

УДК 681.325.5

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,

ГОЛУБ Г. М., аспірант (ДЕТУТ)

## Методи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування тягових мереж залізниць

*Приведені концептуальні основи організації інтелектуальної мережі постачання електроенергії на основі сучасної SMART Grit – технології, розглянуті методи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування тягових електричних мереж залізниць і запропонована узагальнена структура інтелектуальної тягової мережі.*

**Ключові слова:** комп'ютерні системи, мережеві технології, математичні моделі, методи, тягові електричні мережі, комп'ютерна інтелектуалізація.

### Постановка проблеми

На сучасному етапі енергетика стала тим сегментом економіки, який покликаний забезпечувати функціонування не тільки широкий спектр галузей народного господарства, домінуючим серед яких є залізничний транспорт, але й різних сфер людської діяльності [1, 4]. В зв'язку з цим, до роботи електричної галузі в умовах ринку висувається ряд підвищених вимог при управлінні процесами виробництва, передачі й споживання електроенергії, ефективна реалізація якого залежить, в першу чергу, від організації високої точності і синхронності виконання процедур вимірів у різних точках і сегментах єдиної енергосистеми. Цей факт підтверджується тим, що порушення синхронності виміру приводить не тільки до додаткової помилки розсинхронізації, але й до неадекватної ідентифікації стійкості роботи системи, що є дуже важливим. В той же час, розглядаючи через призму фізичного та морального старіння електротехнічного обладнання, що знаходиться в експлуатації залізниць, можна виявити додаткові негативні впливи не тільки на економічність режимів і збільшення собівартості перевезень, а в деяких випадках і на надійність функціонування тягової енергосистеми. До особливостей систем електропостачання залізниць можна віднести велику нерівномірність навантажень, труднощі захисту від короткого замикання, несинусоїдальність і несиметрія струму, істотний вплив на лінії передачі інформації. При такому стані, розвиток системних аварій в зв'язку з невисокою надійністю устаткування й помилками персоналу, як

показує досвід багатьох країн, може привести до багатомільйонних економічних втрат [2, 3]. Тому, природним рішенням проблеми забезпечення надійності та якості функціонування існуючих тягових електричних мереж і, відповідно, покращення безпеки руху залізничного транспорту є обґрунтування, розробка і дослідження проблеми інтелектуалізації єдиної тягової системи електропостачання залізниць шляхом впровадження сучасних комп'ютерних технологій, що забезпечують мінімізацію електроспоживання, заданий рівень якості та надійності функціонування. Найважливішими питаннями в цьому плані є інформатизація процесів оперативного й стратегічного керування, а також інтелектуалізація режимів функціонування та процедур управління на основі сучасних комп'ютерних систем і мережевих технологій.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

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 Grit - технологія [1-3]. 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 інформаційно - керуючою мережею.

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 [4, 5].

#### **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**

Підсумовуючи викладене, можна зазначити, що концепція інноваційного перетворення тягових електричних мереж залізниць передбачає створення єдиної інформаційної моделі яка забезпечує глибоку 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 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 [4,5]. 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 комп'ютерної інтелектуалізації електроенергетичних тягових мереж залізниць для організації можливості саморегуляції і самовідновлення в реальному часі, завдяки чому збільшиться рівень надійності електропостачання та безпеки руху залізничного транспорту, а також зменшаться загальносистемні витрати електроенергії на тягу.

#### **Основна частина**

Організація інтелектуальної тягової електричної мережі залізничного транспорту, яка базується на концепції SMART Grit, може бути реалізована шляхом формування необхідної сукупності інтелектуальних технологій. Основними із яких є: інтелектуальний облік по диференційованим тарифам; оптимізація витрат на основі планування топології мережі шляхом реконфігурації архітектури в реальному часі; керування регульованим навантаженням в процесі енергоспоживання; моніторинг і аналіз параметрів режимів електричних мереж і силових об'єктів; формування електронного документообороту для представлення результатів функціонування мережі і звітності; реалізацію комп'ютерної самодіагностики і самовідновлення функціонування тягової мережі в процесі роботи; комп'ютеризація процесів управління якістю споживання електроенергії; безперервний контроль навколишнього середовища; формування сучасних ринкових відношень і культури споживання.

