

6. Zilov E. A. *Ekologicheskoe modelirovanie ekosistem v usloviyah antropogennoy nagruzki: Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora biologicheskikh nauk.* - Irkutsk – 2004. – 314 p.
7. Fursova P.V. *Problemyi okruzhayushey sredyi.* / P.V. Fursova, A.P. Levich - M.: VINITI. - 2002.
8. Kostrikov S.V. *Obschie printsipyi vyibora modeli i hranilisch modelirovaniya vodozaborniyh baseynov.* / Sergey Kostrikov. – K.: Geografiya nauki, 2005. – 479 p.
9. Krasovskiy G.Ya. *Kosmicheskii monitoring bezopasnosti vodnyih ekosistem s primeneniem geoinformatsionnyih tehnologiy.* K.: Intertehnologiya, 2008. – 480 p.
10. Kostrikov S.V. *Modeli gidrologicheskogo rezhima vodozaborov: realizatsiya ih cherez GIS-tehnologii.* K.: Geografiya nauki, 2012. – 7 p.
11. Andrusyak N.S. *Metodika kompleksnoy otsenki ekologicheskogo sostoyaniya vodnyih rekreatsionnyih resursov. Uchenyie zapiski Tavricheskogo natsionalnogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo.* – 7 p.

Т.В. Гребенюк, канд. техн. наук

Ю.В. Лавриненко

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
ПРОГНОЗУВАННЯ ГІДРОХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД**

*В роботі проаналізовані основні фактори, що впливають на зміну інгредієнтів природних водойм. Розглянуто сучасні методи прогнозування гідрохімічного складу поверхневих вод. Визначені основні недоліки існуючих методів математичного моделювання антропогенного впливу на водне середовище. Запропоновано сучасний спосіб комплексної оцінки, заснований на графічному методі складання модель-карт якості водойм.*

**Ключові слова:** прогнозування, гідроекосистеми, математичне моделювання, геоінформаційна модель водозабору, географічна інформаційна система, цифрова модель рельєфа, модель-карта.

Надійшла 28.02.2015

Received 28.02.2015

УДК 621.3

В.І. Василенко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

**СИСТЕМНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ  
ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ З КЕРОВАНИМИ  
НАВАНТАЖЕННЯМИ**

*В статті розглянуто основні фактори, які визначають необхідність суттєвих змін в енергетиці та доцільність перегляду традиційних підходів, принципів та механізмів їх функціонування. Приведені основні елементи стимулюючого регулювання RAB-регулювання. Представлено ценологічний підхід до моделювання прогнозних значень електроспоживання.*

*Визначені питання підвищення енергетичної ефективності, розглянуто енергоекологічні, технічні та енергетичні критерії оптимальності енергетичної системи.*

*Проаналізовано необхідність та особливості реалізації системного підходу до задач оптимізації енергетичної системи. Приведено основні принципи впровадження технології Smart Grid. Порушені питання впровадження мультиагентних систем управління та застосування клієнтоорієнтованого підходу. Представлена загальна математична модель енергетичної системи.*

**Ключові слова:** Smart Grid, інтелектуальні мережі, SET-план, RAB-регулювання, техноценоз, системний підхід, мультиагентна система управління, енергетична ефективність.

В енергетиці, яка характеризується капіталоємністю, складністю технологічних процесів виробництва, передачі, розподілу та реалізації електричної і теплової енергії, високими вимогами якості

та ефективності енергопостачання, на сьогодні постала гостра необхідність системного підходу щодо вирішення актуальних задач проектування, будівництва та експлуатації енергетичних систем[1].

Основною метою сучасного і майбутнього етапу розвитку світового паливно-енергетичного комплексу і його національних частин є збереження сталого розвитку світової економіки за допомогою забезпечення глобальної та регіональної енергетичної безпеки, що виражається в повному задоволенні її потреб в економічно ефективних і екологічно «чистих» енергетичних ресурсах, доступність яких постійно погіршується через не відновлюваний характер відтворення багатьох їх видів, зростання цін на їх видобуток і транспорт, негативного впливу «брудних» енергетичних ресурсів на екологічні та соціальні системи та ін. Сьогодні проводиться переоцінка ролі багатьох сучасних енергетичних технологій виробництва, транспорту, передачі та споживання енергії, особливо електричної енергії як універсального, економічного та екологічно ефективного ресурсу, який, найбільшою мірою, відповідає сучасному інформаційному і майбутньому універсальному укладу життя людства, внаслідок її абсолютної ділимості, миттєвої передачі від виробника до будь-якого споживача, широкого спектру застосування, автоматизації виробничого процесу і прийнятної вартості отримання [2].

Одним з головних завдань інноваційної політики Євросоюзу (ЄС) на сучасному етапі є ліквідація її вертикальної і горизонтальної фрагментації: на макрорівні – шляхом координації національних політик між собою і з ЄС, на мікрорівні – через зближення політики приватного бізнесу з університетами і державним сектором шляхом розвитку мереж і кластерів. Прикладом спроби вирішення цих проблем може служити Європейський план розвитку «нової енергетики» (Strategic Energy Technology Plan) SET–план.

SET–план, прийнятий ЄС в 2008 р, являє собою стратегію європейської кооперації за пріоритетними технологічними напрямками відновлюваних енергоресурсів. Його завдання – прискорення отримання знань, трансферу технології, впровадження нових ідей у галузі альтернативної енергетики та досягнення енергетичних цілей «20-20-20», побудова низьковуглецевої економіки до 2050 р.

Лісабонський Договір, підписаний 13 грудня 2007, встановив наступні цілі ЄС в енергетичній політиці: забезпечення функціонування енергетичного ринку і безпеки енергетичних поставок в ЄС, підтримання енергоефективності та економії енергії та розробка нових, нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (НВДЕ), формування взаємопов'язаних енергетичних мереж.

В основу пріоритетів SET–плану покладено – НВДЕ, енергоефективність та ядерна енергетика. При цьому основний акцент зроблено на пошуки енергоефективних рішень і передбачені колективні дії за основними напрямками: водень і паливні елементи; вітрова енергія; енергія сонця; біопаливо; «розумні мережі» та ін. [3, 4].

Початок XXI століття характеризується бурхливим розвитком техніки, економіки та суспільства, в яких відбуваються кардинальні зміни (розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, зростання чисельності населення планети, глобальна зміна клімату і т.ін.), що впливають, у т.ч. на енергетичну систему, ставлячи до неї все нові й нові вимоги.

