



Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки та
комп'ютерних технологій
Кафедра електропостачання та
енергетичного менеджменту

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ

**Методичні вказівки
до виконання індивідуального науково-дослідного
завдання «Розробка автоматизованої системи контролю та
керування електроспоживанням з впровадженням заходів щодо
вирівнювання графіка навантаження»
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
денної та заочної форми навчання зі спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

**Харків
2023**

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
**Факультет енергетики, робототехніки та
комп'ютерних технологій**
**Кафедра електропостачання та
енергетичного менеджменту**

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ

Методичні вказівки
до виконання індивідуального науково-дослідного
завдання «Розробка автоматизованої системи контролю та керування
електроспоживанням з впровадженням заходів щодо вирівнювання
графіка навантаження»
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та
заочної форми навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

Затверджено рішенням
науково-методичної ради
факультету енергетики,
робототехніки та комп'ютерних
технологій
Протокол № 3
від 22 лютого 2023 року

Харків
2023

УДК 621.31

С 31

Схвалено на засіданні кафедри
електропостачання та енергетичного
менеджменту Протокол №7 від 8.02.2023 р.

Рецензенти:

С. О. Тимчук, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ДБТУ;

Ю. М. Хандола, канд. техн. наук, зав. кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ.

С 31 Автоматизовані системи контролю та керування енергоспоживанням: метод. вказівки до виконання індивідуального науково-дослідного завдання «Розробка автоматизованої системи контролю та керування електроспоживанням з впровадженням заходів щодо вирівнювання графіка навантаження» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навч. зі спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Держ. біотехнол. ун-т; авт.-уклад.: О. А. Савченко – Харків: [б. в.], 2023. – 32 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни. Видання включає теоретичну частину, вихідні дані для розрахунків, та перелік рекомендованої літератури.

Видання призначена для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

УДК 621.31

Відповідальний за випуск: О. О. Мірошник, д-р техн. наук

© Савченко О. А., 2023.

© ДБТУ, 2023

ЗМІСТ

Передмова	4
1 Завдання	7
2 Зміст ІНДЗ та вимоги щодо його оформлення	7
3 Методичні вказівки та рекомендації щодо виконання ІНДЗ	8
Додаток А Зразок оформлення вихідних даних	25
Додаток Б Вихідні дані за варіантами	26
Перелік використаної літератури	31

ПЕРЕДМОВА

У середині 20-го сторіччя прогрес науки і техніки привів до початку масового впровадження в найрозвиненіших країнах практично в усі галузі економіки інформаційні технології. Розвиток самої економіки, конкурентність її галузей почала визначатися повсюдним упровадженням в технологічні процеси обчислювальної і мікропроцесорної техніки, використанням досягнень мікроелектроніки, техніки зв'язку, техніки програмування і т.д.

Основний чинник, що знижує економічність систем електропостачання, - це стан схем обліку електроенергії і рівень їх експлуатації. В даний час схема обліку складається з трансформаторів напруги, трансформаторів струму і індукційних лічильників. Паспортний клас точності такої схеми забезпечується, якщо навантаження струмових ланцюгів коливається від 50 до 120% від номінального первинного струму трансформатора струму, а лічильники піддаються перевірці на точність не рідше 1 разу в 8 років.

Із-за зниження електроспоживання відбувається зниження завантаження вимірювальних приладів. При зниженні навантаження до 10% і нижче від номінального, клас точності трансформаторів струму загрубляється від 0,5 до 1,0 і вище, а при зниженні до 5% - погіршується зупинка індукційних лічильників.

Для зменшення втрат і, отже, поліпшення економічності електропередачі необхідно відстежувати завантаження вимірювальних схем і при необхідності міняти трансформатори струму. Індукційні лічильники – перевіряти на точність не рідше 1 разу в 8 років, оскільки в них у міру вироблення ресурсу сповільнюється обертання диска і знижується точність обліку енергії.

В міру можливості індукційні лічильники повинні замінюватись на електронні. Останні мають перед індукційними такі переваги: низький поріг чутливості, мале власне

споживання, відсутність зворотного ходу і вузлів тертя, як правило, вищий клас точності. У плані захисту від несанкціонованого відбору електроенергії – вони не мають рухомих частин, доступних для гальмування, їх неможливо зупинити, змінюючи їх положення в просторі.

Окрім приведення схем електропостачання і обліку електричної енергії в належний стан, передова практика, як вітчизняна, так і зарубіжна, свідчить, що економічні характеристики можливо поліпшити, впроваджуючи передові інформаційні технології і автоматизацію управління. Наприклад, введення в експлуатацію системи автоматизованого розрахунку із споживачами електроенергії на базі розподіленої мережі дозволить істотно поліпшити положення справ з виконавською дисципліною, дасть повнішу картину керівництву підприємства для ухвалення відповідних управлінських рішень і організаційних заходів, направлених на поліпшення збору грошових коштів і зміцнення фінансової стабільності підприємства.

Автоматизована система дозволить забезпечити централізований оперативний контроль у реальному часі по наступних напрямках:

- контроль збору грошових коштів;
- контроль споживання електроенергії і виписки рахунків споживачам;
- контроль дебіторської і кредиторської заборгованості як по підприємству в цілому, так і на рівні доступу до даних про споживання і оплату по кожному конкретному споживачу в довільний період часу;
- контроль виконавської дисципліни на місцях;
- формування оперативної щоденної звітності.

Централізація управління і впровадження нових технологій підвищує економічність від 7 до 11%.

Сьогодні ефективне управління електричними мережами можливе тільки на базі розподілених ієрархічних систем

управління. Стратегічною основою побудови таких систем є «Концепція побудови та реконструкції АСУ електричних мереж в умовах переходу України до ринкових відносин», затверджена Міненерго України 29 серпня 1996 року.

Автоматизована система контролю і управління електроспоживанням (АСКУЕ) в умовах переходу до енергоринку висувається в АСУ на перший план і є системою контролю і управління покупкою, розподілом і реалізацією електроенергії, а також дозволяє мати інформаційну базу для планування і управління споживанням електричної енергії і потужності.

