

УДК 621.311.661.51.

Каденський Микола Ярославович, інженер 1 категорії. ДП «НАЕК «Енергоатом», м. Київ, Україна. Вул. Назарівська, 3, м. Київ, Україна 01032, аспірант за спеціальністю «Енергетичні системи і комплекси» ІТТФ НАН України, м. Київ, Україна. Вул. Желябова, 2А, м. Київ, Україна, 03680. E-mail:kadenskiy@gmail.com

ОЦІНКА НЕОБХІДНИХ ОБСЯГІВ ВПРОВАДЖЕННЯ СПОЖИВАЧІВ-РЕГУЛЯТОРІВ В ОЕС УКРАЇНИ НА ПЕРІОД ДО 2030 РОКУ

В роботі приведено аналіз зростання діапазону змінних навантажень та представлені оцінки дефіциту регулюючої потужності теплових електростанцій в ОЕС України за 2008-2013 роки. Наведено результати прогнозування темпів зростання діапазону змінних навантажень для горизонту планування закладеному в Оновленій енергетичній стратегії України до 2030 року. Виконано оцінку потенціалу участі маневрових потужностей в покритті змінної частини графіка електричних навантажень ОЕС України у 2030 році. Виявлено необхідність впровадження споживачів - регуляторів графіку електричних навантажень енергетичної системи на основі теплових насосів-регуляторів в обсязі до 2000 МВт до 2030 року.

Ключові слова: енергетична система, споживачі-регулятори, змінні навантаження, маневрові потужності, графік електричного навантаження.

Каденський Николай Ярославович, инженер 1 категории. ГП «НАЭК «Энергоатом», г. Киев, Украина. Ул. Назаровская, 3, г. Киев, Украина 01032, аспирант по специальности «Энергетические системы и комплексы» ИТТФ НАН Украины, г. Киев. Украина. Ул. Желябова, 2А, г. Киев. Украина, 03680. E-mail:kadenskiy@gmail.com

ОЦЕНКА НЕОБХОДИМЫХ ОБЪЕМОВ ВНЕДРЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ-РЕГУЛЯТОРОВ В ОЭС УКРАИНЫ НА ПЕРИОД ДО 2030 ГОДА

В работе проведен анализ роста диапазона переменных нагрузок и представлены оценки дефицита регулирующей мощности тепловых электростанций в ОЭС Украины за 2008-2013 годы. Представлены результаты прогнозирования темпов роста диапазона переменных нагрузок для горизонта планирования заложенном в Обновленной энергетической стратегии Украины до 2030 года. Выполнена оценка потенциала участия инновационных маневренных мощностей в покрытии переменной части графика электрических нагрузок ОЭС Украины в 2030 году. Выявлена необходимость внедрения потребителей - регуляторов графика электрических нагрузок энергосистемы на основе тепловых насосов-регуляторов в объеме до 2000 МВт до 2030 года.

Ключевые слова: энергетическая система, потребители-регуляторы, переменные нагрузки, маневренные мощности, график электрической загрузки.

Kadenskiy Nikolay Yaroslavovich, 1st category engineer SE «Energoatom», Kyev, Ukraine. St. Nazarovskaya, 3, Kyev, Ukraine, 01032. PhD student «Energy systems and complexes» at The Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Kyev, Ukraine. St. Zhelyabova, 2A, Kyev, Ukraine, 03680. e-mail:kadenskiy@gmail.com

ESTIMATE OF THE CONSUMERS-REGULATORS NECESSARY IMPLEMENTATION VOLUMES AT UPS OF UKRAINE UP TO 2030.

The paper shows the analysis of the growth range of variable loads and assessment of thermal power plants regulatory capacity deficit in UPS of Ukraine for 2008-2013 is presented. Results of forecasting shows the variable loads rates of growth for the planning horizon of Updated energy strategy of Ukraine until 2030 is presented. Was estimated potential by maneuver capacity to cover the variable part of Ukraine load curve in 2030. Revealed the need to implement consumers - regulators energy system of electric load curve based on heat pumps-regulators up to 2000 MW by 2030.

Keywords: power system, consumers-regulators, variable loads, maneuverable power, power load curve.