Фактори, які визначають доцільність кардинальних перетворень в електроенергетиці, наступні [5]:

- поява і розвиток нових технологій, пристроїв і матеріалів (у тому числі в інших галузях), які застосовуються у сфері електроенергетичного виробництва, та, в першу чергу, наростаючі темпи і масштаби розвитку комп'ютерних та інформаційних технологій;
- розвиток та впровадження технології Smart Grid;
- інтенсивне зростання кількості малих генеруючих (у першу чергу, нетрадиційних та відновлюваних) джерел енергії в світі;
- загальна тенденція до підвищення рівня автоматизації процесів;
- загрозливий рівень зносу обладнання;
- зниження загального рівня надійності електропостачання;
- високий рівень втрат при перетворенні, передачі та розподілі електроенергії;
- необхідність зниження негативного впливу на навколишнє середовище;
- необхідність підвищення рівня енергоефективності та енергозбереження.

При описанні енергетичних процесів в енергетичній системі будемо використовувати наступні визначення.

Технічна енергетична система (ТЕС) – сукупність обладнання і підприємств, що взаємодіють один з одним для виробництва, споживання або перетворення, зберігання, транспортування або обробки енергопродукту.

Енергопродукт – готовий товар, який використовується, головним чином, для виробництва механічної роботи.

Природні ресурси використовуються як входи до ТЕС, тобто сукупність обладнання і підприємств, основними виходами яких є продукти і послуги, але які також виробляють побічні

продукти і викиди. Природні ресурси у вигляді інших енергоносіїв, таких як сонячне випромінювання, енергія припливів, геотермальна енергія, вітер і тепло, також використовуються для прямого перетворення в механічну, теплову або електричну енергію.

Продукти, які є виходами технічної енергетичної системи, є входами в інші технічні енергетичні системи або використовуються для надання послуг. В кінці терміну їх експлуатації вони повторно використовуються всередині техносфери або надходять назад у природне середовище як викиди. Таким чином, входами в техносферу є природні ресурси, а виходами послуги, що надаються суспільству, викиди та експлуатаційні впливи [6].

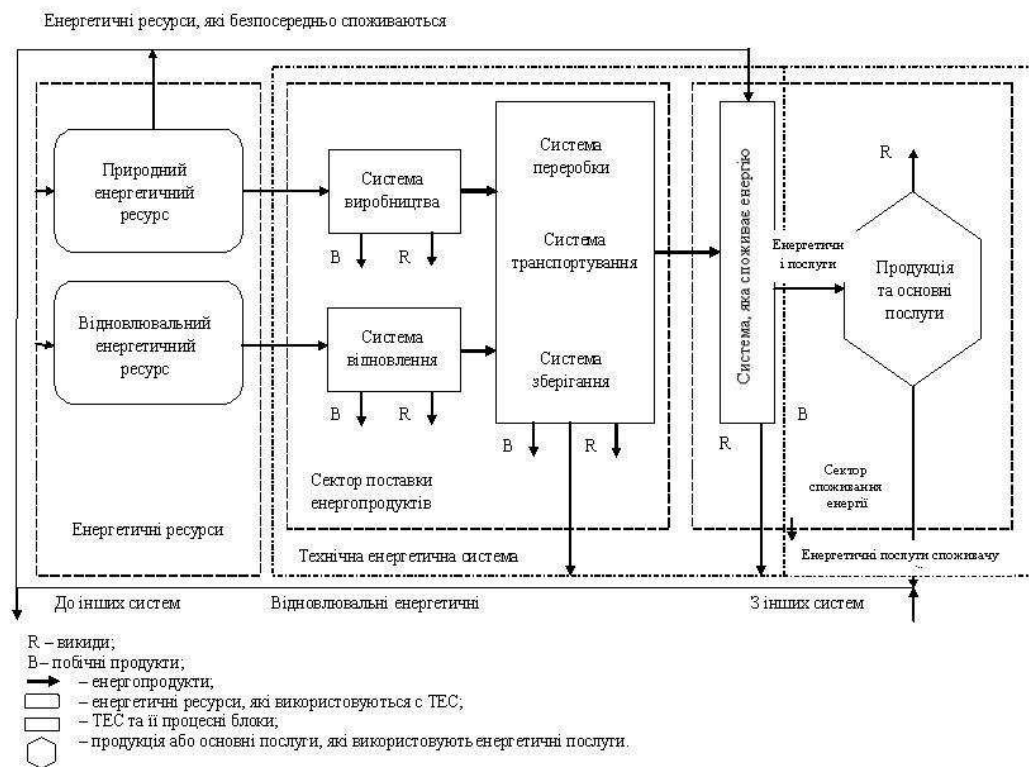


Рис.1 Загальна модель технічної енергетичної системи [7]

Середній час експлуатації розподільчих мереж електроенергетичного сектору складає понад 40 років, досягаючи 60-85% рівня зносу. При цьому, споживання електричної енергії усіма категоріями споживачів зростає із року в рік, проте енергопостачальні компанії не мають необхідних ресурсів, щоб забезпечувати безперебійне, якісне та безпечне електропостачання для споживачів електричної енергії.

Стан мереж та енергетичного обладнання, необхідність в додатковій потужності для споживачів електричної енергії вимагають значних інвестицій, які можуть бути залучені лише за умови впровадження стимулюючого регулювання – загальноприйнятого у міжнародній практиці інструменту, що забезпечує можливість реконструкції мереж та розвиток енергетичної інфраструктури.

Досвід розвинених країн свідчить про високу ефективність стимулюючого регулювання [8]. Наприклад, Великобританії вдалося у 2 рази скоротити витрати розподільчих компаній та тарифи на передачу електроенергії за 15 років. У Румунії знос активів зменшився з 75% до 48% протягом 2004-2011 років.

Стимулююче регулювання (РАВ-регулювання) – це система тарифоутворення на основі довгострокового регулювання тарифів, спрямованого на залучення інвестицій для будівництва та модернізації інфраструктури електричних мереж та стимулювання ефективності витрат електророзподільних компаній.

Стимулююче регулювання передбачає встановлення величини необхідного доходу в залежності від досягнення встановлених показників надійності електропостачання та якості обслуговування споживачів, а також мотивує регульовані компанії до зниження витрат.

Основні елементи стимулюючого регулювання:

1) переоцінка активів з метою встановлення регуляторної бази активів для розрахунку регуляторної амортизації та прибутку;

- 2) встановлення норми прибутку на рівні, достатньому для залучення необхідного обсягу інвестицій;
- 3) покриття обґрунтованих операційних витрат;
- 4) встановлення довгострокових параметрів регулювання (цільових показників якості та надійності).