АСКУЕ проектується з урахуванням вимог «Концепції побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку», затвердженої рішенням Національної комісії з регулювання електроенергетики України № 290 від 16 квітня 1997 року, вирішує задачі збуту електроенергії, розрахунку оплати споживачем за використану електроенергію, оплати постачальнику за покупну електроенергію і управління граничним електроспоживанням.

1 ЗАВДАННЯ

Суть завдання викладено в зразку «Вихідні дані», що наведений в додатку А. Вихідні дані для розрахунку приймаються за даними табл. Б.1-Б.2 додатку Б. Вихідні дані беруться для номера варіанта, який відповідає порядковому номеру студента у журналі академічної групи.

2 ЗМІСТ ІНДЗ ТА ВИМОГИ ЩОДО ЙОГО ОФОРМЛЕННЯ

ІНДЗ є самостійною працею студента і оформляється у вигляді розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини.

Розрахунково-пояснювальна записка виконується на аркушах формату А4 з полями: ліворуч – 20 мм, праворуч, знизу та зверху – 10 мм, бажано з використанням текстового редактора комп'ютера (шрифт Times New Roman, 14 пт) з обов'язковою нумерацією сторінок. Перша сторінка – титульна (за формою, не нумерується), друга – завдання (за формою, не нумерується), третя – зміст пояснювальної записки, далі – структурні частини записки у відповідності до змісту. Зміст розрахунково-пояснювальної записки має такий вигляд:

Вступ

Вихідні дані

1 Розробка автоматизованої системи контролю та управління електроспоживанням (АСКУЕ) підприємства

1.1 Мета створення та технічні вимоги до АСКУЕ

1.2 Основні технічні рішення АСКУЕ

1.2.1 Вибір локального устаткування збирання та оброблення даних режиму електроспоживання

1.2.2 Технічні рішення верхнього рівня АСКУЕ

2 Розробка заходів з вирівнювання графіка навантаження підприємства

2.1 Виявлення споживачів-регуляторів

2.2 Розрахунок показників графіка навантаження

2.3 Розрахунок зменшення втрат електричної енергії у трансформаторах ЗТП 10/0,4 кВ підприємства внаслідок вирівнювання графіка навантаження

2.4 Вибір системи тарифів для фінансових розрахунків за електричну енергію

Перелік використаних джерел

Графічна частина включає креслення структурної схеми АСКУЕ та однолінійної схеми первинних з'єднань ЗТП 10/0,4 кВ підприємства з точками встановлення лічильників, що виконуються на одному креслярському ватмані формату А1 (591×841 мм) і має назву «Структурна схема АСКУЕ та однолінійна схема первинних з'єднань ЗТП 10/0,4 кВ підприємства з точками встановлення лічильників». Допускається виконання креслення за допомогою графічного редактора комп'ютера.

Виконання текстової та графічної частин проводиться у відповідності до норм діючих стандартів на оформлення конструкторської документації.

3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ ІНДЗ

Вступ

У вступній частині викладаються передумови для впровадження АСКУЕ на підприємстві АПК, обґрунтовується необхідність та переваги від розроблення заходів з вирівнювання графіка навантаження.

Вихідні дані

Оформлюються за зразком «Вихідні дані», що показаний у додатку А.

1 Розробка автоматизованої системи контролю та управління електроспоживанням (АСКУЕ) підприємства

1.1 Мета створення та технічні вимоги до АСКУЕ

АСКУЕ призначена для автоматизації процесу збирання та передавання інформації про режими електроспоживання підприємства на автоматизоване робоче місце (АРМ) головного енергетика підприємства та до місцевого відділення Енергозбуту [1, 2].

АСКУЕ створюється з метою:

- приведення комерційного обліку електроенергії споживача у відповідність вимогам «Правил користування електричною енергією» (ПКЕЕ) [3];
- підвищення точності комерційного обліку активної та реактивної електроенергії за рахунок застосування сучасних цифрових технологій вимірів, збору і обробки даних;
- зниження величини комерційних і технічних втрат за рахунок підвищення точності, достовірності вимірів і оперативності надходження вимірювальної інформації від первинних приладів обліку, а також зменшення долі ручної праці і виключення суб'єктивних факторів, пов'язаних зі зчитуванням показів з розрахункових приладів обліку;
- виявлення режимів неефективної роботи обладнання;
- автоматизації контролю за додержанням договірних рівнів енергоспоживання і фінансових розрахунків;
- захисту інформації від несанкціонованого доступу на всіх рівнях її збору та обробки;
- забезпечення аналізу енергоспоживання і навантаження на основі графіків;
- оперативного виявлення і виключення місць втрат електроенергії;
- автоматизації підготовки звітів, аналітичних матеріалів.

Основні технічні вимоги до АСКУЕ регламентуються нормативними документами [4, 5].

1.2 Основні технічні рішення АСКУЕ

1.2.1 Вибір локального устаткування збирання та оброблення даних режиму електроспоживання

АСКУЕ підприємства як правило будується у вигляді дворівневої системи. Узагальнена структурна схема АСКУЕ наведена на рис. 1.1.

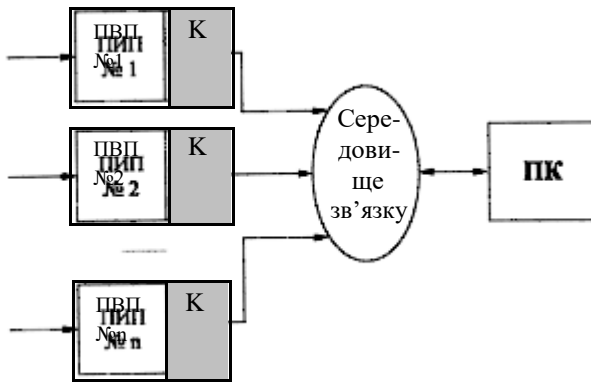


Рисунок 1.1 – Узагальнена структурна схема АСКУЕ

У підрозділі 1.2 необхідно провести вибір технічних засобів АСКУЕ та навести їх паспортні дані. Також необхідно навести опис порядку функціонування обладнання, основних можливостей програмного забезпечення АСКУЕ, заходів щодо захисту інформації тощо.

