

УДК 621.31

СТАСЮК О. І., д.т.н., професор (ДЕТУТ),

ГОНЧАРОВА Л. Л., к.т.н., доцент (ДЕТУТ),

МАКСИМЧУК В. Ф., начальник Головного управління електрифікації та електропостачання  
Укрзалізниці

## Методи організації інтелектуальних електричних мереж залізниць на основі концепції SMART Grid

*Розглянуті сучасні тенденції організації інтелектуальних тягових електричних мереж залізниць на базі сучасної SMART Grid – технології. Показані шляхи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування тягових мереж, розглянута модель інтелектуальної електричної мережі і узагальнена структура інтелектуальної електричної мережі сформованої в результат взаємної інтеграції архітектури тягової мережі електропостачання і комп'ютерної інформаційної архітектури керування.*

**Ключові слова:** інтелектуальної електричної мережі, інтелектуальні технології, модель, SMART Grid, електропостачанням на тягу, обчислювальна архітектура, інфраструктура керування.

### Постановка проблеми

Енергетика стала тим сегментом економіки, що забезпечує функціонування широкого спектру галузей народного господарства, домінуючим серед яких є залізничний транспорт, підвищення рівня безпеки руху якого можливо шляхом організації високої надійності і якості функціонування тягових електричних мереж і силового електричного обладнання тягових підстанцій в процесі виробництва, передачі й споживання електроенергії залізницями [1, 4]. В умовах ринку електроенергії, до електротехнічної галузі висувається ряд підвищених вимог ефективна реалізація яких суттєво залежить, в першу чергу, від організації точності і синхронності виконання процедур вимірів у різних точках і сегментах тягової електричної мережі. Розглядаючи через призму фізичного та морального старіння електротехнічного обладнання тягових підстанцій, що знаходиться в експлуатації можна виявити ряд негативних впливів не тільки на економічність режимів і, відповідно, збільшення споживання електроенергії, а в деяких випадках і на погіршення надійності функціонування тягової енергосистеми, що значно збільшує аварійність та суттєво зменшує рівень безпеки руху. Ряд особливостей систем постачання електроенергії на тягу таких як велика нерівномірність і «рухомість» навантажень, труднощі захисту від короткого замикання, несинусоїдальність і несиметрія струмів, перешкоди на лініях передачі інформації також істотно впливають на розвиток системних аварій, що може привести до багатомільйонних економічних втрат.

Процес реабілітації і оновлення силового електричного обладнання електричного господарства залізниць вимагає істотного фінансування та багаторічної роботи, в зв'язку з цим проблема забезпечення надійності та якості функціонування залізничного транспорту, при незначних інвестиціях, можуть бути розв'язані «практично безальтернативно» шляхом комп'ютеризації і, на її базі, інтелектуалізації технологічних процесів постачання електроенергії на тягу. Природним рішенням цієї проблеми є організація інтелектуальних електричних мереж залізниць на основі проведення досліджень спільних властивостей математичних моделей, методів, комп'ютерно-орієнтованих алгоритмів і архітектур розподілених комп'ютерних систем керування електропостачанням на тягу для забезпечення надійності та якості функціонування тягових мереж, покращення безпеки руху і мінімізації електроспоживання. Найважливішими питаннями в цьому плані є інтелектуалізація режимів функціонування та процедур управління тяговими електричними мережами залізниць на основі сучасних комп'ютерних систем і розподілених мережевих технологій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що напрям наукових досліджень, пов'язаний з «інтелектуалізацією» енергетики, на сьогоднішній день став загальноновизнаним у світі, домінуючим при цьому є SMART Grid - технологія [1 - 5]. Поняття SMART – Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology - означає, по суті, самоконтролюючу, аналізуючу і звітуючу технологію, орієнтовану для управління бистроплинними технологічними процесами постачання електроенергії і організовану на основі принципів самовідновлення і саморегуляції з

керуванням в реальному часі єдиною інтегрованою розподіленою інформаційно-керуючою мережею [6-8]. Нова модель інтелектуалізації електричних мереж передбачає сукупність організаційних, наукових і технічних рішень у галузі інформаційних і мережевих технологій, автоматизованих систем керування процесами електропостачання та диспетчерського - ситуаційного управління з метою оптимізації витрат, дотримання умов надійності і якості електроенергії, а також суттєвого розширення ринкових можливостей інтелектуальної електричної мережі шляхом взаємного надання широкого спектру послуг між суб'єктами ринку і інфраструктурою електричної системи залізниць [9, 10].