Головними вигодами впровадження стимулюючого регулювання для енергопередавальних та енергопостачальних компаній є зменшення втручання регулятора в операційну діяльність, збереження вигод (досягнутої економії) внаслідок підвищення ефективності діяльності в розпорядженні компанії і, головне, забезпечення необхідного обсягу фінансування інвестиційних програм шляхом залучення акціонерного та позикового капіталу. Для споживачів електричної енергії та економіки України в цілому впровадження стимулюючого регулювання дозволить забезпечити створення привабливого інвестиційного клімату для залучення приватних інвестицій, підвищення якості та надійності електропостачання та підвищення ефективності операційної діяльності енергкомпаній шляхом зниження неефективних операційних витрат та повернення споживачам частини досягнутої вигоди (економії) у вигляді відповідного зниження тарифів [9].

Для переходу на тарифоутворення за допомогою RAB-регулювання, з метою стримування зростання тарифів стане вельми актуальним якісне управління активами.

Застосування техноценологічного підходу може допомогти в управлінні бізнес-процесами прогнозування енергоспоживання, втрат енергії, технічного обслуговування і ремонтів. Термін «техноценоз» і ценологічний підхід до дослідження складних технічних систем запропоновано Кудріним Б.І. [10], де техноценоз визначається як спільнота всіх виробів, що включає всі популяції, обмежене в просторі та часі. Кудрін Б.І. запропонував використовувати модель  $H$ -розподілу для математичного опису видового і рангового розподілу техноценоз. Дана теорія припускає існування ідеального розподілу елементів ценоза.

Ценологічна теорія знайшла широке застосування в енергетиці для прогнозування електроспоживання. Сучасний великий інфраструктурний об'єкт (підприємство, район, місто, регіон) являє собою техноценоз – сукупність технічних виробів, який самоevolюціонує, взаємопов'язаний слабкими зв'язками особливої природи. Техноценозами не можна керувати такими самими методами, якими керуються технічні вироби (якими б складними і великими вони не були), окремі підрозділи і людські колективи. До техноценозів, повною мірою, не можна застосувати методи макроекономічного планування та прогнозування, які засновані на привнесенні в техноценоз зовнішніх цілей і обмежень без обліку його внутрішніх закономірностей розвитку, які повинні здійснюватися особливими методами [11]. Для опису техноценоз використовуються гіперболічні  $H$ -розподіли. Причому теоретично в даному розподілі відсутня математичне очікування і дисперсія дорівнює нескінченності.

Ключовими поняттями ценологічної теорії можна назвати: ценоз, сімейство виробів (обладнання), елемент-особина, вид, каста Технічний вид – основне поняття класифікації, що служить для вираження відносини між технічними класами при розбитті їх на сімейства і рід. Це структурна одиниця в систематиці виробів: вироби двох різних видів відрізняються кількісною і обов'язково якісною характеристиками; вироби одного виду виготовляють по одній проектно-конструкторській документації. До загальних ознак належать: деяка задана чисельність; тип організації; здатність в процесі роботи і відтворення зберігати якісну визначеність; дискретність; цілісність [12].

Електроспоживання для багатьох підприємств є визначальним (лімітуючим) ресурсом виробництва. Завдання аналізу електроспоживання в часі та його структури стає невіддільною від результату моделювання – прогнозних значень електроспоживання. Проблему прогнозу можна звести до проблеми аналізу динаміки ряду, використовуючи технічний аналіз. Ценологічний підхід до моделювання полягає в тому, що електроспоживання окремого підприємства розглядається не ізольовано, а співвідноситься з іншими. Враховуючи, що величина електроспоживання неперервна, дослідження проводиться в ранговій формі: кожному підприємству присвоюється ранг  $r$  – ціле число в порядку убутання досліджуваного параметра річного електроспоживання особин,  $W_i$ . Ранг  $r = 1$  приписується особини з найбільшим електроспоживанням  $W_1$ .

Електроспоживання об'єкта  $W(x)$  у якості основи для побудови рангового параметричного  $H$ -розподілу визначається, як:

$$W(x) = \frac{W_1}{x^\beta}, \quad (1)$$

де,  $\beta$  – показник, який визначає ступінь крутизни кривої розподілу;  $W_1 = W_{max}(1)$  – константа, за яку приймається максимальне значення найбільш крупного споживача.

Параметри  $H$ -розподілу характеризують ценоз, якісно відображають зв'язки між особинами всередині ценозу та говорять о схожості їх або розбіжності. Параметри (1) залежать від технічних,

інформаційних, соціальних факторів, які визначають положення ценозу на часовій траєкторії розвитку його структури [10].

Енергосистема в майбутньому повинна характеризуватися новими якостями. До цих якостей відноситься гнучкість, спостерігаємість і керованість в реальному часі, можливість підключення великої кількості різномірних пристроїв і підсистем. Для такої енергетики потрібно принципово інша – мультиагентна система керування і відповідна операційна система для її роботи: повністю автоматична, децентралізована, що працює в режимі реального часу, гнучко реагує на обстановку, з самонавчальними і самоорганізуючими, повністю автономними агентами. Створення такої енергетичної системи та реалізація мультиагентного принципу в управлінні енергосистемою є досі невирішеною проблемою.

Мультиагентні системи характеризуються тим, що кожен учасник такої системи керування має агента з набором цілей і пріоритетів, заданих власником, який самостійно реагує на зміну середовища і взаємодіє з іншими агентами для координації дій і спільного прийняття рішень. Мультиагентних систем керування забезпечує: надійне керування при слабких комунікаціях; найкраще врахування специфічних правил і обмежень використання обладнання; полегшене самоналаштування та розвиток систем керування; семантичний підхід до роботи з даними [13].

Проблема енергоефективності є вкрай актуальною для України: попит на енергоресурси зростає, тоді як запаси традиційних видів палива щороку зменшуються. У сфері забезпечення енергоносіями Україна змушена передусім покладатися на їхній імпорт. Одна з основних проблем української енергетики – низка ефективність використання ресурсів.

Енергетична ефективність – максимізація ефективності використання всіх видів ресурсів, технологій та обладнання при виробництві, передачі, розподілі та споживанні енергії [5].

Насправді тема підвищення енергоефективності не нова. Багато хто в економічно розвинених країнах вже знає та розглядає енергоефективність, економію енергоресурсів і скорочення викидів як очевидну умову конкурентоспроможності компаній і наявності доступного та чистого джерела енергозабезпечення у майбутньому.

Підвищення енергоефективності дозволяє країнам долати тиск, який на них чинить залежність від енергоресурсів, вирішувати питання ненадійності енергопостачання, нерівності, високих цін і рахунків за енергоресурси, а також екологічної шкоди і збитків здоров'ю.