На нижньому рівні АСКУЕ забезпечує:

- вимірювання активної і реактивної електричної енергії на базі трифазних електронних лічильників в прямому і зворотному напрямках, визначення обсягів електричної енергії, яка надходить до мережі (віддається з мережі) підприємства за кожен 30-ти хвилинний інтервал доби, зберігає визначені дані в базі даних лічильників;

- передачу виміряних даних на верхній рівень АСКУЕ по каналу зв'язку.

Нижній рівень АСКУЕ утворений сукупністю локального устаткування збирання та оброблення даних (ЛУЗОД) режиму електроспоживання. До нижнього рівня АСКУЕ відносяться:

- первинні вимірювальні перетворювачі – ПВП (трансформатори струму та напруги);
- електrolічильники, обладнані числоімпульсними та (або) цифровими інтерфейсами;
- пристрої збирання даних (контролери) та (або) засоби передавання інформації каналами зв'язку (модеми різного типу).

Лічильники як правило повинні мати функцію багатотарифного обліку активної електроенергії, а також клас точності для активної енергії 0,5S та 1,0 згідно вимог ПУЕ [5] щодо комерційного та технічного обліку електроенергії.

Трансформатори струму для підключення лічильників вибирають за такими критеріями [8]:

- конструктивним виконанням та родом встановлення;
- номінальною напругою

$$U_n \geq U_m, \quad (1.1)$$

де U_n , U_m – відповідно номінальна напруга трансформатора струму та номінальна напруга мережі;

- номінальним струмом первинної обмотки

$$I_n \geq I_{p. \max}, \quad (1.2)$$

де I_n – номінальний струм первинної обмотки трансформатора струму, А;

$I_{p. \max}$ – максимальний робочий струм приєднання, А;

- вторинним навантаженням для відповідного класу точності

$$S_{2н} \geq S_2, \quad (1.3)$$

де $S_{2н}$ – номінальна потужність трансформатора струму для необхідного класу точності, ВА;

S_2 – дійсне навантаження трансформатора струму, ВА.

Для живлення струмових кіл лічильників комерційного обліку електричної енергії згідно [5] необхідно використовувати трансформатори струму з класом точності 0,5, а для живлення струмових кіл лічильників технічного обліку допускається використовувати трансформатори струму з класом точності 1,0.

Для кожного з приєднань (ввід до шин 0,4 кВ та лінії 0,38 кВ) вибирають коефіцієнт трансформації трансформаторів струму та проводять перевірку умов (1.1-1.3).

Для перевірки умови (1.3) необхідно розрахувати дійсне навантаження трансформаторів струму за формулою

$$S_2 = S_{л} + S_{к} + S_{пров.}, \text{ ВА}, \quad (1.4)$$

де $S_{л}$ – навантаження на вторинну обмотку трансформатора струму, що створюється струмовою обмоткою лічильника (за технічними даними прийнятого лічильника);

$S_{к}$ – навантаження, що створюється контактами, ВА;

$S_{пров.}$ – навантаження, що створюється з'єднувальними проводами, ВА.

У свою чергу, навантаження, що створюється контактами

$$S_{к} = I_{2н}^2 R_{к}, \text{ ВА}, \quad (1.5)$$

де $I_{2н}$ – номінальний струм вторинної обмотки трансформатора струму;

$R_{к}$ – активний опір контактів, приймається рівним 0,1 Ом.

Знаючи величину навантажень S_L та S_K , на основі виразу (1.4), можна визначити допустимий опір з'єднувальних проводів

$$R_{\text{доп. пров}} = \frac{S_{2H} - (S_L + S_K)}{I_{2H}^2}, \text{ Ом}, \quad (1.6)$$

де S_{2H} – номінальна потужність трансформатора струму для необхідного класу точності.

Мінімально допустимий переріз з'єднувальних проводів

$$F_{\text{доп. пров.}} = \frac{\rho \cdot l}{R_{\text{доп. пров.}}}, \text{ мм}^2, \quad (1.7)$$

де ρ – питомий опір матеріалу проводів, для міді $\rho = 18,9 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

l – сумарна довжина з'єднувальних проводів від трансформатора струму до лічильника для однієї фази, $l = 5 \text{ м}$.

Далі необхідно прийняти провід стандартного перерізу $F_{\text{пров.}}$ враховуючи, що згідно ПУЕ [5], мінімальний переріз мідних проводів в колах обліку складає $2,5 \text{ мм}^2$. Після цього розраховують навантаження, що створюється з'єднувальними проводами

$$S_{\text{пров.}} = I_{2H}^2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{F_{\text{пров.}}}, \text{ ВА}. \quad (1.8)$$

Далі за виразом (1.4) розраховують загальне навантаження трансформаторів струму та перевіряють умову (1.3). Розрахункові дані та параметри вибраних трансформаторів струму заносять до таблиці.

Локальне устаткування збирання та оброблення даних як правило розміщується у розподільному пристрої (РП) 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ підприємства.

1.2.3 Технічні рішення верхнього рівня АСКУЕ

Верхній рівень АСКУЕ підприємства як правило розташовується на автоматизованому робочому місці (АРМ) головного енергетика або диспетчера. АРМ АСКУЕ забезпечує відтворення і документування інформації про обсяги надходження в мережу підприємства (віддачу з мережі) електроенергії, у тому числі відображення на екрані звітних форм. Конкретними функціями верхнього рівня АСКУЕ є:

- збір даних комерційного обліку, які надходять каналами зв'язку або шляхом ручного введення, завантаження їх до бази даних АСКУЕ;

- доступ до бази даних з боку персоналу підприємства через прикладне програмне забезпечення;

- доступ до первинної бази даних лічильників підприємства по каналу зв'язку з боку Енергозбуту.