Вступ

В останні роки внаслідок змін структури споживання електричної енергії, відбуваються помітні зміни форми графіків електричних навантажень (ГЕН) Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України. Причиною цього стало підвищення споживання електроенергії населенням та комунально-комерційним сектором, яке характеризується нерівномірністю продовж доби, суттєво впливаючи на ранкові та вечірні піки навантаження ОЕС України.

Згідно з існуючими даними, за останні 15 років споживання електроенергії населенням збільшилося на 75,4 % – з 22 954 млн кВт·год до 40 266 млн кВт·год, ЖКГ – на 34,8 %,

іншими непромисловими споживачами – на 125,9 %. В той же час приріст електроспоживання промисловості склав у цей період лише 2,8 % при загальному зростанні електроспоживання в Україні на 17,7 %. Якщо розглянути структуру споживання, то доля населення становила тут в 1998 році 17,9 %, а вже у 2014 склала – 29,0 % [1]. За даними державної служби статистики України споживання електричної енергії в побуті за останні 5 років зросло з 2 688 тис. т. н. е. у 2008 році до 3 559 тис. т. н. е. у 2013, також зросло споживання сектором торгівлі та послуг, з 1956 тис. т. н. е. до 2142 тис. т. н. е. [2, 3].

Такий приріст споживання, що прогнозується і надалі, призводить до розущільнення ГЕН ОЕС України. Коефіцієнт нерівномірності ГЕН, за даними НЕК «Укренерго», за останні 5 років змінився від 0,78 до 0,73 для показників режимних днів січня, що вказує на значний приріст саме змінних навантажень енергосистеми.

Зараз для ОЕС України у зимовий період максимальні значення змінних навантажень складають 7000–8000 МВт, тоді як у 2000 р. вони становили 5500 МВт. Одним із важливих факторів впливу на зростання змінних навантажень є використання населенням електричної енергії на термічні потреби. Так, у роботі [4] приведено дані, що для лютого 2012 року зниження температури навколишнього середовища нижче розрахункових значень на 5 °С супроводжується збільшенням максимальної потужності в ОЕС України на 827 МВт.

Зростання діапазону змінних навантажень спостерігається і влітку – 5100 МВт у 2012р. проти 3000 МВт у 2000 р. В той же час, темпи впровадження маневрової генерації гідроелектростанцій є недостатніми, щоб покривати постійно зростаючий напівпіковий та піковий діапазон. Наприклад, закачка ГАЕС, що дозволяє заповнити нічний провал навантаження в ОЕС України у січні 2008 року складала 353 МВт, а у січні 2013 збільшилась лише до 785 МВт (максимальне значення 1000 МВт 24 грудня 2012 року), а максимальна генерація ГАЕС у грудні 2013 склала близько 850 МВт. Але ефективність ГАЕС суттєво залежить від наявності гідроресурсу у річках, що не завжди дає змогу якісно регулювати змінні навантаження навіть в межах існуючих проектних потужностей. Ефективне покриття такого діапазону змінних навантажень неможливо і за рахунок лише тарифної політики та засобів диспетчерського керування ОЕС України.

Для підвищення надійності та економічності роботи ОЕС України необхідно збільшити кількість високоманеврових генеруючих потужностей або, як зазначено в Оновленій енергетичній стратегії України до 2030 року (далі – Стратегія), запровадити спеціалізовану групу споживачів-регуляторів під диспетчерським керуванням системного регулятора.

Основними задачами дослідження є оцінка дефіциту регулюючих потужностей ТЕС в ОЕС України за 2008–2013 роки на основі прогнозування змін добової нерівномірності споживання електричної енергії продовж горизонту планування Оновленої енергетичної стратегії України до 2030 року.

Нараз, доки ще лише досліджуються можливості залучення атомних електростанцій до маневрових режимів [5, 6] покриття необхідного діапазону регулювання потребує відключення великої кількості блоків ТЕС на нічний мінімум споживання з наступним їх включенням на ранок. Такі режими безумовно призводять до зниження економічних показників ТЕС та знижують надійність роботи ОЕС України.