Правове регулювання в галузі енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності ґрунтується на наступних принципах:

- 1) ефективно та раціональне використання енергетичних ресурсів;
- 2) підтримка та стимулювання енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності;
- 3) системність і комплексність проведення заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності;
- 4) планування енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності;
- 5) використання енергетичних ресурсів з урахуванням ресурсних, виробничо-технологічних, екологічних і соціальних умов.

Енергоефективність та використання альтернативних джерел енергії – дві головні стратегії багатьох країн щодо скорочення парникових викидів в атмосферу. За версією ООН, енергоефективність здатна вплинути на цей процес швидше і не вимагає таких витрат, як адаптація «зелених» технологій, тому і для коригування нинішньої екологічної ситуації вона відіграє велику роль [14].

На більшості працюючих підприємств використовують не відновлювані джерела енергії: природний газ, нафта, вугілля, сланці, торф, ядерну енергію. Однією з можливостей зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище є заміна частини вуглеводневого палива на НВДЕ, які до нинішнього часу не отримали в Україні значного поширення.

Зростання цін на енергоносії змушує споживачів економічно використовувати енергоресурси, щоб знизити загальні витрати, а також стимулює розвиток нетрадиційної енергетики. Для модернізації економіки України і забезпечення її сталого розвитку слід спрямувати зусилля для формування енергетики з джерел, які будуть надійними, безпечними і прийнятними з точки зору охорони навколишнього середовища [15].

Використання НВДЕ світова спільнота розглядає як один із найбільш перспективних шляхів вирішення зростаючих проблем енергозабезпечення. Наявність невичерпної ресурсної бази та екологічна чистота НВДЕ є визначальними їх перевагами в умовах вичерпання ресурсів органічного палива та зростаючих темпів забруднення довкілля [16].

Основна кількість промислових підприємств України і заводів спроектована і побудована за часів СРСР, при низьких цінах на енергоносії, цілком очевидно, що вихід з ситуації в раціоналізації та вдосконаленні системи енергоспоживання, у розвитку енерго- та ресурсозбереження. Одним із шляхів вирішення цих питань є застосування НВДЕ. При цьому слід зазначити, що кожному джерелу відповідають певні економічні, екологічні, технічні параметри, ризики, вигода і інші чинники, які взаємопов'язані з національними, регіональними та глобальними пріоритетами.

Виробництво енергії є в даний час важливим показником соціального та економічного добробуту. Але, в будь-якому випадку, і виробництво, і споживання енергії пов'язано зі значним впливом на навколишнє середовище, включаючи зміну клімату, вплив на екосистему і здоров'я людини. Причому, вплив енергетики на навколишнє середовище характерно для всіх етапів впровадження її в життя: видобуток, транспортування, конверсія, передача та розподіл, споживання. Тому необхідно приділити увагу енергоекологічним критеріям при рішенні задачі оптимізації системи енергопостачання [15].

Енергоефективність є лише одним аспектом енергозбереження, яке істотно залежить від технологічної витрати електроенергії на її передачу і постачання в розподільних мережах, порушення надійності та якості електропостачання споживачів (технічні критерії оптимальності).

Електричні мережі загального призначення сьогодні знаходяться в незадовільному технічному стані, знос більшої половини близький до 100%, недосконалий моніторинг технічного і прогнозного стану електричних мереж. Якісною електроенергією забезпечується лише 60-65% споживачів. Показник надійності електропостачання характеризується в даний час тривалістю відключень більш ніж 100 годин на рік у розрахунку на одне господарство (на порядок вище, ніж у розвинених країнах). Втрати при передачі електроенергії через зношеність верхнього провідного шару ліній неприпустимо великі і становлять сьогодні 15-20%, а в деяких випадках і до 40%.

Зношеність силового обладнання (ліній електропередачі, трансформаторів та ін.) залежить від терміну служби. За технічним паспортом виявляється обладнання, дата випуску якого перевищує 30 років.

Некомпенсовані перетоки надлишкової реактивної потужності в електричних мережах збільшують втрати активної (реактивної) потужності і напруги. Зниження реактивного навантаження через спад виробництва, нестача кількості та потужності джерел реактивної потужності (ДРП) в електричних мережах енергетичної системи призвели до появи потоків некомпенсованої реактивної потужності, що викликає в електричних мережах додаткові втрати активної електроенергії, особливо в нічний період. Тому слід оцінити достатність кількості, потужності і місця установки ДРП [17].

Отже, врахування всіх зазначених вище факторів і пов'язаних з ними ризиків розвитку електроенергетики в майбутньому вимагає перегляду традиційних підходів, принципів і механізмів їх функціонування, вироблення нових, які здатні забезпечити сталий розвиток, підвищення споживчих властивостей та ефективності використання енергії [5].

Одним з основних напрямків інформаційно-комунікаційних технологій є загальна теорія управління штучними технічними системами, куди включаються і виробничо-економічні системи. Розвиток даної теорії йде за кількома основними напрямками. Сюди включаються теорії складних, адаптивних і оптимальних систем управління. Остання теорія є найважливішою. У ній досліджуються загальні закони і принципи оптимального управління найрізноманітніших штучних і в першу чергу так званих великих систем і на їх основі розробляються програми та алгоритми дії, які б найкращим чином відповідали поставленим цілям управління системою, як в самому найближчому, так і в віддаленому майбутньому.

Методологічною основою оптимального управління штучними технічними є так званий системний підхід, який у якості «робочого інструмента» використовує системний аналіз.

Стосовно завдань оптимізації системний підхід спирається на найважливіше положення про те, що в основі оптимізації всього народного господарства і всіх його частин лежить загальний критерій оптимальності [18, 19].

Розробка системного підходу – це необхідність, зумовлена суттєвим ускладненням задач структурної організації та управління в електроенергетиці в умовах реформування, зростаючого попиту на енергетичні послуги в їх кількісному і якісному вигляді, статусом споживача, який став активним суб'єктом організаційно-господарських відносин, новими вимогами, що висуваються суспільством до концепції інтелектуалізації енергетики – концепції Smart Grid.

Технологія Smart Grid – являє собою систему, яка оптимізує енерговитрати, що дозволяє перерозподіляти електроенергію.

Інтелектуальні мережі – це комплекс технічних засобів, що дозволяє оперативно змінювати характеристики електричної мережі. На технологічному рівні відбувається об'єднання електричних мереж, споживачів і виробників енергії в єдину автоматизовану систему, яка в реальному часі дозволяє відстежувати і контролювати режими роботи всіх учасників процесу [5].