До складу верхнього рівня зазвичай входять:

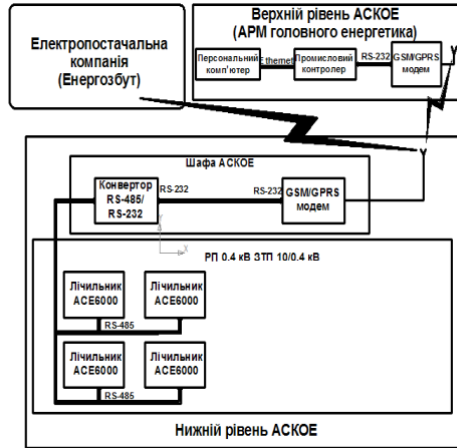
- засоби приймання інформації каналами зв'язку (модеми різного типу);

- контролери зберігання даних;

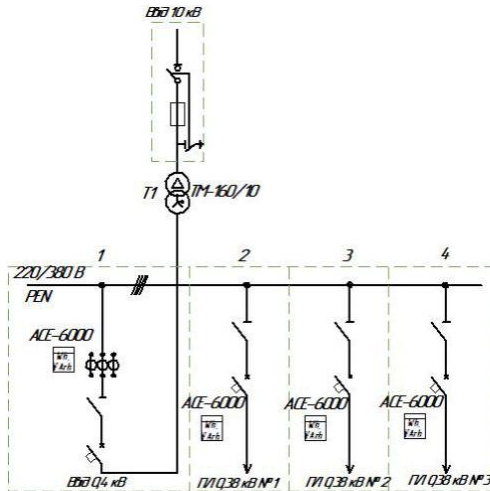
- персональний комп'ютер АРМ зі спеціальними програмним забезпеченням.

Спеціальне програмне забезпечення АСКУЕ дозволяє виконувати ручне введення показів лічильників, для яких узгоджене ручне введення даних, налаштовувати процедури обчислення розрахункових параметрів, налаштовувати призначений для користувача інтерфейс (екранні і звітні форми), створювати і коригувати шаблони макетів експорту даних, формувати реєстр розсилки макетів експорту даних тощо.

Приклад структурної схеми АСКУЕ підприємства, а також однолінійної схеми первинних з'єднань ЗТП 10/0,4 кВ з точками встановлення лічильників наведений на рис. 1.2.



а)



б)

Рисунок 1.2 – Приклад структурної схеми АСКУЕ підприємства (а) та однолінійної схеми первинних з'єднань ЗТП 10/0,4 кВ з точками встановлення лічильників (б)

2 Розробка заходів з вирівнювання графіка навантаження підприємства

2.1 Виявлення споживачів-регуляторів

Вирівнювання графіка навантаження дозволяє знизити величину втрат електроенергії в мережі підприємства та значення договірної максимальної потужності, зменшити обсяги сплати за електричну енергію за рахунок переходу на багатозонний облік. З метою вирівнювання графіка навантаження, необхідно розробити перелік основних споживачів-регуляторів на даному підприємстві.

Спочатку потрібно розробити плановий диспетчерський графік вмикання та вимикання споживачів підприємства. При цьому необхідно максимально можливо перенести навантаження на напівпіковий та нічний періоди доби. Наприклад, до типових споживачів-регуляторів молочнотоварної ферми, вмикання яких можна проводити в напівпіковий та нічний періоди доби, відносяться:

- водопідйомні установки;
- установки для приготування кормів (частково);
- установки прибирання гною (частково);
- установки з розливання молока, сепарації,

молокоочищення.

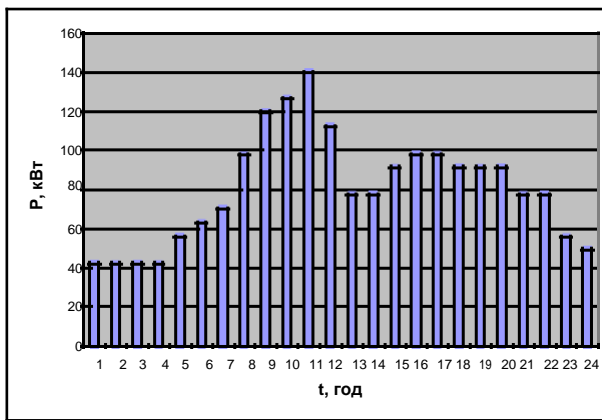
До споживачів-регуляторів молочнотоварної ферми, які допускають вимикання у випадку перевищення ліміту потужності внаслідок відхилення від запланованого технологічного процесу, відносяться:

- водопідйомні установки;
- установки для приготування та транспортування кормів;
- установки прибирання гною.

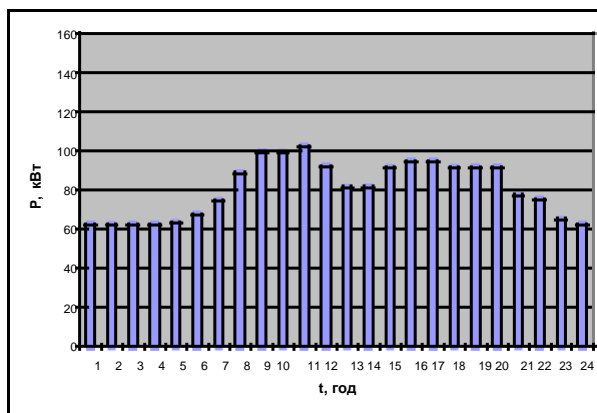
Після розроблення заходів з вирівнювання графіка навантаження на підприємстві, необхідно оцінити їх ефективність.

2.2 Розрахунок показників графіка навантаження

Для оцінювання ефективності заходів з вирівнювання навантаження, необхідно побудувати ступінчаті добові графіки активного навантаження підприємства для варіантів до та після впровадження заходів (приклад наведений на рис. 2.1) та розрахувати їх показники.



а)



б)

Рисунок 2.1 – Приклад вихідного (а) та кінцевого (б) графіків активного навантаження підприємства

Розрахунок показників графіків навантаження проводять за формулами, що наведені в [1].

Середнє значення активного навантаження (середня активна потужність)

$$P_C = \frac{\sum_{k=1}^M P_k}{M}, \text{ кВт}, \quad (2.1)$$

де P_k – величина активного навантаження для k -ої години, кВт;

M – число ступеней графіків, $M=24$.