Фактичний дефіцит регулюючої потужності енергосистеми може бути виявлений на основі оцінки випадуючих потужностей енергоблоків ТЕС за даними балансу потужностей у години максимуму і мінімуму добових електричних навантажень, що надаються НЕК «Укренерго». Результати відповідних оцінок дефіциту регулюючої потужності за даними балансів діб з максимальним місячним навантаженням енергосистеми по місяцях 2008–2013 р.р. представлений на рис. 1. Наведені дані свідчать про певну стохастичність дефіциту навантажень для однакових місяців за різні роки. Основними факторами, що впливають на це є погодні умови, склад робочої групи регулюючих енергоблоків ТЕС, наявні регулюючі потужності ТЕС та ГАЕС, а також стан енергоблоків АЕС. В той же час є очевидним, що найбільший дефіцит регулюючої потужності припадає на зимові місяці. Тому нагальна

необхідність у ефективному регулюванні навантаження в ОЕС України існує саме під час опалювального сезону.

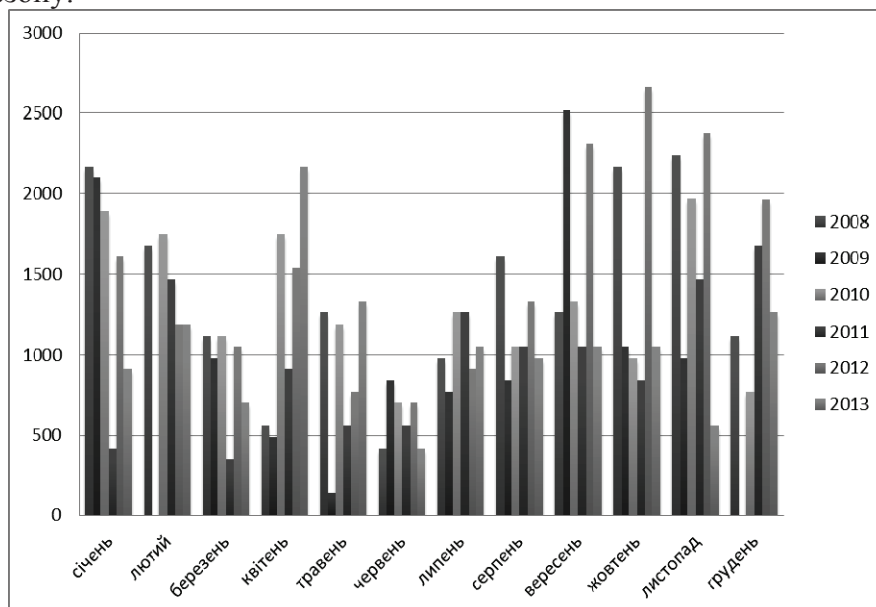


Рис. 1. Дефіцит регулювального діапазону ТЕС України помісячно у 2008–2013 роках

Для прогнозування та оцінки значень змінних навантажень в ОЕС України використовувалися дані Оновленої енергетичної стратегії 2013 року затвердженої Кабінетом Міністрів України 24 липня 2013 року [7]. Згідно базового сценарію Стратегії, промисловість буде найбільшим споживачем електроенергії із середнім річним темпом зростання 1,8 %. Середній темп зростання споживання електроенергії сільським господарством прогнозується на рівні 1,6 % на рік, сферою послуг – 4,2 % (майже вдвічі швидше за промислове).

Передбачається, що у 2030 р. споживання електроенергії у транспортній галузі зросте на 50 % внаслідок збільшення обсягів вантажних і пасажирських перевезень, викликаних зростанням промислового та сільськогосподарського виробництва, і реального підвищення ВВП на душу населення. Зростання побутового споживання електроенергії населенням до 2030 р. у порівнянні з 2010 р. прогнозується на рівні 55 % (середньорічний темп зростання – 2,2 %). Основний вплив на форму ГЕН надає споживання електричної енергії населенням. Аналіз графіків споживання цієї групи споживачів показує, що найбільша нерівномірність характерна для зимового періоду.

Розглянувши усереднені значення, варто відмітити, що збільшення нерівномірності графіку електричних навантажень населення з роками частково згладжується регулюючими можливостями промисловості. З аналізу існуючих ГЕН видно, що мінімум споживання промисловості співпадає з піковим споживанням населення, що дає компенсуючий регулюючий ефект. Але його не достатньо для повного покриття дефіциту регулюючих потужностей.

Прогнозні оцінки дефіциту маневрених потужностей ОЕС України виконувалися на підставі розрахунків вірогідних ГЕН ОЕС України та аналізу маневрених можливостей генеруючих потужностей за даними Оновленої енергетичної стратегії.

