

## ВПЛИВ РДЕ НА ВТРАТИ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЛЕС

*Лежнюк Петро Дем'янович* д.т.н., професор

*Гунько Ірина Олександрівна* аспірантка

*Вінницький національний технічний університет*

*Рубаненко Олена Олександрівна* к.т.н., доцент

*Вінницький національний аграрний університет*

**Lezhniuk P.**

**Gun'ko I.**

*Vinnitsia National Technical University*

**Rubanenko O.**

*Vinnitsa nationalnyu Agricultural University*

**Анотація:** в роботі розглянуто актуальні питання впровадження та експлуатації розосереджених джерел енергії в локальних електричних системах та їх вплив на втрати активної потужності в ЛЕС

**Ключові слова:** розосереджені джерела енергії, локальна електрична система, сонячні електричні станції, втрати активної потужності, узгоджене керування.

### Вступ

Ознакою сьогодення є широке впровадження розосереджених джерел енергії на основі альтернативних джерел енергії, таких як: вітер, сонце, вода та ін [1, 2]. Уряди різних країн світу заохочують розбудову РДЕ за допомогою субсидій та різних державних програм. Таким чином, частка відновлювальної енергетики в світовому енергобалансі на кінець 2013 року становить майже 22,1 %. В Україні також активно розбудовуються РДЕ, станом на кінець 2013 року частка фотоелектричних установок в країні становить 0,1%, та генерує 748 МВт потужності. Аналіз іноземних джерел свідчить про те що інтенсивне впровадження фотоелектричних установок, як малої (до 2 МВт) так і середньої потужності, впливають на показники якості електричної енергії в мережі, а саме на коефіцієнт гармонійного спотворення синусоїди струму та напруги в мережі та коливання напруги.

Потужні агропереробні підприємства ( «Наша Ряба», «АПК-ІНВЕСТ», «Букофрут», ВАТ «Миронівський хлібопродукт») все частіше будують ближче до розташування баз сировини. Сучасні тенденції автоматизації технологічних процесів зумовлюють використання вартісного іноземного обладнання (Shneider Electric (Німеччина), АВВ (Швеція, Швейцарія), яке в свою чергу накладає жорсткі вимоги на якість електроенергії. Потужні сільськогосподарські підприємства (СГП), враховуючи особливості технологічних процесів, часто потребують безперебійного забезпечення якісною електроенергією.

### Вплив потужності СЕС на втрати активної потужності в ЛЕС

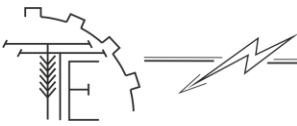
З метою розрахунку втрат активної потужності  $\Delta P$  в ЛЕС де експлуатуються РДЕ, а саме сонячні електричні станції (СЕС) було створено модель ЛЕС напругою 10/0,4 кВ в програмному середовищі PS CAD (Power System Simulation) [3] показано на рис.2. В даній моделі є 2 СЕС: максимальна потужність генерування першою СЕС становить 2,8 МВт, потужність другої СЕС 2,6 МВт; 2 підвищувальні трансформатори напруги 0,4/10 кВ, а також 5 ліній, для живлення споживачів напругою 10 кВ (потужність споживачів та потужність генерування СЕС змінювалась згідно добових графіків навантаження наведених на рис.3,4). Залежно від режиму роботи ЛЕС змінювались і втрати активної  $\Delta P$  потужності, як наведено в таблиці 1. Найменшими втрати  $\Delta P$  були о 23.00 годині, коли СЕС не генерували, а потужність споживання було малою,  $\Delta P$  становили 0,232 кВт. Найбільші втрати були отримані, у випадку, коли точка поточкорозподілу знаходилась у 4 вузлі.