Середньоквадратичне навантаження графіків

$$P_{CK} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^M P_k^2}{M}}, \text{ кВт}. \quad (2.2)$$

Дисперсія графіків навантаження

$$DP = P_{CK}^2 - P_C^2, \text{ кВт}^2. \quad (2.3)$$

Середньоквадратичне відхилення (стандарт) графіків навантаження

$$\sigma P = \sqrt{DP}, \text{ кВт}. \quad (2.4)$$

Коефіцієнт форми графіків навантаження

$$k\phi = \frac{P_{CK}}{P_C}. \quad (2.5)$$

Коефіцієнт максимуму графіків

$$k_{\max} = \frac{P_{\max}}{P_c}, \quad (2.6)$$

де P_{\max} –максимальне активне навантаження графіків, кВт. Коефіцієнт заповнення графіків навантаження

$$k_3 = \frac{PC}{P_{\max}}. \quad (2.7)$$

Коефіцієнт нерівномірності графіків навантаження

$$k_H = \frac{P_{\min}}{P_{\max}}. \quad (2.8)$$

Споживання активної енергії за добу для графіків навантаження

$$W_{\text{доб}} = PC M, \text{ кВт}\cdot\text{год}. \quad (2.9)$$

2.3 Розрахунок зменшення втрат електричної енергії в трансформаторах ЗТП 10/0,4 кВ підприємства внаслідок вирівнювання графіка навантаження

Розрахунок добових втрат електричної енергії у силових трансформаторах ЗТП 10/0,4 кВ, що перебуває на балансі підприємства, здійснюють за формулами, котрі наведені в [8, 13]. Розрахунок проводять для варіантів до та після вирівнювання графіка навантаження ЗТП 10/0,4 кВ.

Добові втрати електроенергії у силових трансформаторах ЗТП 10/0,4 кВ для варіантів до та після вирівнювання графіка навантаження розраховуються за виразом

$$\Delta W_{\text{доб Т}} = \Delta W_{\text{доб н.х.}} + \Delta W_{\text{доб к.з.}}, \text{ кВт}\cdot\text{год}, \quad (2.10)$$

де $\Delta W_{\text{доб н.х.}}$ – добові умовно-постійні втрати електроенергії, зумовлені втратами неробочого ходу (н.х.), кВт·год;

$\Delta W_{\text{доб к.з.}}$ – добові змінні втрати електроенергії, зумовлені втратами короткого замикання (к.з.), кВт·год.

У свою чергу, добові умовно-постійні втрати електроенергії у трансформаторах ЗТП 10/0,4 кВ для варіантів до та після вирівнювання графіка навантаження розраховуються за виразом

$$\Delta W_{\text{доб н. х.}} = n P_{\text{н. х.}} T_{\text{доб}}, \text{ кВт}\cdot\text{год}, \quad (2.11)$$

де n – кількість однотипних силових трансформаторів на ЗТП 10/0,4 кВ;

$P_{\text{н.х.}}$ – втрати н.х. трансформаторів, кВт [8];

$T_{\text{доб}}$ – число годин роботи трансформаторів за добу, $T_{\text{доб}} = 24$ год.

Добові змінні втрати електроенергії у n трансформаторах ЗТП 10/0,4 кВ можна розрахувати виходячи зі спрощення, яке полягає у припущенні про рівномірне розподілення загального навантаження підстанції між трансформаторами. На основі цього спрощення, величина змінних втрат для варіантів до та після вирівнювання графіка навантаження розраховується за виразом

$$\Delta W_{\text{доб к.з.}} = \frac{1}{n} \frac{S_{\text{max}}^2}{S_{\text{н}}} P_{\text{к.з.т}}, \text{ кВт}\cdot\text{год}, \quad (2.12)$$

де S_{max} , $S_{\text{н}}$ – відповідно максимальне повне навантаження ЗТП 10/0,4 кВ за добу для відповідного графіка та номінальна потужність встановлених трансформаторів, кВА;

$P_{к.з.}$ – втрати к.з. трансформаторів, кВт [8];

τ – число годин найбільших втрат для добових графіків навантаження, год.

Максимальне повне навантаження ЗТП 10/0,4 кВ за добу

$$S_{\max} = \frac{P_{\max}}{\cos \phi}, \text{ кВА}, \quad (2.13)$$

де P_{\max} – максимальне активне навантаження добових графіків, кВт;

$\cos \phi$ – середній коефіцієнт потужності навантаження ЗТП 10/0,4 кВ.

Число годин найбільших втрат τ для добових графіків навантаження визначається за формулою

$$\tau = k_z^2 k_f^2 T_{зфдоб}, \text{ год}, \quad (2.14)$$

де k_z , k_f – відповідно коефіцієнт заповнення та коефіцієнт форми графіків навантаження ЗТП 10/0,4 кВ.

Добове зменшення втрат електричної енергії у трансформаторах ЗТП 10/0,4 кВ внаслідок впровадження заходів з вирівнювання графіка навантаження

$$\Delta W_{\Delta доб Т} = \Delta W_{\Delta доб Т1} - \Delta W_{\Delta доб Т2}, \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Річне зменшення втрат електричної енергії у трансформаторах ЗТП 10/0,4 кВ внаслідок впровадження заходів з вирівнювання навантаження можна визначити виходячи з припущення про незмінність добового графіка навантаження протягом року

$$\Delta W_{\Delta річ Т} = \Delta W_{\Delta доб Т} N, \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (2.15)$$

де N – кількість днів у році, $N=365$.

Річний економічний ефект внаслідок зменшення втрат електричної енергії у трансформаторах ЗТП 10/0,4 кВ за рахунок вирівнювання графіка навантаження для тарифу C_0

$$E_{\Delta W} = \Delta W_{\Delta \text{річ}} T C_0, \text{ грн.} \quad (2.16)$$

2.4 Вибір системи тарифів для фінансових розрахунків за електричну енергію

Вирівнювання графіка навантаження дозволяє зменшити обсяги сплати за електричну енергію за рахунок переходу на багатозонний облік. Для оцінювання ефективності вирівнювання графіка навантаження з одночасним переходом на багатозонний облік необхідно розрахувати вартість електричної енергії для випадків використання різних систем тарифів. Розрахунки проводять на основі графіка активного навантаження підприємства, отриманого в результаті впровадження заходів з вирівнювання навантаження, рис. 2.1 (б). При цьому допустимо прийняти припущення про незмінність форми графіка протягом року. Повний тариф на електричну енергію для сільськогосподарського підприємства C_0 приймають за діючими цінами.