Прогнозування ГЕН виконувалося методом суперпозиції графіків галузевого споживання електричної енергії з використанням репрезентативних ретроспективних даних та ustalених трендів розвитку електроспоживання споживання [8]. В якості базових усереднених значень споживання потужності було обрано значення погодинного навантаження у режимний робочий день 19.12 2007 року та виконано розподіл навантаження за групами споживачів - промисловість, комерційний сектор, населення. Використовуючи прогнозні значення щодо зміни споживання обраними групами споживачів електроенергії за даними витратної частини балансу електричної енергії Оновленої енергетичної стратегії до

2030 року виконано оцінку динаміки зміни як добового споживання електричної енергії, так і приросту саме змінного навантаження.

Розглянуто 3 сценарії розвитку економіки (в контексті впливу на споживання електричної енергії): базовий, який характеризується рівномірним розвитком промисловості і комерційно-побутового споживання, песимістичний, де комерційно-побутове споживання електроенергії суттєво випереджує промисловість, та оптимістичний, де промислове споживання приростає швидше, ніж комерційно-побутове, тим самим ущільнюючи графік електричних навантажень.

Результати розрахунків, наведені на рис. 2 призводять до висновку, що найбільше значення змінної частини ГЕН очікуються у разі реалізації песимістичного сценарію економічного розвитку, який на сьогодні є найближчим до фактичного розвитку. Пояснюється це тим, що за цим сценарієм споживання побутових споживачів та комерційного сектору випереджує споживання промислового сектора, що характеризується відносно стабільним навантаженням.

Нерівномірність добового ГЕН навантажень, як це видно з рис. 2, зростатиме щороку. Вже в 2020 році добовий діапазон змінних навантажень за песимістичним сценарієм може досягти рівня 9000 МВт, а до 2030 року – сягнути 12000 МВт.

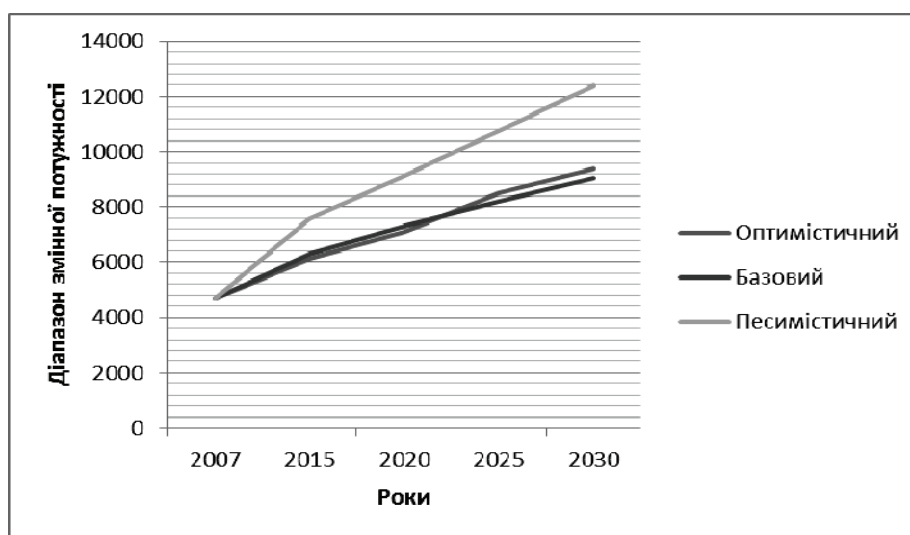


Рис. 2. Динаміка зростання змінної частини ГЕН ОЕС України за різних сценаріїв розвитку економіки

Оптимістичний сценарій розвитку енергосистеми характеризує більш повільний щорічний приріст змінних навантажень через прогнозований активний розвиток промисловості. При загальному збільшенні добових значень навантаження, нерівномірність зростає повільно через компенсуючу властивість промислового споживання. У 2020 році добова різниця між мінімальним та максимальним навантаженням оцінюється у 7000 МВт, а у 2030 році становитиме, за прогнозом, більш ніж 9000 МВт.

