути використані у новій редакції РД 3422. -94.

4. Виконано оцінку корелювання індивідуальних ГЕН у процесі формування групових ГЕН, а також при визначенні розрахункових електричних навантажень. Показано високий кореляційний зв'язок між ГЕН квартир та БКБ, що доводить необхідність її обліку при визначенні дисперсій ГЕН та розрахункових електричних навантажень, наведено нові розрахункові формули. Показано, що кореляційні функції ГЕН квартир та житлових БКБ можуть бути замінені спрощеними моделями із достатньою для практичних розрахунків точністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айзенберг Б.Л., Клебанов Л.Д. Электрические нагрузки жилых домов Ленинграда. - Электрические станции, 1950, №6.
2. Вагін Г.Я. Про причини завищення розрахункових навантажень нагріву. - Промислова енергетика, 1980 №3. - С. 28-29.
3. Гордєєв В.І. Про причини завищення розрахункового максимуму електричного навантаження - Промислова енергетика, 1983 № 6, С. 31 - 33.
4. Дроздов В.А., Фрідман С.А. Про точність розрахунків електричних навантажень промислових підприємств - Промислова енергетика, 1978 № 2, С. 29-31.
5. Жохов Б. Д. Аналіз причин завищення розрахункових навантажень - Промислова енергетика, 1998 №7, С. 17-21.
6. Степанов В.П., Жежеленко І.В. Про причини завищення розрахункових навантажень з нагрівання - Промислова енергетика, 1984 № 10, С. 35-37.
7. Фёдоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 280 с.
8. Шидловський А.К., Вагін Г.Я., Курінний Е.Г. Розрахунки електричних навантажень систем електропостачання промислових підприємств - М.: Вища школа, 1992. - 224 с.
9. Копытов И.С. Совершенствование расчетов электрических нагрузок промышленных предприятий – Промышленная энергетика, 1978, № 8, С. 60- 61.
10. Мельников М.А. Электропостачання промислових підприємств: учеб. посібник. - Томськ: Вид-во Томського політехнічного університету, 2000. - 144 с.
11. Авілов-Карнаухов Б.Н., Гордєєв В.І., Надтока І.І. Характеристики групових графіків електричного навантаження. // Нова техніка в ел. обладнання та ел. постачання пром. підприємств: Матеріали конф. – М., МДНТП, 1975. – с. 171-175.

12. Волобринский С.Д., Каялов Г.М., Клейн П.Н., Мешель Б.С. Электрические нагрузки промышленных предприятий – Л.: Энергия, 1971. – 264 с.
13. Гордеев В.И., Надтока В.И. Закон распределения суммарного графика электрической нагрузки. - Изв. вузов СССР Электромеханика. - 1978, №.5. С. 548-552.
14. Гордеев В.И., Морхов А.Ю. Розрахунок середнього навантаження за умов неповноти інформації. /Електричні навантаження та електроспоживання в нових умовах господарювання. Матеріали семінару. – К.: 1989. – С. 72-75.
15. Кушнар'ов Ф.А., Надтока І.І., Підгорний Д.Е. Прогнозування в енергосистемі в умовах невизначеності - Изв. вищ. навчальних закладів. Електромеханіки. 1996 № 3-4 - С. 23-29.
16. Надтока І.І. Розподіл групових характеристик при випадкових накладення індивідуальних графіків електричного навантаження - Изв. вищ. навчальних закладів. Електромеханіки. 1980 - С. 632-634.
17. Гордеев В.И. Регулирование максимума нагрузки промышленныхэлектрических сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 184 с.
18. Лобанова О.В., Степанов В.П., Фомин Г.Л. Экспериментальная оценка корреляционных функций графиков электрической нагрузки – Изв. вузов. Электромеханика, 1996, № 3, 4, С. 101.
19. Надтока І.І. Граничні закони розподілу для взаємної кореляції навантажень електроприймачів - Вісн. вузів. Електромеханіка, 2008 р. - С. 10-13.
20. Павлов А.В., Новіков С.І. Проблеми розрахунку електричних навантажень комунально-побутових споживачів мікрорайонів мегаполісів – Вісн. вузів. Електромеханіки. 2013. № 1. С. 136-139.
21. Надтока І.І., Павлов А.В. Розрахунки електричних навантажень житлової частини багатоквартирних будинків з електричними плитами, що

грунтуються на середніх навантаженнях квартир – Вісн. вузів, Електромеханіка, 2014 №3, С. 36-39.

22. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. - М.: Мир, 1976. – 756 с.
23. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. - М.: Наука, 1969. -400 с
24. РД 34.20.185-94 Інструкція з проектування міських електричних мереж - М: Міністерство палива та енергетики України, 1994- 29 с
25. РД 34.20.185-94 Інструкція з проектування міських електричних мереж - М: Міністерство палива та енергетики, 1994 - 29 с
26. Нормативи для визначення розрахункових електричних навантажень будівель (квартир), котеджів, мікрорайонів (кварталів) забудови та елементів міської розподільчої мережі. Зміни та доповнення розділу 2 «Розрахункові електричні навантаження» Інструкції з проектування міських електричних мереж РД 34.20.185-94
27. Ермаков В.Ф., Гудзовская В.А., Балыкин Е.С., Зайцева И.В. Математическая модель процесса изменения температуры нагрева проводника – Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2012. № 2. С. 42-43.
28. Каялов Г.М. Принцип максимума средней нагрузки в расчетах электрическихсетей – Изв. вузов. Электромеханика 1964.- № 3. - С. 1123-1130.
29. Каждан А.Е. Граничне перегрівання елемента електричної мережі. Коефіцієнт ефективного навантаження / Изв. вишів. Електромеханіки. 2008 Спеціальний випуск. 3. 127-129.
30. Шидловский А.К., Куренный Э.Г. Введение в статистическую динамику систем электроснабжения. - К.: Наукова думка, 1984. - 271 с.
31. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. – 248 с.
32. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. – М.: Физматгиз, 1962. – 311 с.

33. Мелник М. Основы прикладной статистики: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с.

Додаток А1

**Графіки автокореляційних функцій (АКФ) випадкових складових добових графіків навантажень
жиглого будинку серії Е.літ-1**

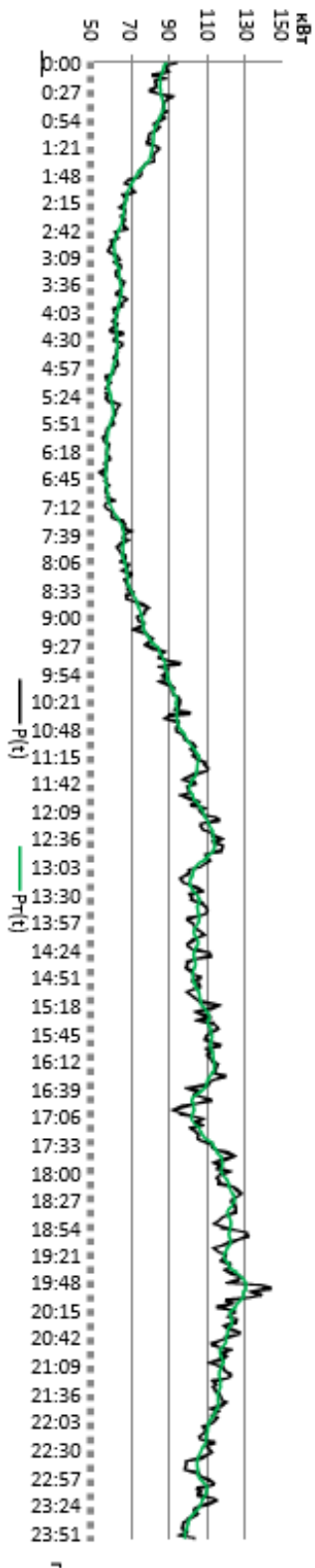


Рисунок А.1 – Початковий графік електричних навантажень $P(t)$ жиглого будинку серії Е.літ-1, і його трендова

з 0:00 г по 7:57 г

з 8:00 г по 15:57 г

16:00 ч по 23:57 ч

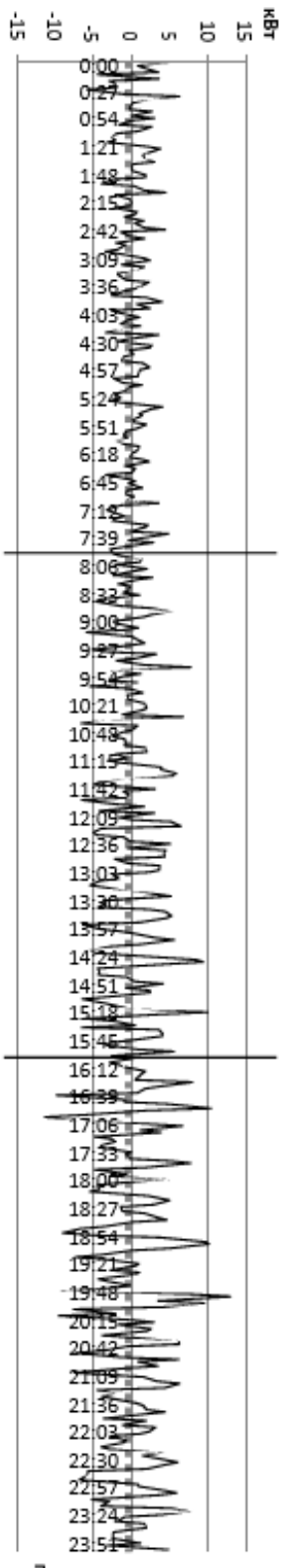


Рисунок А.2 – Випадкова складова графіка електричного навантаження $P_d(t)$ жиглого будинку серії Е.літ-1 за 23.12.2019 р.