Високий рівень складності електричних об'єктів і мереж, різноманіття компонентів і можливість їхнього функціонування в широкому спектрі частот, а також зміни станів сприяли появі великої кількості підходів, способів, прийомів, технічних засобів, а надалі комп'ютерних компонентів і мережних технологій рішення сукупності задач керування електричним господарством [1 - 5]. Деяка частина задач керування енергетикою відноситься до розряду оптимізаційних. Інша сукупність розв'язуваних завдань, наприклад, аналіз стійкості єдиної енергосистеми, хоча й відноситься до числа оптимізаційних, однак результати її рішення використовуються в основному у вигляді обмежень при визначенні оптимальних режимів функціонування. Оскільки спектр задач досить широкий, то на основі проведеного аналізу

технологічних процесів електропостачанням залізниць, с точки зору їх інтелектуалізації, можна представити комплекс задач, що моделюються в аспекті часової декомпозиції у вигляді, як показано на рис. 1. Задачі перших двох рівнів відносяться до класу автоматичного керування. На першому рівні вирішується набір задач пов'язаних з технологією електропостачання, тобто це задачі пов'язані з реєстрацією первинних даних з єдиних загальносистемних позицій, а при необхідності попередньої обробки і далі передачі та подання їх у

відповідній формі необхідним споживачам. Фактично на цьому рівні при комплексному підході реалізується постійний моніторинг параметрів електричних мереж, включаючи силове устаткування для визначення їхнього стану і, відповідно, режиму функціонування. На цьому рівні вирішуються задачі, виконання яких забезпечується існуючими комп'ютеризованими засобами і автоматики, включаючи протиаварійну. При сучасній організації процесів контролю і керування електропостачанням застосовуються мікропроцесорні засоби захисту.

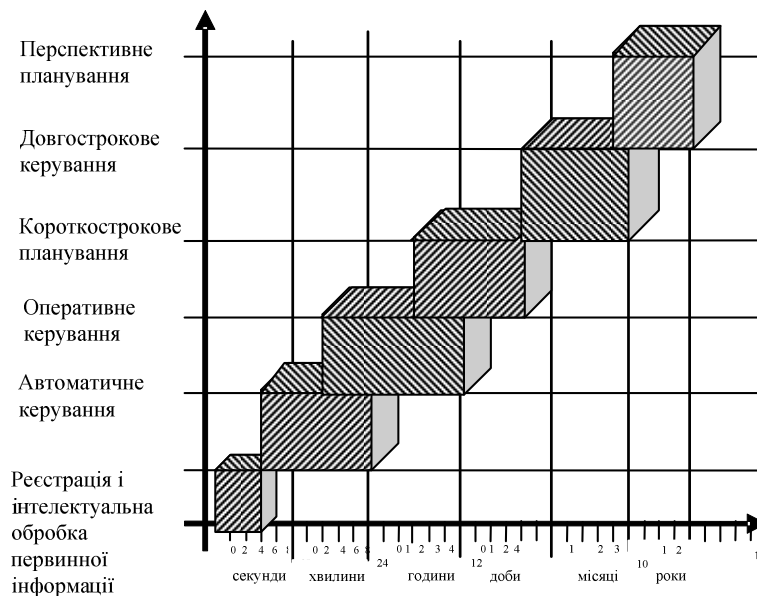


Рис. 1. Часова декомпозиція задач керування тяговими електричними мережами

На другому рівні завдяки використанню результатів моніторингу і реєстрації первинних даних вирішується клас задач, пов'язаних з керуванням генерацією електроенергії, регулюванням частоти і перетоками активної потужності для забезпечення оптимального розподілу навантажень, визначення резервів потужності й контролю низькочастотних коливань режимних параметрів, а також визначення показників стійкості єдиної енергосистеми. На третьому рівні організується рішення класу задач оперативно - диспетчерського керування. Реалізуються оперативні переключання, у схемах електричних з'єднань і виконання диспетчерських заявок. Четвертий рівень часової ієрархії задач керування забезпечує короткочасне - годинне планування режимів функціонування, коректування процесів керування, а також аналізу диспетчерських заявок. П'ятий рівень орієнтований на комплекс задач довгострокового планування, включаючи розрахунки припустимих обмежень режимних параметрів з урахуванням нормативних запасів стійкості. Набір задач п'ятого

рівня часової ієрархії забезпечує перспективне планування і подальший розвиток, як єдиної енергосистеми, так і корпоративних електричних мереж, наприклад, тягової системи електропостачання залізничного транспорту.