### **Виділення не розв'язаної раніше частини загальної проблеми**

Концепція інноваційного перетворення тягових електричних мереж залізниць передбачає створення єдиної інформаційної моделі яка забезпечує глибоку взаємну інтеграцію електромережевої та інформаційної комп'ютерної інфраструктури управління для організації всережимної системи керування з повномасштабним інформаційним забезпеченням, зміни в реальному часі параметрів і топології тягової електричної мережі за поточними режимними умовами, оптимізації планування мережі, регулювання навантаження, безперервного моніторингу, обліку та аналізу виникнення і розвиток техпорушень, розширення ринкових можливостей і, на їх базі, формування культури споживання та стимулювання економічного розвитку. Організована таким чином інтелектуальна електроенергетична система залізниць представляє собою якісно нову сукупність взаємно - інтегрованих електричних тягових мереж і розподілених комп'ютерних засобів та технологій керування ними, споживачів, генеруючих потужностей та засобів захисту, об'єднаних на основі сучасних принципів єдиного інформаційного простору, саморегулювання, самовідновлення, принципу підтримки єдиної моделі первинних даних, принципу синхронної інформаційної взаємодії. На основі аналізу еволюції розвитку електричних мереж і автоматизованих систем управління ними можна заключити, що високий рівень інтеграції електричних тягових мереж залізниць і комп'ютерних інформаційно-керуючих систем можливий тільки завдяки проведенню циклу досліджень спільних властивостей математичних моделей, комп'ютерно - орієнтованих методів, обчислювальних алгоритмів і спектру архітектур обчислювальних систем управління мережами адекватних топологіям тягових систем [5-9]. Такий підхід спільно з застосуванням новітніх комп'ютерних і інформаційних технологій відкриває можливість накопичувати в електроенергетиці нові «знання», що дозволяють різко підвищити

ефективність функціонування тягової електричної мережі, забезпечити інтелектуальний облік електроенергії по комерційним диференційованим тарифам, оптимізувати загальносистемні витрати, реалізувати інтегральну тарифікацію, розширити спектр ринкових послуг, оптимізувати функціонування тягових мереж шляхом зміни в реальному часі їх топологій, забезпечити оперативне і стратегічне керування на основі сучасних методів інтелектуалізації та ситуаційного моделювання, а також організувати технічне обслуговування і ремонт за станом.

### **Мета роботи**

Розробка методів організації інтелектуальних електричних мереж залізниць на основі концепції SMART Grid для забезпечення можливості саморегуляції і самовідновлення в реальному часі тягових електричних мереж шляхом зміни їх параметрів і топології за поточними режимними умовами, оптимізації планування мережі електропостачання, регулювання навантаження, розширення ринкових можливостей і, на їх базі, формування культури споживання та стимулювання економічного розвитку. Така організація інтелектуальних електричних мереж залізниць дозволить значно збільшитися рівень безпеки руху залізничного транспорту завдяки покращенню якості і надійності електропостачання, а також зменшити загальносистемні витрати електроенергії.

### **Основний матеріал дослідження**

Високий рівень складності мереж постачання електроенергії на тягу залізниць, значний набір силових електричних компонентів і можливості їхнього функціонування в широкому спектрі частот, а також динаміка зміни режимів електропостачання сприяли появі великої кількості підходів, способів, прийомів, технічних засобів, комп'ютерних сегментів і мережевих технологій рішення сукупності задач керування електричним господарством залізничного транспорту [1-5]. Цей факт підтверджується в першу чергу досягненнями в сфері сучасних комп'ютерних, Інтернет і розподілених мережевих та інформаційних технологій включаючи досвід експлуатації інформаційно - керуючих систем електропостачання організованих на базі мікропроцесорних пристроїв і компонентів силової електроніки, а також, що дуже важливо, розвитком ринкових відносин в енергобізнесі. Якісно новий рівень в ефективності енергоспоживання на тягу став передумовою розвитку нового виду залізничної енергетики - інтелектуальної. Тому концепція «розумної ефективності» енергоспоживання залізниць набуває широкого розвитку завдяки тому, що в ній відображається інтелектуальна взаємодія ціноутворення, технологічних процесів електропостачання та

ефективності використання ресурсів. Постає нагальна проблема переходу до електроенергетичних систем нового покоління з сучасними якостями: керування в реальному часі попитом електроспоживання залізницями; організації інтелектуального комерційного обліку і управління процесом перевезень на основі почасових диференційованих тарифів за зонами доби; розвитком технологій розсердженої рекуперативної і накопичення електроенергії. Інтелектуальна енергетика при організації перевізного процесу стала вектором енергетичної політики залізничного транспорту. Концепція інноваційного перетворення тягової електроенергетичної системи залізниць передбачає створення самовідновлювального та саморегульованого комплексу гармонійно-інтегрованого з розподіленою багаторівневою комп'ютерною інфраструктурою керування, що охоплює всі суб'єкти ринку електроенергії: генеруючі потужності; збутові компанії; мережі передачі електроенергії та споживачів. Ключеві цілі при організації інтелектуальних тягових мереж це - енергетична безпека, екологічна стійкість та постійне зростання економічної ефективності електроспоживання. Оцінка рівня «інтелектуалізації» технологічних процесів постачання електроенергії на тягу можлива на основі загально визнаних у світі концепцій Smart Grid, що відображає можливості інтелектуальної електроенергетики такі як забезпечення повсюдно двостороннього потоку електричної енергії і керуючої інформації між дистанціями електропостачання, тяговими підстанціями та силовими пристроями в реальному часі на основі розсерджених обчислень і комунікацій, а також організації розрахунку миттєвого балансу попиту, пропозиції електропостачання в довільній точці тягової мережі [6-8]. За рахунок застосування новітніх технологій, принципів організації і сучасних методів керування відкрилась можливість наповнювати електроенергетику залізниць новими «знаннями», що дозволяє різко підвищити ефективність функціонування мереж постачання електроенергії на тягу.