**Таблиця 1**

Втрати активної потужності  $\Delta P$  залежно від режиму роботи ЛЕС

№ п/п	Годинна доби	$P_{\text{ГЕН СЕС}}$ , МВт	$P_{\text{НАВ}}$ , МВт	$\Delta P$ , кВт
1	23.00	0	0,1	0,232
2	10.00	5,4	2,95	110,6
3	13.00	5	1,15	96,53
4	2.00	0	1,12	28,531

Найбільшими втрати були о 10.00, коли потужність генерування СЕС була максимальною, а



саме СЕС1-2,8 МВт, а СЕС2- 2,6 МВт, а потужність навантаження становила 2,95 МВт, тоді втрати  $\Delta P$  були 110,6 кВт.

Залежно від режиму роботи ЛЕС, змінювались перетоки потужності в ЛЕС, а отже змінювалась і точка поточкорозподілу.

Під точкою поточкорозподілу розуміється вузол в мережі, який отримує живлення з двох сторін. Для мережі наведеної на рис. 1 перетік потужностей визначався за виразом 1.

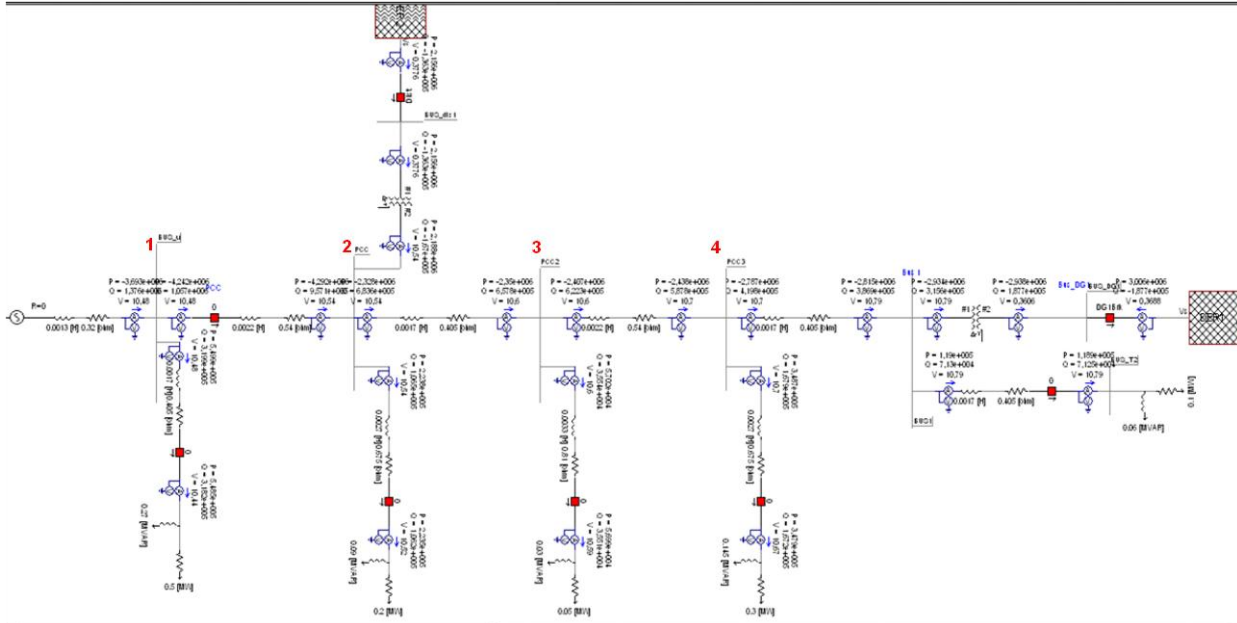


Рис. 1. Схема моделі ЛЕС напругою 10/0,4 кВ в програмному середовищі PS CAD

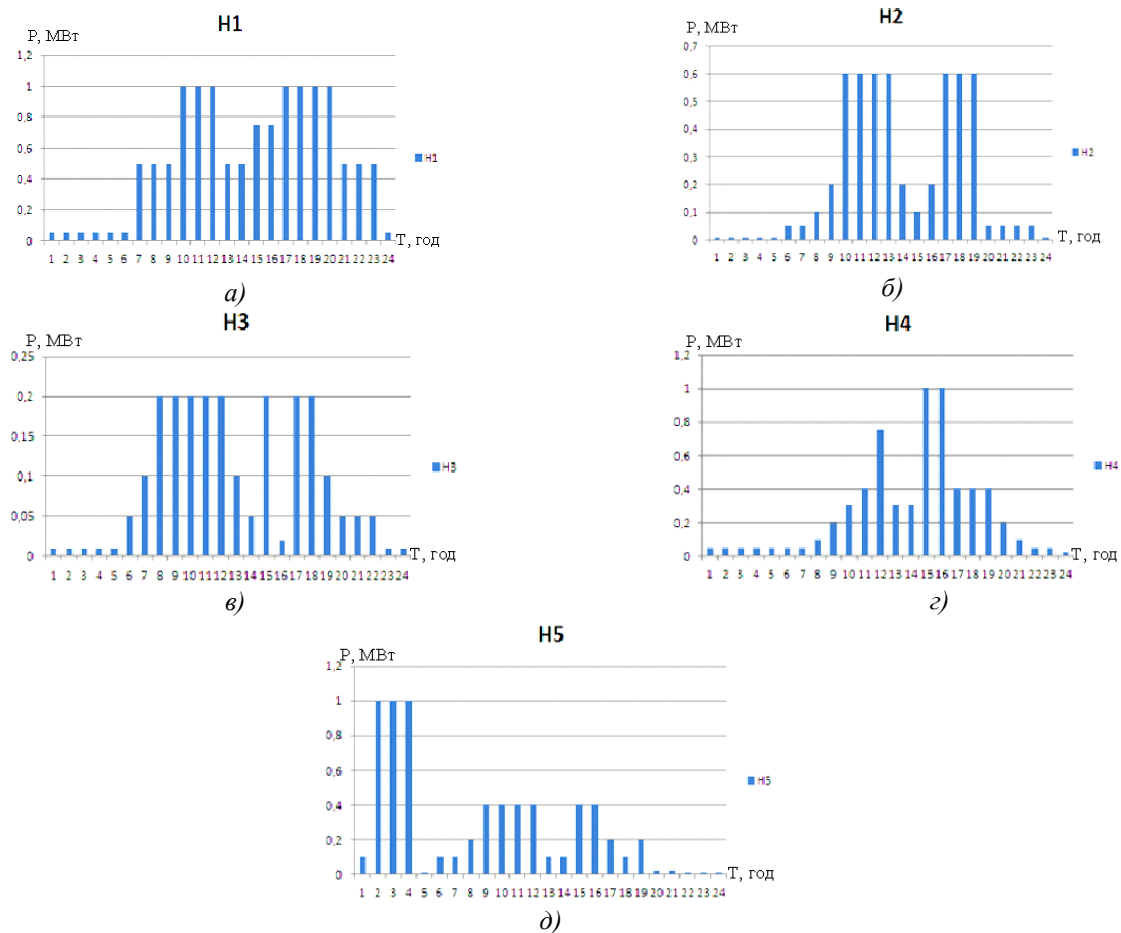
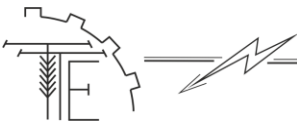


Рис. 2. Добові графіки навантажень кожного споживача відповідно рис. 1



$$\begin{cases} \bar{S}_{12} = \bar{S}_{ЦЖН1} - \bar{S}_{H1} \\ \bar{S}_{23} = \bar{S}_{ЦЖН1} - \bar{S}_{H1} - \bar{S}_{H2} \\ \bar{S}_{34} = \bar{S}_{ЦЖН1} - \bar{S}_{H1} - \bar{S}_{H2} - \bar{S}_{H3} \\ \bar{S}_{4PDE2} = \bar{S}_{ЦЖН1} - \bar{S}_{H1} - \bar{S}_{H2} - \bar{S}_{H3} - \bar{S}_{H4} \end{cases}$$