В аспекті наведеної часової декомпозиції задач оптимізації процесу електропостачання розглянемо методи і шляхи інтелектуалізації тягових мереж. Не зважаючи на глибокі дослідження в сфері керування електроенергетикою на сучасному етапі, що характеризується великим ростом об'ємів інформації яка формується при проведенні комп'ютерного моніторингу і контролю параметрів технологічних процесів в електроенергетичних об'єктах та мережах для формування управлінських рішень, на сьогоднішній день, не достатньо розвинуті математичні моделі для формалізованого опису їх функціонування, а також слабо розвинуті методи рішення комплексу задач управління режимами електроспоживання з загальносистемних позицій і не розглянуті питання по узгодженню рішення цих задач

[2, 4]. Існуючі методи прогнозу електричних навантажень споживачів пред'являють жорсткі умови до отриманої первинної інформації, поведінки електроенергетичних об'єктів управління і не завжди можуть задовольнити точність моделювання для оперативного управління [3]. Сучасні системи диспетчерського управління та комерційного обліку орієнтовані на виконання контролюючих функцій, а не на рішення задач оптимізації і тільки в окремих випадках у них є можливість імітувати динаміку штатних і нештатних режимів або використовувати їх в якості тренажерів для обслуговуючого персоналу. Цей факт характеризується тим, що розробники комп'ютерних систем і мереж основну увагу приділяють, як правило, технічному та програмному забезпеченню, а не постановці і рішенню математичних задач системного аналізу процесів генерації, електроспоживання і якості функціонування електричних мереж. Сучасні комп'ютерні системи і мережеві технології не в повній мірі рішають задачі безперервного моніторингу і ведення графіка планово – запобіжних робіт електричного обладнання, контролю якості електроенергії, оптимізації режимів, що протікають в електричних системах, ведення балансу отриманої і спожитої електроенергії, розрахунку окремих параметрів електроспоживання, автоматичного архівування даних про режими енергосистеми. А саме цей комплекс задач і є вирішальним фактором інтелектуалізації тягових електричних мереж і, як наслідок, оптимізації електроспоживання і економії електроенергії. Особу роль в цьому плані відводиться рішенню задач інтелектуальної обробки первинної інформації для оптимізації процесів управління електроспоживання. Тому, на сучасному етапі, стала домінуючою тенденція розробки, впровадження і використання методів комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування тягових мереж залізниць на основі перспективних інформаційних та мережевих технологій шляхом організації, в першу чергу, інтелектуальної обробки отриманої первинної інформації, представлення її в необхідному виді, а також формування варіантів можливих оперативних рішень диспетчерському персоналу.

Таким чином, інтелектуалізація електричних тягових мереж залізниць, відкриває можливість реалізувати глибоку інтеграцію інфраструктур електромережевої та інформаційної комп'ютерної системи управління і, тим самим, зробити її спроможною розв'язання усього спектру задач пов'язаних з керуванням електроенергетичним виробництвом. Цей підхід може бути реалізовано шляхом організації багаторівневого розподіленого комп'ютеризованого середовища, що адекватно відображає топологію інфраструктури тягової мережі і орієнтованого 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 мережах та об'єктах. При створенні розподіленого комп'ютерного середовища 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. Необхідно відмітити, що в процесі моделювання 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 (рис. 1), 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. Неодмінною умовою ефективного функціонування інтелектуальних тягових мереж та надійного керування їх режимами є забезпечення спостережуваності системи на всіх рівнях ієрархії. 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. В першу чергу це стосується первинної інформації, що отримується від систем моніторингу як у вигляді дискретних сигналів, наприклад, індикація положення усіх комутаційних апаратів до рівня ліній, що відходять від шин низької напруги підстанцій, та зміни стану пускових і вихідних органів усіх пристроїв релейного захисту, так і у вигляді аналогових сигналів поточних вимірів параметрів режимів в різних точках електричної мережі. При виконанні зазначених умов може бути синтезована багаторівнева ієрархічна, розподілена на кожному з рівнів ієрархії, комп'ютерна архітектура 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 і організаційно-економічного управління. В залежності від того, який формується рівень ієрархії керування інтелектуальної тягової мережі – відповідним чином можуть відрізнятися фрагменти комп'ютерного середовища як електронними компонентами, характеристиками, так і складом задач, на результатах