Для залізниць України доцільно говорити про формування відповідної моделі Smart Grid, що відображає спектр можливостей інтелектуалізації електроенергетики виходячи з особливостей постачання електроенергії залізницям з врахуванням, обмежень і специфіки споживання. Модель інтелектуальної тягової електричної мережі залізничного транспорту яка базується на концепції SMART Grid може бути реалізована шляхом формування технологічного базису, тобто необхідної сукупності інтелектуальних технологій як показано на рис. 1. Організація технологічного базису SMART Grid вимагає, в першу чергу, відмови від традиційних ієрархічних архітектур систем автоматизації

електропостачання та переходу до розподілених комп'ютерних обчислень та мережеских і інформаційних технологій, в яких інтелектуальні компоненти і пристрої керування взаємодіють як на горизонтальному, так і на вертикальному рівнях, а також характеризуються наявністю елементів штучного інтелекту завдяки чому дозволяється певна автономність при прийнятті рішень. На сучасному етапі розробники комп'ютерних систем і мереж управління електропостачанням основну увагу приділяють, як правило, технічному та програмному забезпеченню, а не постановці і рішенням математичних задач системного аналізу процесів, що протікають в тяговій електричній мережі і якості електропостачання та режимів функціонування. Тому головною задачею при синтезі розподілених комп'ютерних мереж і інформаційних технологій є організація єдиного інформаційного простору перинної інформації, що відображає режими функціонування тягової електричної мережі сформованого з єдиних загальносистемних позицій на основі систематичного виконання процедур синхронного виміру первинних даних в різних точках та сегментах системи електропостачання. Реєстрація первинних даних та формування їх відповідним чином можливо завдяки застосуванню ідеології комплексної вимірювальної інфраструктури яка забезпечує збір, аналіз та формування даних з інтелектуальних сучасних мікропроцесорних і комп'ютерних компонентів організованих у вигляді розподілених мереж, що відображають архітектуру тягової електричної мережі. Єдиний інформаційний простір первинної інформації є основою інтелектуалізації тягових мереж електропостачання, що відкриває можливість реалізувати глибоку інтеграцію інфраструктур електромережевого комплексу постачання та розподіленої комп'ютерної системи керування.

Таким чином, організація технологічного базису SMART Grid тягових електричних мереж залізниць представляється у вигляді розподіленої комп'ютерної інфраструктури керування електропостачанням (рис.1) для моделювання необхідної сукупності інтелектуальних технологій, що забезпечують високу ефективність, якість і надійність електроспоживання включаючи інтелектуальний електричний сервіс. В першу чергу реалізується технологія інтелектуального обліку електроенергії по комерційним тарифам диференційованим за зонами доби з дискретністю одна година, що відповідає вимогам ринку електроенергії.

Подібний комерційний облік є дуже важливим для залізничного транспорту тому, що відкривається можливість мінімізувати комерційну вартість спожитої електроенергії на тягу. Завдяки диференційованим тарифам і проведенню процедур мінімізації вартість спожитої електроенергії при тих же об'ємах перевозок і кількості спожитої електроенергії буде значно

нижчою. Для покращення ефективності електроспоживання застосовуються сучасні технології компенсації реактивної потужності, проводиться

моніторинг навколишнього середовища і на їх базі формується ряд процедур інтелектуалізації процесів управління.