Вартість електричної енергії, що споживається підприємством за одну контрольну добу, у випадку використання недиференційованого тарифу

$$C_{\text{доб}} = C_0 W_{\text{доб}2}, \text{ грн.} \quad (2.17)$$

У випадку використання диференційованого тарифу, обсяг електричної енергії, що споживається підприємством за період доби від m -ої до n -ої години, знаходять за узагальненою формулою

$$W_{\text{доб } m-n} = \sum_{k=m+1}^m P_k t_k, \text{ кВт}\cdot\text{год}, \quad (2.18)$$

де P_k – величина активного навантаження для k -ої години, кВт;

t_k – тривалість ступені графіка, $t_k = 1$ год.

Наприклад, для випадку використання диференційованого двозонного тарифу, обсяги електричної енергії, що споживається підприємством за одну контрольну добу в години нічного мінімального навантаження енергосистеми (з 23 до 7 години) та в інші години доби (з 7 до 23 години), відповідно складатимуть

$$W_{\text{доб } 23-7} = \sum_{k=24}^7 P_k t_k, \text{ кВт}\cdot\text{год};$$

$$W_{\text{доб } 7-23} = \sum_{k=8}^{23} P_k t_k, \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

Вартість добової електричної енергії у випадку використання диференційованого двозонного тарифу з урахуванням існуючих тарифних коефіцієнтів

$$C_{\text{доб } 2} = 0,7 C_0 W_{\text{доб } 23-7} + C_0 W_{\text{доб } 7-23}, \text{ грн.} \quad (2.19)$$

Для випадку використання диференційованого тризонного тарифу, обсяги електричної енергії, що споживається підприємством за одну контрольну добу в напівпіковий період (з 7 до 8, з 11 до 20 та з 22 до 23 години) та в години максимального навантаження енергосистеми (з 8 до 11 та з 20 до 22 години), відповідно складатимуть

$$W_{\text{доб напівпік}} = \sum_{k=8}^8 P_k t_k + \sum_{k=12}^{20} P_k t_k + \sum_{k=23}^{23} P_k t_k, \text{ кВт}\cdot\text{год};$$

$$W_{\text{доб пік}} = k \sum_{k=9}^{11} P_k t_k + k \sum_{k=21}^{22} P_k t_k, \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Вартість добової електричної енергії у випадку використання диференційованого тризонного тарифу з урахуванням існуючих тарифних коефіцієнтів

$$C_{\text{доб з}} = 0,4 C_0 W_{\text{доб 23-7}} + C_0 W_{\text{доб напівпік}} + 1,5 C_0 W_{\text{доб пік}}, \text{ грн. (2.20)}$$

Таким чином, порівнюючи вартість добової електричної енергії, можна зробити висновок про доцільність використання тієї чи іншої тарифної системи.

ДОДАТОК А

ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ

ВИХІДНІ ДАНІ

У першій частині ІНДЗ здійснити розробку автоматизованої системи контролю та управління електроспоживанням (АСКУЕ) підприємства АПК з точками комерційного та технічного обліку електричної енергії. Точки комерційного багатозонного обліку улаштувати на вводах до шин 0,4 кВ закритої трансформаторної підстанції (ЗТП) 10/0,4 кВ підприємства, а точки технічного обліку – на лініях 0,38 кВ, що відходять. У другій частині розробити перелік заходів щодо вирівнювання графіка навантаження підприємства та оцінити їх ефективність.

Загальні вихідні дані

Номер варіанту	Тип підпри- ємства	Кількість силових трансфор- маторів на ЗТП 10/0,4 кВ підпри- ємства	Тип трансфор- маторів ЗТП 10/0,4 кВ	Кількість ліній 0,38 кВ, що відходять від секцій шин 0,4 кВ ЗТП 10/0,4 кВ		Макси- мальний робочий струм на вводах до шин 0,4 кВ ЗТП 10/0,4 кВ, А	Максимальний робочий струм ліній 0,38 кВ, що відходять від ЗТП 10/0,4 кВ, А												
				I	II		I секція			II секція									
				секція	секція	L1	L2	L3	L4	L5	L6								

Дані графіка навантаження до (P_1) та після (P_2) його вирівнювання

Номер варіанту	Активне навантаження підприємства, кВт, для години доби												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
P_1													
P_2													

Дані графіка навантаження до (P_1) та після (P_2) його вирівнювання (продовження)

Номер варіанту	Активне навантаження підприємства, кВт, для години доби												
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
P_1													
P_2													

ВАРІАНТАМІЗАЦІЯ ПІДПРИЄМСТВ ЗАГАЛЬНІ – 1. БТ таблиця

ВАРІАНТАМІЗАЦІЯ ДАННИХ ДНБ ДОДАТОК

Номер варіанту	Тип підприємства	Кількість силових трансфор- маторів на ЗТП 10/0,4 кВ підпри- ємства n	Тип трансфор- маторів ЗТП 10/0,4 кВ	Кількість ліній 0,38 кВ, що відходять від секцій шин 0,4 кВ ЗТП 10/0,4 кВ		Макси- мальний робочий струм на вводах до шин 0,4 кВ ЗТП 10/0,4 кВ, А	Максимальний робочий струм ліній 0,38 кВ, що відходять від ЗТП 10/0,4 кВ, А					
							I секція			II секція		
				I секція	II секція		Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6
1, 11, 21	Птахофабрика з виробництва м'яса	2	ТМ- 630/10	3	3	1100	170	180	160	180	190	220
2, 12, 22	Свиноферма з репродукції свиней	1	ТМ- 250/10	3	-	350	95	125	130	-	-	-
3, 13, 23 9 2	Птахоферма з виробництва яєць	1	ТМ- 250/10	3	-	325	140	105	80	-	-	-
4, 14, 24	Птахоферма з виробництва м'яса	1	ТМ- 160/10	2	-	260	120	140	-	-	-	-
5, 15, 25	Ферма з відкорму ВРХ	1	ТМ- 100/10	2	-	165	105	60	-	-	-	-
6, 16, 26	Комплекс з виробництва молока	2	ТМ- 160/10	3	2	360	80	70	40	35	135	-
7, 17, 27	Свинокомплекс	2	ТМ- 250/10	2	3	450	85	115	-	80	75	95
8, 18, 28	Комплекс з відкорму ВРХ	2	ТМ- 400/10	3	3	820	95	130	175	155	110	135
9, 19, 29	Птахофабрика з виробництва яєць	2	ТМ- 400/10	2	3	790	195	205	-	150	160	80
10, 20, 30	Молочноварна ферма	1	ТМ- 160/10	3	-	260	90	80	90	-	-	-