Базовий сценарій дослідження базується на даних балансу електричної енергії Оновленої енергетичної стратегії України до 2030 року, де співвідношення ВВП сфери послуг до ВВП промисловості до 2030 р. наблизиться до рівня розвинених країн (сфера послуг складе 70 % ВВП, промисловість близько 21 %, решту 9 % складе сільське господарство). За таких умов прогнозується найменше значення діапазону змінних навантажень, на рівні 9000 МВт у 2030 році.

Безумовно, для покриття такого суттєвого зростання як загального споживання електричної енергії так і окремо змінних навантажень потрібне впровадження нових високоманеврових генеруючих потужностей.

Проаналізувавши прогнозний баланс встановлених потужностей Оновленої енергетичної стратегії України до 2030 року, можна дійти висновку, що планується

побудувати до 7000 МВт нових потужностей ГЕС та ГАЕС, сукупна встановлена потужність об'єктів гідроенергетики сягне при цьому 11 ГВт. Але з урахуванням необхідних протиаварійних резервів, обмежень регулювального діапазону та кліматичних факторів вірогідний наявний регулювальний діапазон ГЕС та ГАЕС слід оцінити рівнем 5200 МВт. Цього може виявитися недостатнім для покриття змінних навантажень навіть за базовим та оптимістичним сценаріями розвитку. Тому для покриття напівпікових та пікових навантажень буде необхідним притягати пилувугільні енергоблоки ТЕС. Хоча встановлену потужність вугільних ТЕС передбачається зберегти на існуючому рівні 20000 МВт, Оновленою енергетичною стратегією планується введення лише 4000 МВт нових енергоблоків з підвищеним регулювальним діапазоном на заміну тим, що відпрацювали свій ресурс. Виходячи з цього, ефективний маневрений діапазон вугільних ТЕС, який дозволяє експлуатацію ТЕС у нормальному режимі без непланових нічних зупинок очікується на рівні 4800 МВт. Таким чином у 2030 році за песимістичним сценарієм залишається дефіцит маневрової потужності в об'ємі 2000 МВт, який досі не запланований до покриття. Структуру покриття змінних навантажень за цим сценарієм представлено на рис. 3.

Окрім того, згідно з Проектом Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року [9], планується введення в експлуатацію вітрових та сонячних електростанцій з встановленою потужністю 2000 МВт у 2015 році та 4 580 МВт – у 2020 році, які характеризуються стохастичністю відпуску електричної енергії, що суттєво впливатиме на стійкість на надійність енергетичної системи. Тому для їх балансування будуть притягатися в якості регулюючих потужностей енергоблоки ГЕС, ГАЕС і можливо ТЕС, що також негативно вплине на покриття змінної частини ГЕН.

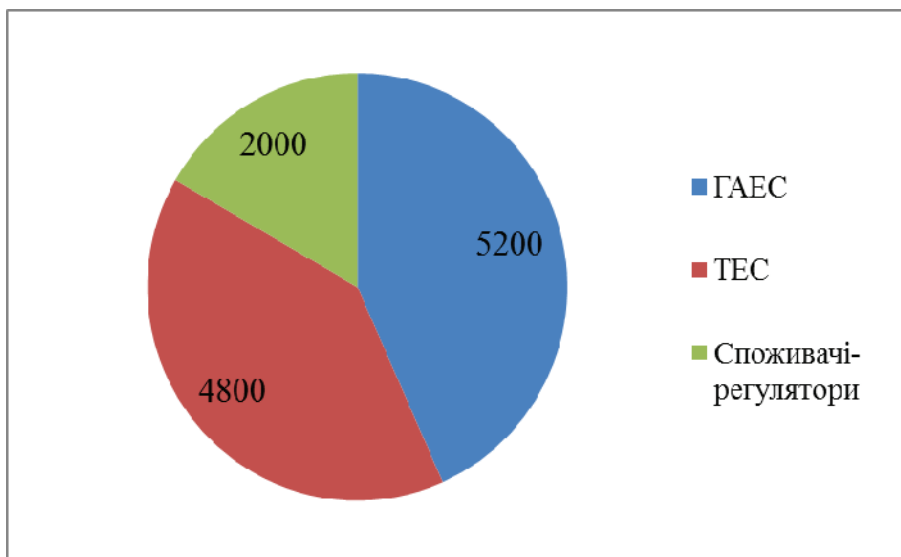


Рис. 3. Структура покриття змінних навантажень ОЕС України за песимістичного сценарію у 2030 році