Інтелектуальна мережа є інтелектуальною, саморегульованою системою, здатною приймати і передавати енергію кінцевому споживачеві при мінімальній участі людей. Крім зручності і комфорту головним призначенням такої системи є економія енергоресурсів за рахунок більш рівномірного навантаження енергосистеми.

Кожен суб'єкт мережі отримує більш рівномірно завантажене обладнання, а електромережної компанії не знадобиться вводити додаткові потужності і розширювати інфраструктуру мережі, щоб витримати навантаження в години пік.

Для формування та реалізації інтелектуальних мереж на базі концепції Smart Grid необхідно використовувати системний підхід, що є складним об'єктом управління штучними технічними системами, функціонально пов'язаним з усіма сферами. Системний підхід – це напрям методології, в основі якого лежить розгляд об'єкта як цілісного безлічі елементів в сукупності відносин і зв'язків між ними. При цьому системний підхід є не стільки методом вирішення завдань, скільки методом постановки задач. Правильно поставлена задача має шанси бути вирішеною, це вже одна друга успіху. Основні його принципи: цілісність, ієрархічність будови, структуризація, множинність.

Застосовуючи методологію системного підходу дамо наступне визначення. Інтелектуальні мережі на основі адаптивного керування – це принципово новий підхід до побудови електричних мереж, що зачіпає всі компоненти електроенергетики: генерацію, перетворення, передачу, розподіл, споживання електричної енергії. Він передбачає застосування нових технологій, обладнання, систем автоматизації.

Західні та американські ідеологи розглядають концепцію Smart Grid в тісному зв'язку енергетики з усіма сферами діяльності, у тому числі з позицій соціально економічного, технічного та технологічного розвитку. Найважливішим висновком визнається, що Smart Grid – це платформа інноваційного перетворення електроенергетики та енергетичного комплексу [20].

З впровадженням технології Smart Grid повинні вирішуватися завдання побудови надійної і гнучкої енергетичної інфраструктури, що інтегрує розосереджену та альтернативну генерацію, магістральну і розподільну інфраструктуру, мережі та обладнання споживачів, гібридний транспорт і т.п. При цьому, здійснюється повне інформаційне взаємодія складових компонентів Smart Grid і можливе надання необхідної енергетичної потужності в необхідному місці енергомережі. І важливою особливістю Smart Grid є підтримка двонаправленої взаємодії, як інформаційної, так і електричної [21].

Підхід з на основі впровадження концепції Smart Grid спрямований на забезпечення сталого розвитку енергетичної галузі, при якому перетворення в ній, у першу чергу, повинні розглядатися з позицій створення вигод для зацікавлених сторін, що дозволяє забезпечити їх підтримку і залучити їх в реалізацію перетворень, дозволяючи досягати компромісу між різноспрямованими вимогами та інтересами. Ключова роль серед зацікавлених сторін, у цьому випадку, належить споживачу, що забезпечує, в кінцевому рахунку, оплачуваний їм попит на продукцію та послуги енергосистеми. Вимоги інших зацікавлених сторін переважно досягаються за рахунок створення цінності для споживача, яку формує не власне продукт або послуга, а корисний ефект, що одержується від їх застосування.

В основу реалізації впровадження концепції Smart Grid були покладені такі принципи [5]:

1. Енергетика являється інфраструктурною базою розвитку економіки, в якій зацікавлені всі інститути: держава, бізнес, наука, населення та ін. Товари та послуги, вироблені в галузі, мають високий рівень суспільної значущості і практично не мають замінників.

2. Функціонування енергетичної системи спрямоване на забезпечення оптимізації якості та ефективності використання всіх видів ресурсів (паливних, технічних, управлінських, інформаційних та ін.) і енергетичних активів.

3. У сучасному і майбутньому суспільстві енергія розглядається, як джерело (інструмент або засіб), що забезпечує отримання людиною і суспільством певних споживчих цінностей (життєвих благ, рівня комфорту і т.п.), формуючи необхідний для цього індивідуальний набір продуктів (послуг) галузі для їх задоволення.

4. Визначаючи для себе, з урахуванням компромісу, потреб і можливостей такий набір, рівень і характеристики цих цінностей, споживач (покупець) не повинен стикатися з обмеженнями з боку можливостей функціонування енергетичної системи, вибираючи, де йому жити, якими приладами і послугами користуватися, як здійснювати свою діяльність і т.п.

5. Задоволення потреби в електричній енергії суспільства XXI ст. повинно здійснюватися при одночасному істотному зниженні негативного впливу на навколишнє середовище та ресурсний потенціал планети.

Вироблення і прийняття рішень щодо розвитку і функціонування енергетичної системи здійснюється на основі балансу вимог усіх зацікавлених сторін з урахуванням очікуваних ними вигод і витрат, де споживачеві відведена ключова роль активного учасника і суб'єкта прийняття рішень шляхом самостійного формування своїх вимог до обсягу одержуваної енергії, якості і характеру її споживчих властивостей та енергетично послуг. Концепція Smart Grid передбачає перехід до активного споживача. По суті, споживач стає, з одного боку, активним суб'єктом вироблення і прийняття рішень щодо розвитку і функціонування енергосистеми, а з іншого – об'єктом керування, що забезпечує поряд з іншими реалізацію ключових вимог.

Для споживачів, які приймають рішення щодо використання послуг енергопостачальних організацій та керуються критерієм ефективності та корисності, повинні бути створені всі умови для створення власних генеруючих і акумулюючих потужностей, в першу чергу, екологічно чистих джерел енергії, таких як вітрові, біо- та сонячні електростанції, які розглядаються як ключові в розвитку енергетичної системи майбутнього.

Енергетична система на базі концепції Smart Grid має спростити взаємозв'язок розосередженої генерації і систем акумулювання електроенергії за допомогою створення стандартизованого взаємозв'язку «мережа – генерація», близької до концепції Plug & Play («підключи і працюй»). А також завдяки впровадженню комп'ютерних мереж типу Peer-to-Peer (або P2P), які засновані на принципі рівноправності учасників і характеризуються тим, що їх елементи можуть зв'язуватися між собою, на відміну від традиційної архітектури, коли лише окрема категорія учасників, яка називається серверами може надавати певні сервіси іншим [5, 22].

Поширення розосередженої генерації створить нові виклики для мережі завдяки своїй більш мобільній природі та менш стабільним характеристикам, які здатні породжувати перебої і різкі зниження напруги в мережі. Відповідь на ці виклики може бути отримана за допомогою більш інтенсивного залучення інформації, двосторонньої комунікації, «інтелектуального» контролю та правильної конфігурації розосередженої генерації, зберігання і управління попитом на електроенергію [5].