Таблиця Б.2 – Вихідні дані графіка навантаження до (P_1) та після (P_2) його вирівнювання за варіантами

Номер варіанту		Активне навантаження підприємства, кВт, для години доби											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	P_1	315	315	315	315	420	473	525	1078	1309	1386	1540	1008
	P_2	630	630	630	630	630	630	650	686	833	882	980	1232
2	P_1	80	80	80	80	106	120	133	147	179	189	210	123
	P_2	105	105	105	105	110	110	110	121	146	155	172	134
3	P_1	46	46	46	46	62	69	77	163	198	209	232	187
	P_2	82	82	82	82	100	108	120	150	182	193	184	149
4	P_1	46	46	46	46	62	69	77	87	106	112	125	187
	P_2	72	73	73	73	104	117	130	140	140	115	115	115
5	P_1	47	47	47	47	62	70	78	80	92	97	108	108
	P_2	74	74	80	80	80	80	80	80	80	84	82	80
6	P_1	46	46	46	46	62	69	77	228	277	294	326	187
	P_2	118	118	118	118	157	176	196	183	223	236	216	141
7	P_1	80	80	80	80	106	120	133	349	424	449	498	123
	P_2	159	159	159	159	220	220	221	222	270	286	318	213
8	P_1	315	315	315	315	420	473	525	582	707	748	832	650
	P_2	416	416	416	416	554	624	693	682	600	600	550	550
9	P_1	167	167	167	167	222	250	278	527	640	678	753	482
	P_2	270	270	270	288	360	452	457	460	463	490	445	440
10	P_1	20	20	20	20	111	125	139	111	67	65	65	45
	P_2	42	42	42	42	44	69	69	87	106	112	87	85
11	P_1	453	453	453	453	604	679	755	956	1161	1230	1366	1231
	P_2	710	710	710	710	710	710	710	819	848	1018	1130	1100
12	P_1	70	70	70	70	94	105	117	139	169	179	199	111
	P_2	88	88	97	97	97	119	119	117	142	150	152	124
13	P_1	70	70	70	70	94	105	117	194	236	249	277	124
	P_2	102	102	102	102	104	104	104	158	192	203	184	156
14	P_1	75	75	75	75	100	113	125	135	139	147	164	178
	P_2	95	99	99	103	133	149	166	140	140	125	125	124
15	P_1	23	23	23	23	31	35	39	80	130	137	153	108
	P_2	58	60	80	80	80	80	80	80	94	94	82	80

Таблиця Б.2 – Вихідні дані графіка навантаження до (P_1) та після (P_2) його вирівнювання за варіантами (продовження)

Номер варіанту		Активне навантаження підприємства, кВт, для години доби											
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	P_1	693	693	819	1078	1078	1001	1001	1001	693	693	504	368
	P_2	1064	1000	1001	686	686	637	637	637	847	847	800	735
2	P_1	85	85	100	147	147	137	137	137	85	85	62	93
	P_2	112	112	109	154	154	112	112	112	92	92	92	91
3	P_1	129	129	152	163	163	151	151	151	129	129	94	54
	P_2	127	127	121	150	150	139	139	139	102	102	82	82
4	P_1	170	170	152	87	87	81	81	81	129	129	94	54
	P_2	97	97	95	87	87	81	81	81	97	97	78	78
5	P_1	76	76	76	75	75	70	70	70	76	76	55	54
	P_2	68	68	68	66	66	61	61	61	68	68	63	63
6	P_1	170	170	152	228	228	212	212	212	129	129	94	54
	P_2	127	127	115	183	183	170	170	170	129	127	97	97
7	P_1	85	85	100	349	349	324	324	324	85	85	62	93
	P_2	175	171	173	222	222	207	207	207	153	152	145	145
8	P_1	447	447	528	582	582	541	541	541	447	447	370	368
	P_2	454	454	537	467	467	456	456	456	454	454	431	430
9	P_1	331	331	391	527	527	490	490	490	331	331	241	195
	P_2	420	420	399	381	381	354	354	354	420	420	305	300
10	P_1	45	45	64	111	111	103	103	103	54	54	39	37
	P_2	65	65	68	87	87	81	81	81	65	65	52	51
11	P_1	846	846	1000	956	956	888	888	888	846	846	615	528
	P_2	1100	811	803	800	810	820	849	849	822	822	800	730
12	P_1	76	76	90	139	139	129	129	129	76	76	55	82
	P_2	112	112	101	99	99	108	108	108	85	85	92	91
13	P_1	86	86	101	194	194	180	180	180	86	86	82	82
	P_2	127	127	126	158	158	147	147	147	129	112	112	112
14	P_1	170	170	100	115	115	106	106	106	88	85	85	85
	P_2	121	121	95	108	108	100	100	100	98	98	98	89
15	P_1	49	49	76	107	107	99	99	99	49	49	36	27
	P_2	71	71	68	52	52	63	68	68	65	45	40	40

Таблиця Б.2 – Вихідні дані графіка навантаження до (P_1) та після (P_2) його вирівнювання за варіантами (продовження)