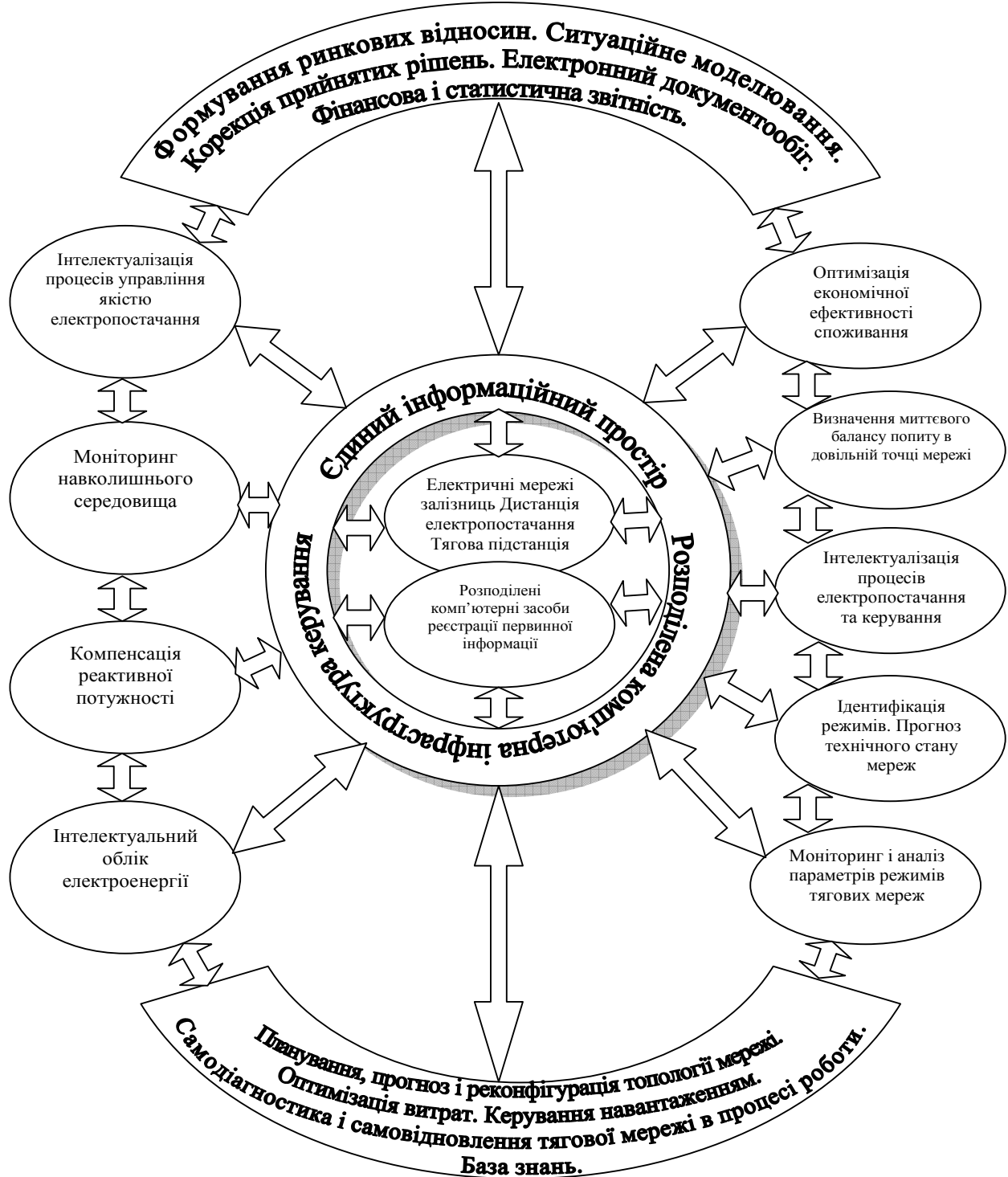


Рис. 1. Модель інтелектуалізації електричних мереж залізниць на основі концепції SMART Grid

Дуже важливим компонентом функціонування інтелектуальної мережі є організація процесів оптимізації витрат електроенергії які базуються на плануванні топології тягової мережі шляхом реконфігурації її архітектури в реальному часі, що відкриває можливість керування регульованим навантаженням в процесі енергоспоживання завдяки проведенню безперервного моніторингу і аналізу параметрів режимів електричних мереж і силових об'єктів тягових підстанцій. В процесі функціонування інтелектуальної мережі електропостачання на тягу виконується ряд процедур і технологій, пов'язаних з ідентифікацією штатних і нештатних режимів електричних систем, реалізується прогноз їх технічного стану, інтелектуалізація процедур керування електропостачанням і визначення, в довільній точці мережу, миттєвого балансу, що є основою при виконанні інтелектуальною мережею в реальному часі самодіагностики і самовідновлення. Домінуючим фактором на сьогоднішньому етапі є також організація інтелектуального клієнтоорієнтованого електричного сервісу на основі сучасних інформаційних технологій і розвиваючих систем торгівлі споживанням електричної енергії. Тому дуже важливим є формування, на основі інтелектуальних мережах, сучасних ринкових відношень і культури споживання, реалізації перспективних методів електронного документообороту і на його базі електронної фінансової і статистичної звітності, а також представлення результатів функціонування мережі на електронних носіях. Інноваційні перетворення систем постачання електроенергії залізничному транспорту обумовлені факторами технологічного прогресу, динаміки ринку, зростанням потреб споживачів та значним підвищенням вимог у сфері енергоефективності, екологічної безпеки та безпеки руху. Як наслідок інноваційних перетворень в енергосистемах залізниць реалізується трансформація «розумної ефективності» як лінії: інтелектуальна тягова підстанція; інтелектуальна дистанція електропостачання; інтелектуальна мережа залізниці; інтелектуальна енергосистема Укрзалізниці.