При оптимізації енергетичної системи враховується система обмежень у формі відповідних рівнянь і нерівностей, які задають можливий діапазон зміни параметрів системи. Точкою дотику всіх систем є кінцевий продукт/послуга споживачеві, який повинен бути наданий на необхідному рівні комфорту (доступність, надійність, якість і т.д.).

В якості критеріїв оптимальності, які ми будемо використовувати при розробці та оптимізації математичної моделі енергетичної системи приймемо розглянуті вище критерії, а саме:

1. Енергоекологічні. Проблема енергозбереження тісно пов'язана з екологічною, оскільки видобуток, переробка та споживання енергоресурсів практично завжди супроводжуються забрудненням навколишнього середовища. При виявленні резервів покращення екологічної ситуації шляхом зниження викидів у процесі спалювання палива можливе виконання умов забезпечення охорони життєдіяльності людини. Це може бути досягнуто при раціональному підборі видів палива за рахунок впровадження досконалих критеріїв вибору енергозберігаючих заходів, використання повномасштабної та часткової підготовки палива до спалювання, впровадження нових технологій, пошуку НВДЕ та використання вторинних ресурсів [4, 23].

Критерії екологічності можна представити у вигляді:

$$E = E_B \times E_{AB}, \quad (2)$$

де  $E_B$  та  $E_{AB}$  – екологічна та абсолютно екологічна безпечність.

Екологічна шкода, яка буде заподіяна середовищу, визначається згідно зі співвідношенням:

$$E_B = 1/E_{AB}, \quad (3)$$

Ще одна умова впровадження енергозберігаючих заходів, яка впливає на екологічність – скорочення споживання енергоресурсів, що має здійснюватися на фоні контрольованої якості. Завдяки цьому викиди шкідливих речовин будуть автоматично скорочуватись.

2. Технічні. До системи технічних критеріїв належать показники якості та надійності енергетичної системи [17]. В якості критерію надійності приймаємо енергетичний баланс фрагмента електричної мережі:

$$\sum_U \sum_t P_{ПС} = \sum_U \sum_t (P_{КВ} + \Delta P), t = \overline{1, n}, \quad (4)$$

де,  $P_{ПС}$  – активна потужність, яка поступає в мережу;  $P_{КВ}$  – корисний відпуск та  $\Delta P$  – втрати потужності в мережах в кожен момент часу  $t$  на всіх класах напруги  $U$ .

Критерієм якості електропостачання приймаємо вірогідність попадання напруги на затискачах найбільш віддаленого споживача в нормований інтервал:

$$P(0,95U_{ном} \leq U \leq 1,05U_{ном}), U = U_a, U_b, U_c, \quad (5)$$

3. Енергетичні. зазвичай відносять ті, що дозволяють визначити обсяги можливої економії палива і енергії, масштабність реалізації енергозберігаючих заходів, а також характеризувати рівень їх ефективності. Це можуть бути питомі витрати енергетичних ресурсів (палива, тепла та електричної енергії) на виробництво продукції, коефіцієнти корисного використання енергоресурсів, показники втрат енергоресурсів, енергоємність основних виробничих фондів, сировина та матеріали тощо.

При вирішенні задачі ефективності критерії можуть переходити в обмеження, та навпаки, обмеження можуть ставати критеріями.

Загальну математичну модель енергетичної системи можна представити у вигляді системи рівнянь, які пов'язують показники виробничого процесу, вхідні та вихідні параметри з іншими параметрами та обмеженнями:

1. Рівняння зв'язку. Описують технологічний процес системи та показують залежність вихідних параметрів системи від інших керованих параметрів стану:

$$B_i(W_i); \forall i \in n, \quad (6)$$

де  $B_i$  – енергетичні ресурси, які поступають на вхід системи: природні та відновлювальні (рис. 1);



$W_i$  – енергія, яка споживається споживачами (енергія на виході з системи).

2. Рівняння обмежень. Ці рівняння показують допустимі границі зміни вхідних та вихідних параметрів системи.

$$W_{i,min} \leq W_i \leq W_{i,max}, \quad (7)$$

3. Рівняння ефективності (цільова функція). В якості цільової функції візьмемо вартісну функцію – вартість використаних енергетичних ресурсів, ця умова відповідає максимуму рентабельності енергетичної системи:

$$F = \sum_{i=1}^n b_i B_i(W_i) \Rightarrow \min, \quad (8)$$

де  $b_i$  – вартість палива [24].

Розроблена математична модель є основою для багатоваріантного аналізу, дослідження, моделювання та оптимізації. Для вирішення поставлених задач можна застосовувати основні методи оптимізації електричної мережі, що враховують динаміку її розвитку і засновані на ідеях динамічного програмування, а саме метод проектування градієнта, метод поконтурної оптимізації, метод віток і границь, застосування динамічного програмування для мережевих оптимізаційних задач, градієнтні методи пошуку оптимальних вихідних станів, а також основні положення системного аналізу, теорії графів, теорії ймовірностей і теорії надійності.

Отже, на сучасному етапі розвитку для енергетики України проблеми енергетичної ефективності, екологічної безпеки та надійності енергопостачання являють вкрай актуальними. Вирішення цих питань потребує комплексного впровадження ряду заходів (застосування стимулюючого регулювання, клієнтоорієнтованого підходу, впровадження мультиагентного керування і ін.) та застосування інноваційних технологій, таких як Smart Grid та інтелектуальних мереж. Також вирішення задач з оптимізації ефективності енергопостачання з врахуванням сучасного розвитку інформаційних та комп'ютерних технологій. Що дозволить враховувати в розрахунках більшу кількість факторів (показників, критеріїв), ускладнювати розрахункові схеми, розвивати комплексні методи рішення.

Запропонована математична модель енергетичної системи з керованими навантаженнями разом із застосуванням системного підходу та вищевказаних методів оптимізації дозволить вирішити питання підвищення енергетичної ефективності енергетичної системи, екологічної безпеки та надійності енергопостачання