Номер варіанту		Активне навантаження підприємства, кВт, для години доби											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16	P_1	108	108	108	108	143	161	179	195	237	251	279	334
	P_2	153	153	153	153	204	230	256	227	229	223	216	211
17	P_1	201	201	201	201	268	302	335	370	450	476	402	274
	P_2	221	221	221	223	228	228	239	347	361	361	345	345
18	P_1	105	105	105	105	139	157	174	664	807	854	949	449
	P_2	255	255	255	255	340	382	425	559	600	600	550	550
19	P_1	211	211	211	211	281	316	351	423	514	544	605	670
	P_2	322	322	322	367	411	452	457	460	463	463	445	440
20	P_1	49	49	49	49	111	125	139	139	67	65	65	49
	P_2	87	87	87	87	91	91	91	97	118	125	87	85
21	P_1	108	108	108	108	143	161	179	871	1058	1120	1245	594
	P_2	387	387	387	387	630	630	650	690	690	731	722	654
22	P_1	126	126	126	126	169	190	211	212	223	236	262	111
	P_2	130	130	130	130	133	135	137	137	157	166	185	198
23	P_1	84	84	84	84	111	125	139	140	170	180	200	272
	P_2	118	118	127	127	133	161	179	182	180	180	178	176
24	P_1	18	18	18	18	24	27	30	121	146	155	172	114
	P_2	72	73	73	73	86	97	103	103	93	87	87	87
25	P_1	28	28	28	28	38	42	47	80	115	122	136	108
	P_2	59	67	68	68	86	86	87	91	91	85	82	80
26	P_1	65	65	65	65	86	97	108	194	236	249	277	222
	P_2	125	125	127	127	174	175	179	183	189	179	176	175
27	P_1	169	169	169	169	225	253	281	379	461	488	542	167
	P_2	241	241	241	241	251	268	268	295	296	286	265	261
28	P_1	88	114	114	114	152	171	190	403	489	518	575	601
	P_2	341	341	341	341	378	429	430	435	387	306	302	301
29	P_1	100	100	100	100	134	151	167	595	722	765	850	449
	P_2	319	319	319	319	355	365	368	368	371	393	395	398
30	P_1	42	42	42	42	56	63	70	98	119	126	140	112
	P_2	62	62	62	62	63	67	74	88	99	99	102	92

Таблиця Б.2 – Вихідні дані графіка навантаження до (P_1) та після (P_2) його вирівнювання за варіантами (продовження)

Номер варіанту		Активне навантаження підприємства, кВт, для години доби											
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
16	P_1	330	330	271	195	195	181	181	181	229	229	167	125
	P_2	187	185	211	211	211	220	225	225	211	198	172	160
17	P_1	189	189	223	370	370	344	344	344	189	189	180	180
	P_2	300	300	253	347	347	322	322	322	306	212	211	211
18	P_1	309	309	365	664	664	617	617	617	309	309	225	122
	P_2	385	385	382	381	381	456	456	461	445	443	278	260
19	P_1	460	460	456	423	423	393	393	393	460	460	335	246
	P_2	384	384	399	381	381	367	367	367	384	384	384	346
20	P_1	49	58	74	150	150	139	139	139	62	62	49	49
	P_2	65	65	68	97	97	90	90	90	78	78	66	61
21	P_1	408	408	482	871	871	809	809	809	408	408	297	125
	P_2	521	521	570	568	568	528	528	528	320	309	301	301
22	P_1	76	76	90	183	183	170	170	170	76	76	55	43
	P_2	196	196	163	154	154	120	120	120	138	138	111	111
23	P_1	278	278	221	140	140	130	130	130	187	187	136	98
	P_2	172	172	181	169	169	157	157	157	153	127	129	129
24	P_1	110	110	93	121	121	112	112	112	79	79	57	21
	P_2	85	85	77	76	76	71	71	71	85	85	84	84
25	P_1	103	103	45	45	75	88	88	88	103	103	75	33
	P_2	74	74	68	54	54	69	69	69	74	74	63	59
26	P_1	220	220	180	194	194	180	180	180	152	152	111	75
	P_2	170	170	170	183	183	170	170	170	129	127	97	94
27	P_1	115	115	136	379	379	352	352	352	115	115	111	111
	P_2	211	211	211	222	222	267	287	299	264	263	250	241
28	P_1	413	413	410	403	403	374	374	374	413	413	370	88
	P_2	319	321	321	326	326	331	331	333	303	303	221	215
29	P_1	309	309	365	595	595	552	552	552	309	309	225	117
	P_2	469	469	399	353	358	370	378	378	469	469	341	281
30	P_1	77	77	91	98	98	91	91	91	77	77	56	49
	P_2	81	81	91	94	94	91	91	91	77	75	65	62

Перелік використаної літератури

1. Черемісін М.М. Автоматизація обліку та управління електроспоживанням: Посібник для вищих навчальних закладів. / М.М. Черемісін, В.М. Зубко – Х.: Факт, 2005. – 192 с.
2. Ожегов А.Н. Системы АСКУЭ: Учебное пособие. Часть 1. / А.Н. Ожегов – Киров: ВТУ, 2006. – 102 с.
3. Правила користування електричною енергією / Затв. Постановою НКРЕ №7 від 31.07.96 р. (у редакції Постанови НКРЕ № 910 від 17.10.2005 р.)
4. Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку України / Затв. спільним наказом Мінпаливенерго, НКРЕ, Держкоменергозбереження, Держстандарту, Держбуду та Держкомпромполітики України №32/28/28/276/75/54 від 17.04.2000р.
5. Правила улаштування електроустановок. 3-тє вид., перероб. і доп. – Х.: Вид-во «Форт», 2010. – 736 с.
6. http://www.tokko.ua/elektroschetchiki/po_proizvoditelu/Actaris/Seriya_ACE/ACE_6000/
7. <http://www.insat.ru/products/?category=791>
8. Будзко И.А. Электроснабжение сельского хозяйства: / И.А. Будзко, Н.М. Зуль – Агропромиздат, 1990. – 496 с.: ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).
9. http://www.czt.ru/TOP_066_I.html
10. Порядок узгодження технічної документації та впровадження АСКОЕ (ЛЮУ) на об'єктах електроенергетики. – НКРЕ України, 2005
12. Стандарт ОРЕ “Автоматизовані системи комерційного обліку електричної енергії суб'єктів ОРЕ. Загальні вимоги” (Затвержено Радою ОРЕ Протокол №15 від 27.01.2006 р.)
13. Лыкин А.В. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электрических сетях: учеб. пособие. / А.В. Лыкин – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. - 115 с.

Навчальне видання

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ

Методичні вказівки
до виконання індивідуального науково-дослідного
завдання «Розробка автоматизованої системи контролю та керування
електроспоживанням з впровадженням заходів щодо вирівнювання графіка
навантаження»

Автори-укладачі:
САВЧЕНКО Олександр Анатолійович

Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman Папір для цифрового друку. Друк
ризографічний. Ум. друк. арк. 0,6. Наклад 100 пр.
Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44