де  $S_{12}$  – перетік потужності на ділянці 12,  $S_{ЦЖН1}$  – потужність центра живлення,  $S_{23}$  – перетік потужності на ділянці 23,  $S_{34}$  – перетік потужності на ділянці 34,  $S_{4PDE2}$  – перетік потужності на ділянці від вузла 4 до PDE2;  $S_{H1}, S_{H2}, S_{H3}, S_{H4}$  – потужності 1,2,3,4 - го навантажень відповідно.

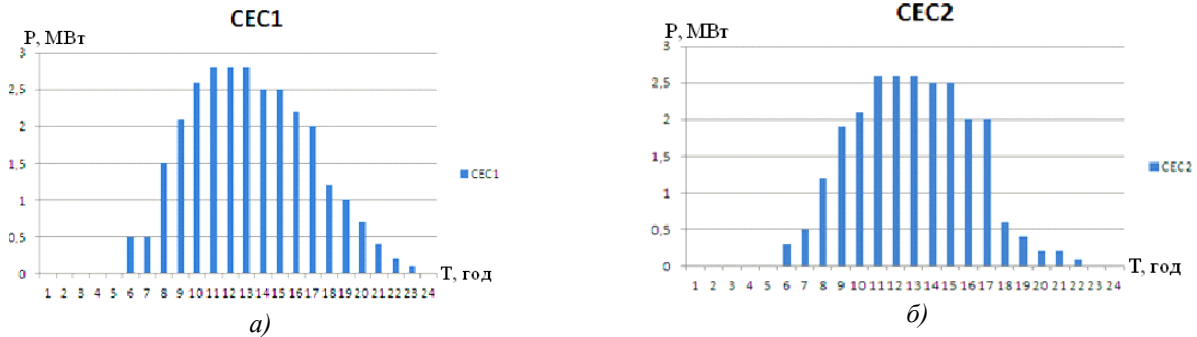


Рис. 2.1. Добові графіки генерування СЕС: а) СЕС1; б) СЕС2

Найбільшими втрати були о 10.00, коли потужність генерування СЕС була максимальною, а саме СЕС1-2,8 МВт, а СЕС2- 2,6 МВт, а потужність навантаження становила 2,95 МВт, тоді втрати  $\Delta P$  були 110,6 кВт.