**Інтелектуальна тягова підстанція.** В основі ідеології - *інтелектуальна тягова підстанція* - покладено технологію комплексної виміральної інфраструктури яка забезпечує реєстрацію, збір та аналіз первинної інформації з інтелектуальних датчиків та приладів комерційного обліку синхронно за часом в різних точках електромережі і організації первинних даних з єдиних загальносистемних позицій на основі багатотарифних зон оплати. До ключових технологічних інструментів інтелектуальної тягової підстанції належить інтелектуальне силове обладнання з вбудованими мікроконтролерами, силова електроніка, напівпровідникові трансформатори з

комп'ютерним чіпом і ізолюючі пристрої, вбудовані контролери, нове покоління безпроводних мереж датчиків, віддалені термінальні пристрої, можливий набір засобів акумуляування електроенергії на основі явищ надпровідності та суперконденсаторів, системи моніторингу, комутації, діагностики та електромагнітної сумісності, пристрої регулювання напруги та потоків потужності, а також системи захисту електричної мережі від перевантажень.

**Інтелектуальна дистанція електропостачання.** В основі ідеології - *інтелектуальна дистанція електропостачання* - покладено клієнтоорієнтовану архітектуру розподіленої комп'ютерної автоматизованої системи орієнтованої для роботи з групою інтелектуальних тягових підстанцій, постачальниками електроенергії і сукупністю споживачів електроенергії на тягу в рамках дистанції залізниці на рівні одного або декількох обленерго. Сучасна інтелектуальна дистанція електропостачання містить такі складові, що відкривають можливість організації віддаленого керування, контролю і «ковзкого» моніторингу функціонування електромережі дистанції, часткової автоматизацією зміни її структури для забезпечення оптимального електропостачання, самовідновлення та самодіагностики силового електричного обладнання. Розподілена комп'ютерна система автоматизації інтелектуальної дистанції електропостачання дозволяє також управляти потоками електроенергії, керувати якістю використання електроенергії, забезпечує, що дуже важливо, інтелектуальний електричний сервіс в сфері взаємовідносин між ринком електроенергії, обленерго і сегментами мережі електроспоживання, а також компенсацію реактивної потужності.

**Інтелектуальна мережа залізниці.** В основі ідеології - *інтелектуальна мережа окремої залізниці* – покладено сукупність взаємоінтегрованих технологій у вигляді комунікаційної об'єкт - орієнтованої та клієнто - орієнтованої архітектури що відповідає вимогам сучасних бізнес процесів. Формування моделей мереж різного ієрархічного рівня і комплексу технологій управління енергозабезпеченням на рівні залізниці відкриває можливість організувати всесистемний моніторинг електричних мереж і силового обладнання інтелектуальних тягових підстанцій, керувати незбалансованими потоками потужності з метою організації процедур енергозбереження, організувати дистанційний комп'ютерний контроль і керування ресурсами всіх компонентів залізниці, та організувати безпеку і конфіденційність ІТ- системи. Об'єднання інформаційних технологій, формування баз знань і інтегрування процесів керування ресурсами, а також використання динамічних даних з системних позицій і програмно-апаратних додатків в інтелектуальній мережі залізниці дозволяє організувати двонаправлений зв'язок з споживачами, усунути

всілякі загрози цілісності, конфіденційності даних та бізнес-процесів, знизити ризик неадекватного вибору цілей і стратегій в процесі інноваційних перетворень, та підвищити ступінь довіри електропостачальників і споживачів.

**Інтелектуальна енергосистема Укрзалізниці.** В основі ідеології – *інтелектуальна енергосистема Укрзалізниці* – покладено концепцію інноваційного перетворення електричного господарства Укрзалізниці шляхом інтеграції інтелектуальних мереж окремих залізниць змінного і постійного струмів і створення інтелектуальної платформи для формування балануючого ринку, організації керування енергетичним портфелем, забезпечення міжнародних стандартів, впровадження технологій функціональної сумісності, динамічного ціноутворення, розвиток хмарних технологій керування попитом, а також формування напрямків розвитку всіх елементів енергосистеми як розподіл, споживання, збут, та диспетчеризація. Інтелектуальна енергосистема Укрзалізниці є повністю інтегрована, саморегульована та самовідновлювальна система, що має мережеву технологію і включає джерела постачання електроенергії, розподілені інтелектуальні мережі залізниць, мережі інтелектуальних тягових підстанцій і інтелектуальних мереж дистанцій електропостачання та всі види споживачів які керуються єдиною комп'ютерною інфраструктурою інтегрованою в інфраструктуру системи електропостачання. Використовувати нових технологій розосередженої автоматизації відкриває можливість створення сучасної мультиагентної системи розподіленого прийняття рішень, що базуються на консенсусі та механізмах голосування, підвищити ефективність енергоспоживання Укрзалізниці та знизити пікові навантаження.