Таким чином, проведений аналіз дає підстави стверджувати, що зростання нерівномірності ГЕН до 2030 року випереджатиме впровадження маневрових потужностей для його покриття. Слід зважувати також на те, що максимальна потреба у покритті змінних навантажень може співпасти з необхідністю заміщення потужностей ВДЕ (через відсутність вітру та підвищену хмарність) та з суттєвим зниженням температури повітря навколишнього середовища. Даний факт можливо розглядати як передумову для можливого перегляду основних положень Оновленої енергетичної стратегії України до 2030 року в розділі розвитку маневрової генерації у бік приділення більшої уваги впровадженню систем управління навантаженнями енергосистеми. При цьому найбільш ефективним варіантом

регулювання потужності в енергетичній системі України може слугувати використання споживачів-регуляторів на базі теплових насосів[10].

Проведена оцінка необхідних обсягів впровадження регулюючих потужностей підтверджує, що в період з 2015 до 2030 року може знадобитися до 2 ГВт запропонованих теплових насосів-регуляторів. На наступних етапах дослідження планується аналіз та співставлення результатів прогнозування з даними нових редакцій Оновленої енергетичної стратегії України та проекту Плану розвитку Об'єднаної енергетичної системи України на наступні 10 років (редакція від 24.12.2014) в контексті нових трендів, дії кризових явищ та державної політики в економіці та енергетиці.

Висновки

1. Зростання змінних електричних навантажень, спричинене абсолютним і відносним зростанням електричних потреб населення і невиробничих секторів економіки негативно впливає на режими роботи енергосистеми України.

2. Зараз для покриття змінної частини ГЕН ОЕС України окрім ГЕС та ГАЕС використовуються в понад проектних режимах роботи пилувугільні енергоблоки ТЕС, що спричиняє зростання оптової ціни на електричну енергію та передчасне зношення генеруючого устаткування.

3. Проаналізовано вплив різних сценарії розвитку економіки України на конфігурацію графіків електричного навантаження, режими роботи ОЕС та динаміку приросту змінних навантажень.

4. За результатами прогнозування визначено, що змінна частина графіку електричних навантажень ОЕС України на період до 2030 року може скласти від 9 до 12 ГВт, в залежності від особливостей розвитку галузей економіки.

5. Заплановані в Оновленій Енергетичній стратегії України до 2030 року темпи впровадження маневрової генерації не в повній мірі відповідають темпам приросту змінних навантажень, що негативно вплине на майбутню стійкість та надійність ОЕС України. У зв'язку з цим, вважається необхідним передбачити впровадження в енергетичній системі України системи центрально – керованих споживачів регуляторів ГЕН, переважно, на базі теплових насосів змінної потужності з регульовальним діапазоном до 2000 МВт.

Перелік використаної літератури:

1. Чернышов В. М. Анализ динамики и структуры потребления электрической энергии в Украине за 2012 год и за период с 1998 по 2012 года / В. М.Чернышов, В. Д. Плачинда, А. В.Безнос, В. А. Медведев // Электрические сети и системы. – 2013. – № 1. – С. 13–16.

2. Енергетичний баланс України за 2008 рік/Електронний документ/режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/energ/en_bal/En_Bal_2008_u.zip

3. Енергетичний баланс України за 2013 рік / Електронний ресурс/Режим доступу:http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2014/energ/en_bal/Bal_2013_u.zip

4. Чернышов В. М.. Анализ влияния температурных режимов в зимовий та літній період 2012 року на споживання електричної енергії та потужності по Україні та окремих її регіонах / В.М. Чернышов, В.Д. Плачинда, А.В. Безнос, А.Л. Харчук// Энергетика та електрифікація. – № 7. – 2013. – С. 33–39.

5. Lokhov A. Load-following with nuclear power plants [Electronic resource] / A. Lokhov // NEA updates, NEA News. – 2011. – № 29, 2. – P. 18–20. – Available at: \www/URL: [http:// www.oecd-nea.org/nea-news/2011/29-2/nea-news-29-2-loadfollowing-e.pdf](http://www.oecd-nea.org/nea-news/2011/29-2/nea-news-29-2-loadfollowing-e.pdf)

6. Ю. М. Овдієнко / Моделирование режиму маневрування потужністю на другому енергоблоці Хмельницької АЕС / Ю. М. Овдієнко, В. А. Халімончук, А. В. Кучин // Ядерна і радіаційна безпека – 2008. – № 2 – С. 3–11.