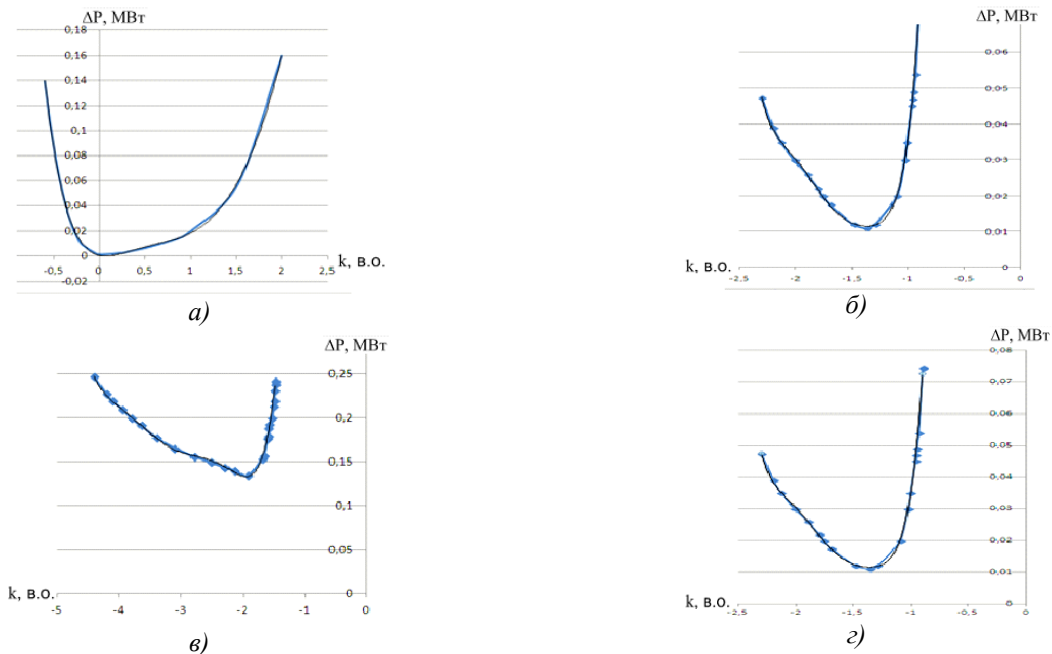


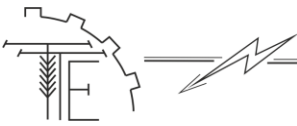
Рис. 3. Графік залежності  $\Delta P$  в ЛЕС від  $k$  у випадках: а)  $P_{PDE2} = 0$  МВт; б)  $P_{PDE2} = 1$  МВт; в)  $P_{PDE2} = 2$  МВт; з)  $P_{PDE2} = 3$  МВт

На рис.3  $k$  – коефіцієнт співвідношення потужності генерування центра живлення до потужності генерування СЕС1 і визначається за виразом 4.

$$k = \frac{P_{ЦЖ}}{P_{СЕС1}} \tag{1}$$

де  $P_{ЦЖ}$  – потужність генерування в центрі живлення,  $P_{СЕС2}$  – потужність генерування СЕС2.

Кожен з графіків наведених на рис.3 має свій оптимум, тобто змінюючи потужності генерування СЕС, можна впливати на мінімальні втрати активної потужності  $\Delta P$  в ЛЕС. Це показує



необхідність узгодженого керування СЕС, як і це було доведено у випадку зменшення пошкоджуваності обладнання, а тепер підтверджується за умов зменшення втрат в ЛЕС.

Ці залежності були апроксимовані виразами 8-7 наведеними далі.

$$\Delta P(k) = 0,0092 \cdot k^6 - 0,067 \cdot k^5 + 0,1948 \cdot k^4 - 0,239 \cdot k^3 + 0,1349 \cdot k^2 - 0,0146 \cdot k + 0,003 \quad (2)$$

$$\Delta P(k) = 105,83 \cdot k^6 + 446,8 \cdot k^5 + 786,16 \cdot k^4 + 738,88 \cdot k^3 + 391,82 \cdot k^2 + 111,37 \cdot k + 13,301 \quad (3)$$

$$\Delta P(k) = 0,4561 \cdot k^6 + 4,558 \cdot k^5 + 18,793 \cdot k^4 + 40,95 \cdot k^3 + 49,829 \cdot k^2 + 32,166 \cdot k + 8,6322 \quad (4)$$

$$\Delta P(k) = 0,0188 \cdot k^6 + 0,3537 \cdot k^5 + 2,7281 \cdot k^4 + 11,023 \cdot k^3 + 24,588 \cdot k^2 + 28,669 \cdot k + 13,769 \quad (5)$$

У виразах (2) – (5):  $k$  – коефіцієнт співвідношення потужності генерування центра живлення до потужності генерування СЕС1,  $\Delta P$  – втрати активної потужності в ЛЕС.