#### Список літератури:

1. Поспелов Г.Е., Керного В.В. АСУ и оптимизация режимов энергосистем. Минск, «Вышэйш. школа», 1977. 320 с ил.
2. И.О. Волкова, В.Р. Огороков, Р.В. Огороков, Б.Б. Кобец Концепция интеллектуальных энергосистем и возможности ее реализации в российской электроэнергетике. Открытый семинар «Экономические проблемы энергетического комплекса», Москва, 2011. – 65 с.
3. Шелюбская Н.В. Институциональная основа формирования европейского инновационного пространства (на примере «новой энергетики»). I Международной научно-практической конференции «Перспективы скоординированного социально-экономического развития России и Украины в общеевропейском контексте», 30-31 октября 2012 г. Москва.
4. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Энергобережения – приоритетный напрямок державної політики України. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.
5. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
6. ДСТУ ISO 13600-2001 Системи енергетичні технічні. Основні положення (ISO 13600:1997, IDT)
7. ДСТУ ISO 13601-2001. Системи енергетичні технічні. Структура для аналізу. Сектори постачання та споживання енергопродукту (ISO 13601:1998, IDT)
8. Гагагова С.В. RAB-регулирование тарифов на электроэнергию. Значение для народного хозяйства. <http://www.tmy.mwport.ru/files/2011-3-econ-09.pdf>
9. <http://www.koe.vsei.ua/koe/index.php?page=3>
10. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений. 2-изд. М.:Интернет Инжиниринг, 2006. – 272 с.
11. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов [Монография] / В.И. Гнатюк. – 2-е изд., перераб. и доп. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во КИЦ «Техноценоз»], [2014]. – Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/ind.html>
12. Лесниченко А.Ю. Об устойчивости структуры установленного оборудования в распределительном сетевом комплексе России. Энергоэксперт №3 – 2010. С. 52 – 55.
13. Мультиагентная операционная система управления энергетикой и ее электронные приложения (applets) <http://wiki.energyinsight.ru/wiki>

14. [http://kyivenergo.ua/shco\\_take\\_energoefektivnist](http://kyivenergo.ua/shco_take_energoefektivnist)
15. Ольховская О.И. Энергоэкологические аспекты развития гелиотехники. Интегрированные технологии и энергосбережение. № 4'2004 С. 20 – 24. Энергетика, технологи и энергосбережение.
16. <http://old.niss.gov.ua/Monitor/november08/2.htm>
17. Дерзский В.Г., Скиба В.Ф. Экспертно-моделирующая компьютерная система экспресс-энергоаудита электрических сетей облэнерго <http://www.energyexpert.com.ua/>
18. Арзамасцев Д.А. и др. Модели оптимизации развития энергосистем: Учеб. для электроэнергет. спец. вузов/Д. А.Арзамасцев, А.В. Липес, А.Л. Мызин/Под ред. Д.А. Арзамасцева. – М.: Высш. шк., 1987.-272 с: ил.
19. Introduction of Energy Management System Standard in Ukrainian Industry – UNIDO, 2014. – 59 p.
20. Исследование интеллектуальных электрических сетей как сложных технических комплексов в контексте системного подхода. Бедретдинов Р.Ш., Михайлова Т.Л. <http://www.scienceforum.ru/2013/288/5751>
21. <http://www.rsci.ru/sti/3755/208683.php>
22. <http://uk.wikipedia.org/wiki/Peer-to-peer>
23. Конторович Л.Н., Кирпичевский С.Г. Лингвистическая модель постановки задачи оптимизации трансформаторов с системе ОПТРАН // Методы анализа режимов электроэнергетических систем и установок. – К.: Наук. Думка, 1987. – С.100–106.
24. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем: Учебник для вузов/В.А. Веников, В.Г. Журавлев, Г.А. Филипова. – М.:Энергоиздат, 1981 г. – 464 с., ил.

V. Vasilenko

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

#### SYSTEM EFFICIENCY OF ENERGY SYSTEMS WITH CONTROLLED LOAD

*The article reviews the main factors that determine the need for significant changes in energy and appropriateness of traditional approaches, principles and mechanisms of their functioning. Indicates main elements of incentive regulation RAB–regulation. Presented tsenologycal approach to modeling predictive values of power consumption.*

*Identified areas of energy efficiency is considered enerhoekologycal, technical and energy optimality criteria grid.*

*Analyzes the necessity and especially the implementation of a systematic approach to optimization problems of the energy system. Powered basic principles of implementing technology Smart Grid. Brought up questions implementation of multi-agent systems management and client-application approach. Submitted general mathematical model of the power system.*

**Keywords:** Smart Grid, intelligent networks, SET-plan, RAB-regulation tehnotsenoz, systematic approach, multi-agent system management, energy efficiency.

1. Pospelov G.E., Kernogo V.V. ACS and optimization of energy systems. Minsk, «Vyshjesh. shkola», 1977. 320 s il.
2. I.O. Volkova, V.R. Okorokov, R.V. Okorokov, B.B. Kobec. The concept of smart grid and the possibility of its realization in the Russian power. Otkrytyj seminar «Jekonomicheskie problemy jenergeticheskogo kompleksa», Moskva, 2011. – 65 s.
3. Sheljubsckaja N.V. Institutional framework for the formation of a European innovation space (as example the "new energy").I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Perspektivy skoordinirovannogo social'no-jekonomicheskogo razvitija Rossii i Ukrainy v obshheevropejskom kontekste», 30-31 oktjabrja 2012 g. Moskva.
4. Kovalko M.P., Denisjuk S.P. Energy saving - priority of public policy Ukraine. – Kiiv: UEZ, 1998. – 506 s.
5. Kobec B.B., Volkova I.O. Innovative development of electric power based on the concept of Smart Grid. – М.: IAC Jenergija, 2010. – 208 s.
6. DSTU ISO 13600-2001 Energy systems engineering. The main provisions (ISO 13600:1997, IDT).
7. DSTU ISO 13601-2001. Energy systems engineering. Structure analysis. The sectors of energy supply and consumption (ISO 13601:1998, IDT)
8. Gatagova S.V. RAB-regulation of tariffs for electricity. Importance for the national economy. <http://www.tmy.mwport.ru/files/2011-3-econ-09.pdf>.
9. <http://www.koe.vsei.ua/koe/index.php?page=3>.
10. Kudrin B.I. Power supply of industrial enterprises: uchebnik dlja studentov vysshih uchebnyh zavedenij. 2-izd.M.:Internet Inzhening, 2006. – 272 s.