7. Оновлена Енергетична стратегія України на період до 2030 року затверджена 24 липня 2013 року Кабінетом Міністрів України

8. Дубовський С. В. Прогнозування графіків електричного навантаження ОЕС України методом суперпозиції графіків річного та добового електроспоживання / С. В. Дубовський, П. П. Кобрін // Проблеми загальної енергетики. – 2002. – № 7. – С. 21–24.

9. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року. Електронний ресурс, режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80/page>

10. Дубовський С. В. Підвищення маневрених можливостей енергетичної системи шляхом впровадження теплових насосів-регуляторів у складі ТЕЦ / С. В. Дубовський, А. П. Левчук, М. Я. Каденський // Проблеми загальної енергетики. – 2013. – Вип. 4. – С. 16–23. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/PZE_2013_4_5.pdf

References:

1. Chernyshov V. M. & Plachinda V. D., Beznos A. V., Medvedev V. A. (2013), Analysis of the dynamics and structure of electric energy consumption in Ukraine at 2012 and for the period from 1998 to 2012 [Analiz dinamiki i strukturyi potrebleniya elektricheskoy energii v Ukrayine za 2012 god i za period s 1998 po 2012 goda], Power systems and grids, no.1, P. 13–16.
2. Energy balance of Ukraine for 2008 [Energetichniy balans Ukrayini za 2008 rik], Available at: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/energ/en_bal/En_Bal_2008_u.zip
3. Energy balance of Ukraine for 2013 [Energetichniy balans Ukrayini za 2013 rik] Available at: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2014/energ/en_bal/Bal_2013_u.zip
4. Chernyshov V. M. & Plachinda V. D., Bezons A.V., Harchuk A. L.,(2013), Analysis of the impact of temperature conditions in winter and summer of the 2012 at the consumption of electric energy and power in Ukraine and its separate regions. [Analiz vplivu temperaturnih rezhimiv u zimoviy ta ltniy period 2012 roku na spozhivannya elektrichnoyi energiyi ta potuzhnosti po Ukrayini ta okremih yiyi regionah., Energy and electrificaitaion №7, pp.33-39
5. Lokhov A., (2011) Load-following with nuclear power plants [Electronic resource] , NEA updates, NEA News. P. 18–20. Available at: \www/URL: [http:// www.oecd-nea.org/nea-news/2011/29-2/nea-news-29-2-loadfollowing-e.pdf](http://www.oecd-nea.org/nea-news/2011/29-2/nea-news-29-2-loadfollowing-e.pdf)
6. Ovdienko Y. M., & Halmonchuk V.A., Kuchin A.V., [Modelyuvannya rezhimu manevruvannya potuzhnisty na drugomu energoblotsi Hmelnitskoyi AES] / Y. M. Ovdienko //Yaderna i radiatsiyna bezpeka – 2008 - #2 – P. 3 – 11.
7. Updated energy strategy of Ukraine up to 2030 [Onovlena Energetichna strategiya Ukrayini na period do 2030 roku zatverdzhena 24 lipnya 2013 roku Kabinetom MinIstriv Ukrayini]
8. Dubovskiy S. V., Kobrin P. P. (2002) Forecasting of UPS of Ukraine load curves using method of annual and day load curves superposition, [Prognozuvannya grafikiv elektrichnogo navantazhennya OES Ukrayini metodom superpozitsiyi grafikiv richnogo ta dobovogo elektrospozhivannya], Problems of general energy, no. 7, P. 21–24.
9. National action plan in renewable energy up to 2020, (2014) [Natsionalniy plan diy z vidnovlyuvanoyi energetiki na period do 2020 roku], Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-r/page>
10. Dubovskiy S.V. & Levchuk A. P., Kadenskiy M. Y., (2013), Increasing of maneurable capability of energy system by implementation heat pumps-regulators to CHP cycle, [Pidvischennya manevrenih mozhlivostey energetichnoyi sistemi shlyahom vprovadzhennya teplovi nasosiv-regulyatoriv u skladі TEC] Problems of general energy, no 4, P. 16–23, Available at: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/PZE_2013_4_5.pdf

Поступила в редакцию 26.05 2015 г.