А оптимальні значення цих залежностей були знайдені шляхом прирівнювання до 0 перших похідних цих виразів, наведених нижче (вирази 6-9).

$$\frac{d(\Delta P)}{dk} = 0,0552 \cdot k^5 - 0,335 \cdot k^4 + 0,7792 \cdot k^3 - 0,717 \cdot k^2 + 0,2698 \cdot k - 0,0146 \quad (6)$$

$$\frac{d(\Delta P)}{dk} = 634,98 \cdot k^5 + 2234 \cdot k^4 + 3144,64 \cdot k^3 + 2216,64 \cdot k^2 + 783,64 \cdot k + 111,37 \quad (7)$$

$$\frac{d(\Delta P)}{dk} = 2,7366 \cdot k^5 + 22,79 \cdot k^4 + 75,172 \cdot k^3 + 122,85 \cdot k^2 + 99,658 \cdot k + 32,166 \quad (8)$$

$$\frac{d(\Delta P)}{dk} = 0,1128 \cdot k^5 + 1,4148 \cdot k^4 + 10,9124 \cdot k^3 + 33,069 \cdot k^2 + 49,176 \cdot k + 28,669 \quad (9)$$

де  $k$  – коефіцієнт співвідношення потужності генерування центра живлення до потужності генерування СЕС1,  $\Delta P$  – втрати активної потужності в ЛЕС.

Розраховані оптимальні розв'язки перших похідних виразів 4-7, що є мінімальними втратами активної потужності  $\Delta P$  в ЛЕС для кожного з режимів, зведені до таблиці 3.

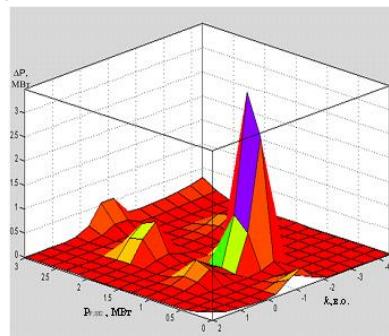
**Таблиця 3**

Залежність мінімальних втрат  $\Delta P$  в ЛЕС від  $k_{opt}$ .

№ п/п	$P_{СЕС1}$ , МВт	$P_{СЕС2}$ , МВт	$P_{ЦЖ}$ , МВт	$k$ , МВт	$\Delta P$ , кВт
1	1,265	0	0,0347	0,0275	0,001
2	1,3	1	-1,17	-0,9	0,002
3	2,45	2	-3,346	-1,366	0,011
4	2,22	3	-4,22	-1,92	0,135

Також з таблиці 3 можна зробити висновок, що змінюючи потужність РДЕ 2 можна визначити потужності генерування РДЕ1 та РДЕ.

За допомогою Matlab та використовуючи дані таблиці 3 в тривимірному просторі побудовано графік залежності втрат активної потужності  $\Delta P$  в ЛЕС від потужності генерування одного з РДЕ та коефіцієнту  $k$ , який показаний на рис.4.



**Рис. 4. Графік залежності втрат  $\Delta P$  в ЛЕС від  $k$  та потужності генерування РДЕ2**

Результат аналізу рис.4, свідчать про те, що задача пошуку умови мінімальних втрат є



багатокритеріальною і графік має багато мінімумів, а задача оптимального керування полягає у знаходженні глобального найменшого значення втрат активної потужності.

### Висновки

Інтенсивна розбудова РДЕ в ЛЕС призводить до зростання втрат активної потужності, в локальних електричних мережах де експлуатуються в яких експлуатуються розподілені джерела генерування.

Узгоджене керування такими РДЕ дозволяє зменшити пошкоджувальність обладнання та втрати потужності.