11. Gnatjuk V.I. Law optimum construction of technocenosis [Monografija] / V.I. Gnatjuk. – 2-e izd., pererab. i dop. – Jelektronnye tekstovye dannye. – Kaliningrad: [Izd-vo KIC «Tehnocenoz»], [2014]. – Rezhim dostupa: <http://gnatukvi.ru/ind.html>.
12. Lesnichenko A.Ju. On the stability of the structure of the equipment installed in the distribution grid complex of Russia. Jenergojeksper №3 – 2010. S. 52 – 55.
13. Multiagent operating system energy management and electronic applications (applets) <http://wiki.energyinsight.ru/wiki>.
14. [http://kyivenergo.ua/shco\\_take\\_energoefektivnist](http://kyivenergo.ua/shco_take_energoefektivnist).
15. Ol'hovskaja O.I. Energy Environmental Aspects of solar technology. Integrated technologies and energy efficiency. № 4'2004 S. 20 – 24. Jenergetika, tehnologi i jenergosberezenie.
16. <http://old.niss.gov.ua/Monitor/november08/2.htm>.
17. Derzskij V.G., Skiba V.F Expert-modeling computer system express the energy audit of electrical networks oblenergos <http://www.energyexpert.com.ua/>.
18. Arzamascev D.A. i dr. Optimization Model of Power Systems: Ucheb. dlja jelektrojenerget. spec. vuzov/D. A.Arzamascev, A.V. Lipes, A.L. Myzin/Pod red. D.A. Arzamasceva. – M.: Vyssh. shk., 1987.-272 s: il.
19. Introduction of Energy Management System Standard in Ukrainian Industry – UNIDO, 2014. – 59 p.
20. Issledovanie intellektual'nyh jelektricheskikh setej kak slozhnyh tehnicheskikh kompleksov v kontekste sistemnogo podhoda. Bedretdinov R.Sh., Mihajlova T.L. <http://www.scienceforum.ru/2013/288/5751>.
21. <http://www.rsci.ru/sti/3755/208683.php>.
22. <http://uk.wikipedia.org/wiki/Peer-to-peer>.
23. Kontorovich L.N., Kirpichevskij S.G. Linguistic model posing the problem of optimizing the system transformers OPTRAN // Methods of analysis modes elektroenergeticheskikh systems and installations. – K.: Nauk. Dumka, 1987. – S.100–106.
24. Optimization of modes of power plants and power systems / V.A. Venikov, V.G. Zhuravlev, G.A. Filipova. – M.:Jenergoizdat, 1981 g. – 464 s., il.

УДК 621.3

**В.И. Василенко**

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
СИСТЕМНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
СИСТЕМЫ С УПРАВЛЯЕМОЙ НАГРУЗКОЙ**

*В статье рассмотрены основные факторы, которые определяют необходимость существенных изменений в энергетике и целесообразность пересмотра традиционных подходов, принципов и механизмов их функционирования. Приведены основные элементы стимулирующего регулирования RAB–регулирования. Представлен ценологичный подход к моделированию прогнозных значений электропотребления.*

*Определены вопросы повышения энергетической эффективности, рассмотрены энергоэкологические, технические и энергетические критерии оптимальности энергетической системы.*

*Проанализированы необходимость и особенности реализации системного подхода к задачам оптимизации энергетической системы. Приведены основные принципы внедрения технологии Smart Grid. Затронуты вопросы внедрения мультиагентных систем управления и применения клиентоориентированного подхода. Представлена общая математическая модель энергетической системы.*

**Ключевые слова:** Smart Grid, интеллектуальные сети, SET–план, RAB–регулирование, техноценоз, системный подход, мультиагентная система управления, энергетическая эффективность.

Надійшла 17.01.2015

Received 17.01.2015

# ЕКОЛОГІЯ ECOLOGY

УДК 621.316.5:621.762:621.315.5

В. О. Кохановський, канд. техн. наук, доцент  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## ПІДВИЩЕННЯ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ КОНТАКТІВ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ

*У статті обґрунтовано методи створення екологічно безпечного композиційного контактного матеріалу з підвищеною електроерозійною стійкістю для комутаційних апаратів. Ресурс експлуатації, надійність та екологічність апаратів покращується за рахунок використання в них нових розроблених контактних матеріалів на основі срібла.*

*Для визначення типу домішок, що покращують експлуатаційні характеристики контактного матеріалу, було проведено їх дослідження за характером впливу на контактні властивості матеріалу та обґрунтовано вибір визначених інгредієнтів, згідно з науковими принципами структуроутворення композиційних матеріалів.*

*Порівняльне експериментальне дослідження комутаційних апаратів із серійними і дослідними контактними матеріалами на комутаційну зносостійкість показало, що електроерозійна стійкість дослідних контакт-деталей в 1,8..2 рази вища, ніж у серійних.*

**Ключові слова:** комутаційний апарат, контактний матеріал, контакт-деталь, комутаційна зносостійкість, електрична ерозія.

### Вступ.

У вітчизняних електричних комутаційних апаратах широко застосовують металокерамічні контактні накладки марки КМК-А10м, які містять у своєму складі оксид кадмію (CdO), завдяки якому суттєво збільшується електрична зносостійкість контактів [1]. При цьому слід ураховувати, що оксид кадмію є токсичним, та під дією електричної дуги, яка виникає в міжконтактному проміжку комутаційного апарату в процесі комутації, розкладається на кадмій та кисень й потрапляє до навколишнього середовища.

Державні санітарні правила та норми України (ДСанПіН 2.2.7. 029-99) відносять кадмій та його сполуки до першого класу токсичних речовин, які небезпечні для здоров'я людини. У цих же правилах зазначається, що оксид кадмію може шкідливо впливати на бронхолегеневу систему, шкіру та підшкірну клітковину, нервову систему, обмін речовин, кровотворну систему та інше. [2]

Також цей матеріал потрапив у перелік матеріалів не рекомендованих до застосування Директивою Ради Європейського Союзу 2002/96/ЄС (RoHS directive – Restriction of Hazardous Substances), яка обмежує використання шести речовин (серед яких ртуть, свинець і кадмій) в новому електричному і електронному устаткуванні після 1 липня 2006 року на території Європейського Союзу. Мета директиви – обмежити застосування небезпечних речовин для забезпечення захисту здоров'я людей і навколишнього середовища. [3]

Директива RoHS поширює свою дію не тільки на територію ЄС, але і на тих виробників електронного і електричного устаткування продукція яких призначена для країн ЄС.

При виготовленні електричних апаратів приблизно 65 % вартості матеріалів складають контакти на основі срібла. На даний час 25 % світового виробництва срібла витрачається на потреби електроніки й електротехніки, причому 70..80 % його вигорає під дією електричної дуги. Оскільки Україна не має достатніх сировинних ресурсів щодо виробництва цього металу, стає зрозумілою необхідність створення матеріалів, які економлять срібло й одночасно мають належні технічні та екологічні характеристики.

Численні дослідження (див. бібліографію в [4]), проведені науковцями у різних країнах, показали можливість застосування в електричних контактах замість оксиду кадмію оксидів інших металів, серед яких особливу увагу дослідників привертає оксид олова.

Композиції срібла з кількістю оксиду олова (SnO<sub>2</sub>) 8, 10, 12% маси в останні роки знаходять все більш широке застосування як контактні матеріали для низьковольтних комутаційних апаратів.[5]

Оксид олова – не токсичний, підвищує твердість композиційного матеріалу порівняно з