Додаток А2

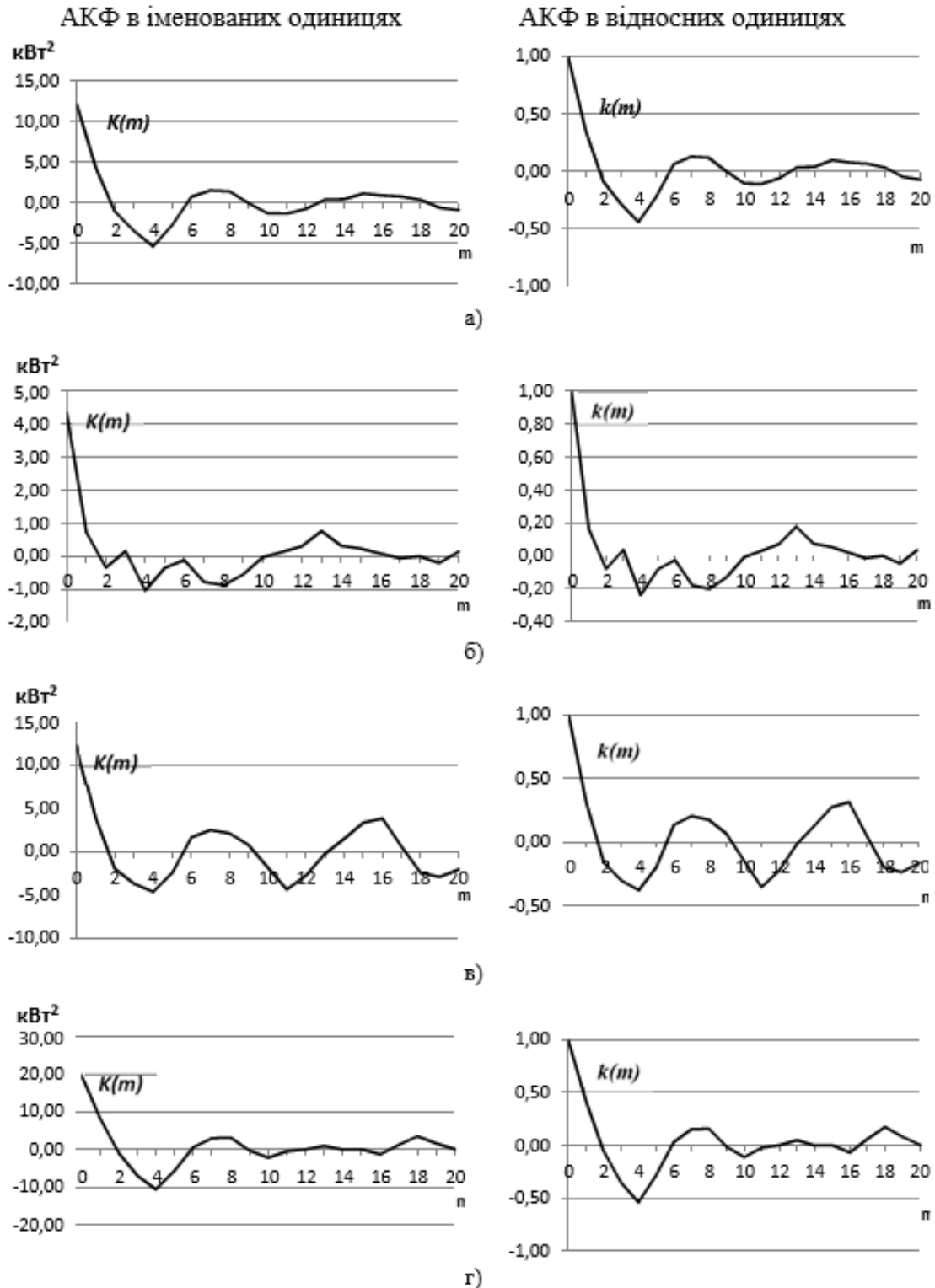


Рисунок Д.3 – АКФ випадкової складової ГЕН жилого будинку серії Еліт-1 за 23.12.2019 р.: а) за добу з 0:00 г по 23:57 г; б) з 0:00 г по 7:57 г; в) з 8:00 г по 15:57 г; г) з 16:00 г по 23:57 г]