### Список літератури

1. Кириленко А.В. Оптимизация режимов энергосистем в условиях рынка / А.В. Кириленко, В.Л. Прихно // *Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонніх контрактів і балансууючого ринку.* – К.: 2009. – С. 3–10.
2. Enslin, J. Harmonic interaction between a large number of distributed power inverters and the distribution network / J. Enslin, P. Heskes // *IEEE Transactions on power electronics.* – 2004. – V.19, № 6. – P. 1586-1593.
3. Лежнюк, П.Д. Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЛЕС / П.Д. Лежнюк, Рубаненко О.Є., І.О. Гунько // *Вісник Хмельницького національного технічного університету. Серія: Технічні науки.* – 2015. – №2. – С. 134-139.
4. Jung, J. Coordinated control of automated devices and photovoltaic generators for voltage rise mitigation in power distribution circuits / J. Jung, A. Onen, R. Arghandeh, R. Broadwater // *Renewable Energy.* – 2014. –66. – P. 532-540.
5. Лежнюк П.Д. Вплив сонячних електричних станцій на напругу споживачів 0,4 кВ / П.Д. Лежнюк, Рубаненко О.Є., І.О. Гунько // *Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія».* Київ, НТУУ"КПІ". – 2015. – №3(41) – С.7-13.
6. Ананичева С.С. Методы анализа и расчета замкнутых электрических сетей: Учебное пособие / С.С. Ананичева, А.Л. Мызин. – Екатеринбург: Урфу. 2012. – 64 с.
7. Pepermans, G Distributed generation: definition, benefits and issues / G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, W. D'haeseleer // *Energy Policy.* 2005. – №33.-P. 787-798.

### References

1. Kyrylenko A.V. Optymizatsiya rezhymiv enerhosystem v umovakh rynku / A.V. Kyrylenko , V.L. Prykhno // *Pratsi Instytutu ELEKTRODYNAMIKY NAN Ukrayiny . Spetsialnyy vypusk . Enerhetychni rynki : Perekhid do novoy modeli Sayty Vsyia dvostoronnykh Kontraktiv y balansuyuchoho Sayty Vsyia .* - K .: 2009. - S. 3-10 .
2. Enslin J. Harmonic interaction between a large number of distributed power inverters and the distribution network / J. Enslin, P. Heskes // *IEEE Transactions on power electronics.* – 2004. – V.19, № 6. – P. 1586-1593.
3. Lezhnyuk P.D. Vplyv inverteriv SES na pokazately yakosti elektrichnoyi ENERHIYI v LIS / P.D. Lezhnyuk , Rubanenko O.YE. , I.O. Hunko // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu . Seriya : Tekhnichni nauky .* - 2015. - №2 . - S. 134-139 .
4. Jung, J. Coordinated control of automated devices and photovoltaic generators for voltage rise mitigation in power distribution circuits / J. Jung, A. Onen, R. Arghandeh, R. Broadwater // *Renewable Energy.* – 2014. –66. – P. 532-540.
5. Lezhnyuk P.D. Vplyv Sonyachnykh elektrychnykh stantsiy na napruhu spozhivachiv 0,4 kV / P. D. Lezhnyuk , Rubanenko O.YE., I.O. Hunko // *Naukovyy zhurnal « Enerhetyka : ekonomika , tekhnolohiyi , ekolohiya » .* Kyuyiv , NTUU " KPI " . - 2015. - №3 ( 41 ) - - S.7-13 .
6. Ananichev S.S. Metody analiza i rascheta zamknutykh elektricheskikh setey: Uchebnoye posobiye / S.S. Ananichev , A.L. Myzin . - Yekaterinburg : UrFU . 2012. - 64 s.
7. Pepermans, G Distributed generation: definition, benefits and issues / G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, W. D'haeseleer // *Energy Policy.* 2005. – №33.-P. 787-798.

### ВЛИЯНИЕ РДЭ НА ПОТЕРИ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЛЕС

**Аннотация:** в работе рассмотрены актуальные вопросы внедрения и эксплуатации рассредоточенных источников энергии в локальных электрических системах и их влияние на потери активной мощности в ЛЕС.

**Ключевые слова:** рассредоточенные источники энергии, локальная электрическая система, солнечные электрические станции, потери активной мощности, согласованное управление.

### IMPACT ON IDR ACTIVE POWER LOSSES IN LES

**Summari:** this paper discussed topical issues of implementation and operation of distributed power sources to the local electrical systems and their impact on active power losses in Les.

**Keywords:** dispersed power sources, local electrical system, solar power plants, the loss of active power management agreed.