Подібні інноваційні перетворення відкривають можливість реалізувати глибоку взаємointegraцію інфраструктур електромережевої і розподіленої комп'ютерної інфраструктури управління і тим самим створити інтелектуальні мережі залізниць спроможні розв'язання усього спектру задач пов'язаних з керуванням електроенергетичним господарство. В процесі рішення, в реальному часі, указанного спектру задач вимоги до термінів, точності та синхронності вимірів одержання інформації в різних сегментах тягової мережі залізниць залежать як від рівня часової декомпозиції процесу керування, так і від специфіки конкретних задач. Найбільш жорсткі вимоги, в цьому плані, стосуються забезпечення розв'язання задач рівня автоматичного керування, тобто перш за все, задач комп'ютерного моніторингу параметрів режимів тягових мереж, інтелектуального обліку електроенергії, що споживається на тягу, мікропроцесорного захисту та протиаварійної автоматики. При такій організації багаторівнева

розподілена комп'ютерна інфраструктура управління адекватно відображає топологію структури тягової мережі і орієнтована на розв'язання комплексу задач підвищеної інтелектуальної складності і розмірності та представлення на всі рівні управління різнобічної інформації, основним джерелом надходження якої є технологічні процеси і події, які безпосередньо відбуваються в електричних тягових мережах та об'єктах. Це потребує, як мінімум, повноти інформації, а в деяких випадках певної її надлишковості у відповідних сегментах ієрархії керування мережею, якщо враховувати рівень експлуатаційної надійності засобів системи збору та передавання інформації. При створенні розподіленої комп'ютерної інфраструктури для розв'язання указаних задач будемо керуватися стратегією інформатизації «знизу-вверх» тому, що джерела первинної інформації і елементи системи, що забезпечують реалізацію керуючих дій, знаходяться на об'єктному рівні. При виконанні зазначених умов може бути синтезована багаторівнева ієрархічна, розподілена на кожному з рівнів ієрархії, комп'ютерна інфраструктура системи управління тяговими електричними мережами і об'єктами з можливістю постійного розвитку, яка забезпечує ефективне розв'язання, перш за все, задач технологічного та оперативно-диспетчерського керування, а також низки інших задач пов'язаних з виробничо-технічними процесами включаючи задачі контролю, організаційно-економічного управління і безпеки руху. Загальна архітектура інтелектуальної тягової електричної мережі з великим ступенем інтеграції електромережевої інфраструктури і архітектури багаторівневого ієрархічно-розподіленого комп'ютерного управління електричними системами і об'єктами для ефективного розв'язання комплексу вищепоказаних задач наведена на рис. 2. Виходячи із спектру задач, пов'язаних з інтелектуалізацією процедур керування електропостачанням на рівні інтелектуальних мереж тягових підстанцій, то в першу чергу реалізується комп'ютеризація технологічних процесів, які можливо виконати в автоматичному режимі практично без участі людського фактору. На рівні інтелектуальних мереж дистанцій електропостачання і залізниць реалізується інформатизація та інтелектуалізація процедур і стратегічних рішень управління оптимізацією електропостачання та енергозбереженням. Цей рівень характеризується більш високим ступенем інтеграції електромережевої та інформаційної інфраструктур. Завдяки такому підходу, на цьому рівні, в першу чергу, організується суттєве розширення ринкових можливостей і спектру взаємних послуг електричної мережі дистанції електропостачання та обленерго. Реалізується керування навантаженням та вимикачами і, відповідно, виконується оптимізація планування мережі дистанції електропостачання, яка включає

декілька тягових підстанцій. Організується самовідновлення всієї топології тягової мережі розподілене електроспоживання, завдяки чому електропостачання, що суттєво збільшує рівень її реалізується мінімізація витрат, а також виконується надійності і безпеки руху залізничного транспорту. керування процесами самодіагностики і

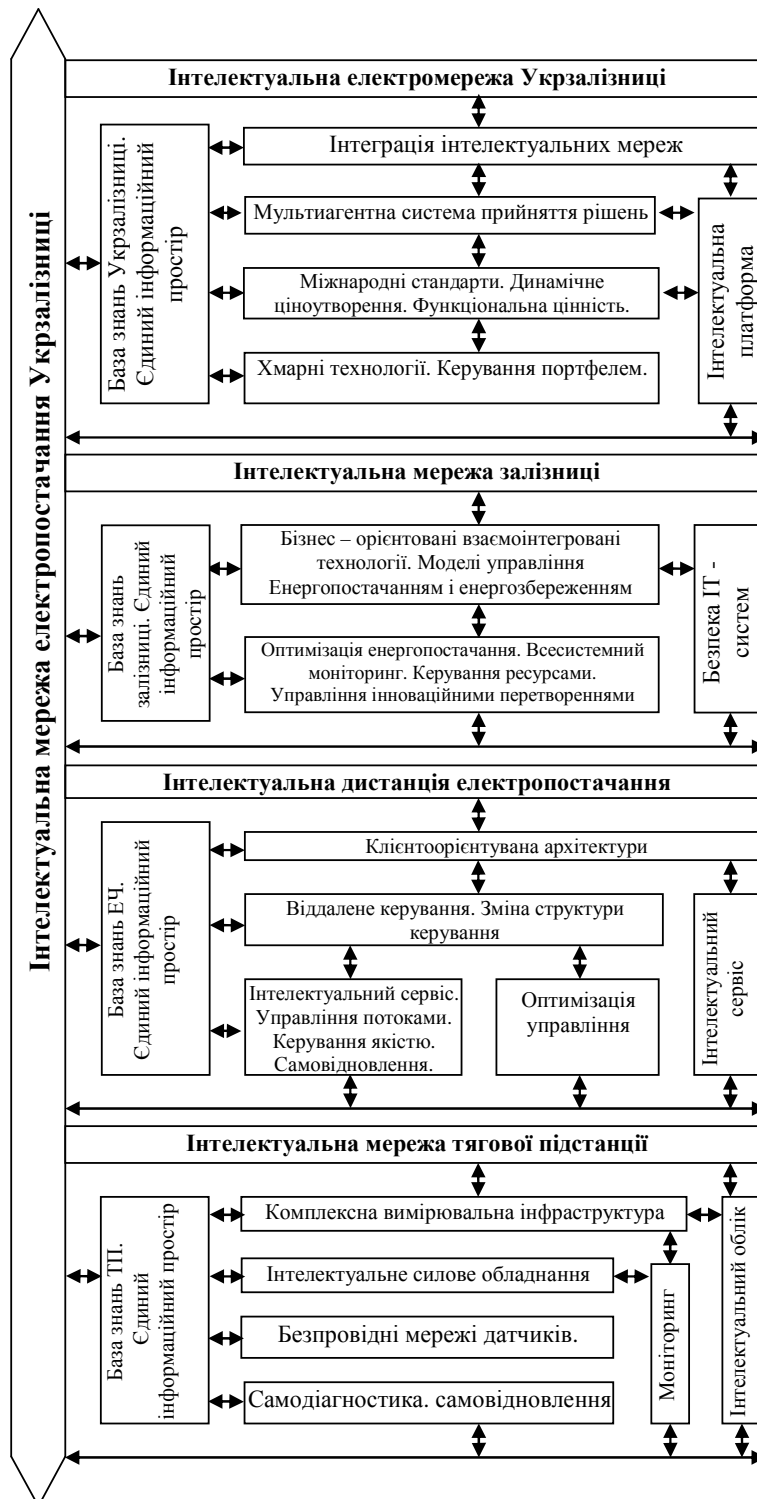


Рис. 2. Узагальнена структура інтелектуальної мережі Укрзалізниці

Верхній рівень інтелектуальної енергомережі Укрзалізниці представляє собою рівень інтелектуалізації процедур формування ринкових відносин, прийняття стратегічних рішень, оцінки технічного стану і прогноз надійності функціонування тягової мережі в цілому з заданим рівнем якості електроспоживання та безпеки руху, оптимізації технологічних процесів електропостачання і організаційно-економічного керування системою включаючи підготовку персоналу за допомогою сучасних методів ситуаційного моделювання. Завдяки високому рівню взаємної інтеграції інфраструктур електромережі Укрзалізниці і ієрархічної комп'ютерної інфраструктури управління відкривається можливість змінити в реальному часі топологію тягової електричної мережі або окремих її сегментів за поточними режимними умовами, відкриваються також нові ринкові можливості взаємного надання спектру послуг суб'єктами ринку і інтелектуальною електричною мережею. Спроможність організації розподіленого електроспоживання відкриває можливість керування процесами самодіагностики і самовідновлення всієї топології тягової мережі залізниць, впровадити сучасні енергозберігаючі технології електроспоживання і покращити якість безпеки руху.

Необхідно відмітити, що результати функціонування інтелектуальної тягової електричної мережі, перш за все залежить від надійності, якості та продуктивності комп'ютерної вимірювальної інфраструктури первинної інформації та формування на її базі єдиного інформаційного простору з загальносистемних позицій. Створення інтелектуальної тягової мережі супроводжується з організацією інформаційного базису для якісного розв'язання усіх інших задач, що не належать до оперативних, але від яких залежить підготовка оптимальних режимів функціонування енергосистем за критеріями надійності та ефективності.

#### Висновки

1. Проведено аналіз сучасних комп'ютерно-орієнтованих методів інтелектуалізації і комп'ютерно-орієнтованих алгоритмів управління тяговими електричними мережами залізниць, намічені шляхи досліджень і розроблені концептуальні основи організації інтелектуальних тягових електричних мереж на базі сучасної SMART Grid – технології.

2. На базі проведеного аналізу розглянуті підходи і методи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування тягових мереж залізниць шляхом дослідження спільних властивостей математичних моделей, методів, алгоритмів і обчислювальних архітектур, що відкриває можливість побудови інтелектуальних електричних мереж залізниць спроможних виконувати в реальному часі

саморегуляцію і самовідновлення, а також завдяки зміні параметрів топології за поточними режимними умовами реалізувати оптимізацію планування мережі, регулювання навантаження, і значно розширити ринкові можливостей.

3. Розглянуто модель інтелектуальної електричної мережі залізниці, що реалізується шляхом формування технологічного базису головною складовою якого є необхідна сукупності інтелектуальних технологій що відображає спектр можливостей інтелектуалізації процедур керування постачанням та особливостей споживання залізничної електроенергетики.

4. На основі запропонованої моделі наведено узагальнену структуру інтелектуальної тягової електричної мережі Укрзалізниці сформованої в результат взаємної інтеграції архітектури тягової мережі електропостачання і комп'ютерної інформаційної архітектури, що представляє собою інфраструктуру керування електропостачанням на тягу залізничним транспортом.

#### Література

1. Стогній Б.С. Основи моніторингу в електроенергетиці. Про поняття моніторингу/ Стогній Б.С., Сопель М.Ф. ; Технічна електродинаміка 2013, №1 – С. 62-69.
2. Стогній Б.С. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. ; Технічна електродинаміка 2012, №5 – С. 52-66.
3. Кириленко О.В., Smart Grid та організація інформаційного мінусу в електроенергетичних системах / Кириленко О.В., Блінов І.В., Танкевич С.С. ; Технічна електродинаміка 2012, №3 – С. 47-48.
4. Стогній Б.С. Інтелектуальні електричні мережі: світовий досвід і перспективи України. / Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В. Денисюк С.П.; Праці Інституту електродинаміки НАН України, 2011, Часина 1. – С. 5-20.
5. Стогній Б.С. Технологічний базис інтелектуальної об'єднаної електричної системи України. / Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Баталов А.Г.; Праці Інституту електродинаміки НАН України, 2011, Часина 1. – С. 20-31.
6. Гончарова Л.Л. Методи організації комп'ютерної мережі моніторингу параметрів режимів систем електропостачання/ Максимчук В.Ф., Стасюк О.І.; Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, науково-технічний журнал, № 2, 2012 –С.35 – 40.
7. European Smart Grids Technology Platform: vision and Strategy for Europes Electricity Networks of the Future/ - European Commision, 2006. 44p.



8. EPRI Smart Grid Demonstration Initiative. Two year update. – Electric Power Research Institute (EPRI). – USA, California, 2010.

9. Technology Roadmap. Smart Grids. – International Energy Agency (IEA), Paris, 2011.

10. Стогній Б.С. Методи організації комп'ютерних систем комерційного управління електричними об'єктами. / Стогній Б.С., Сопель М.Ф., Стасюк А.И., Стасюк И.А Зб. наукових праць. Моделювання та інформаційні технології./ Випуск 15, НАН України. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. Київ – 2002.- С.3-15.

11. Стогній Б.С. Інформатизація та інтелектуалізація електроенергетики: пріоритети та практичні доробки / Стогній Б.С., Кириленко О.В., Буткевич О.Ф., Левітський В.Г. Праці Інституту електродинаміки НАН України, 2002, № 3 (3). – С. 4-18.

12. Патент на корисну модель №73365, Система синхронізації функціонування засобів вимірювання та автоматизації в енергетиці / Б.С. Стогній, М.Ф. Сопель, В.Л. Тутик, О.І. Стасюк // Бюл. №18, 25.09.2012.

13. Патент на корисну модель №73365, Підсистема моніторингу і вводу дискретної інформації інформаційно-діагностичного комплексу РЕГІНА / Б.С. Стогній, М.Ф. Сопель, В.Л. Тутик, О.І. Стасюк // Бюл. №18, 25.09.2012.

**Стасюк А.И., Гончарова Л.Л., Максимчук В.Ф. Методи організації інтелектуальних електричних систем залізничних доріг на основі концепції SMART Grid.** Рассмотрены современные тенденции организации интеллектуальных тяговых сетей железных дорог на базе современной SMART Grid – технологии. Показаны пути компьютерной интеллектуализации режимов функционирования тяговых сетей, рассмотрена модель интеллектуальной электрической сети и обобщенная структура интеллектуальной электрической сети сформированной в результате взаимной интеграции архитектуры тяговой сети электроснабжения и компьютерно-информационной архитектуры управления. Библ.12, рис.2.

**Ключевые слова:** Интеллектуальные электрические сети, интеллектуальные технологии, модели, SMART Grid, электроснабжение на тягу, вычислительная архитектура, инфраструктура управления.

**Stasiuk A.I, Goncharova L.L, Maksymchuk V.F. Methods of intelligent railway electrical power systems organization based on SMART Grid concept.** Modern trends of intelligent railway traction network organization based on modern SMART Grid technology have been considered. The ways of computer intellectualization of traction networks operating modes have been shown; the model of intelligent power network and generalized structure of intelligent power network formed as a result of mutual integration of traction power network architecture and computer information management architecture have been presented. Bib. 12, Fig. 2.

**Key words:** Intelligent electric networks, intelligent technologies, models, SMART Grid, power supply for traction, computer architecture, infrastructure of management.

Рецензент д.т.н., професор Тимченко Л.І. (ДЕТУТ)

Поступила 12.03.2014г.