розв'язання яких і базується реалізація функцій управління, головне, щоб при цьому не порушувалися основні принципи побудови та використання обчислювального середовища. Необхідно відмітити, що розподілене комп'ютерне інформаційно-програмне середовище керування електричними об'єктами та мережами істотно вплине на зміни у самій технології організації управління, наближаючи все більшу кількість управлінських функцій до автоматичного режиму виконання, що реалізується шляхом забезпечення можливості автоматичного розв'язання відповідних задач. Завдяки впровадження сучасних інтелектуальних технологій в електроенергетиці залізничного транспорту все більше часу вивільнюється у оперативно-диспетчерського персоналу для виконання його основної функції в автоматизованій системі керування, таких як аналіз ситуацій, прийняття оптимальних рішень та керування їх реалізацією.

Загальна структура інтелектуальної тягової електричної мережі з великим ступенем інтеграції електромережевої інфраструктури і архітектури багаторівневого ієрархічно-розподіленого комп'ютерного середовища 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 керуванням електроенергетичним хазайством, в аспекті розглянутої їх часової декомпозиції, на першому рівні ієрархії, що відповідає процесам автоматизації тягових підстанцій, реалізується комп'ютеризація технологічних процесів пов'язаних з генерацією, передачею і споживанням електроенергії і забезпечується розв'язання відповідного комплексу задач в автоматичному режимі. В залежності від специфіки задач пов'язаних з управління технологічними процесами постачання електроенергії на тягових підстанціях застосовуються як серійні комп'ютерні засоби і компоненти, так і нові спеціально розроблені.

На цьому рівні, практично без участі людського фактору, в автоматичному режимі, реалізується інтелектуальний облік електроенергії по комерційним тарифам диференційованим за зонами доби, що відповідають умовам ринку електроенергії, та проводиться безперервний «скільзкий» моніторинг всього комплексу параметрів як основи отримання первинної інформації, що відображає стан і режими функціонування тягової мережі і силового обладнання. На основі отриманих первинних даних, при виконанні безперервного моніторингу, проводиться постійний контроль, діагностика і прогноз технічного стану електричного обладнання системи електропостачання, реалізується мікропроцесорний захист, а також виконується ряд процедур по ідентифікація нештатних

режимів, саморегулюванню і самовідновленню силового електричного обладнання тягової підстанції в процесі функціонуванні. Завдяки отриманій первинній інформації формуються часові діаграми режимів.

На наступному рівні інтелектуальної тягової електричної мережі реалізується інформатизація процедур і стратегічних рішень управління на дистанції електропостачання залізниці. 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 розподілене електроспоживання, завдяки чому реалізується мінімізація витрат, а також виконується керування процесами самодіагностики і самовідновлення всієї топології тягової мережі дистанції електропостачання, що суттєво збільшує рівень її надійності і безпеки руху залізничного транспорту.

Верхній рівень ієрархії мережі представляє собою рівень інтелектуалізації процедур прийняття стратегічних управлінських рішень. На цьому рівні реалізується обробка первинної інформації в багаторівневому комп'ютерному середовищі за допомогою сучасних методів ситуаційного моделювання для формування варіантів управлінських рішень, оцінка технічного стану і прогноз надійності функціонування тягової мережі в цілому з заданим рівнем якості електроспоживання, моделюються задачі оптимізації технологічних процесів електропостачання, управління електроспоживанням і організаційно-економічного керування системою включаючи підготовку персоналу. Завдяки високому рівню взаємної інтеграції інфраструктур електромережі і багаторівневого комп'ютерного середовища відкривається можливість зміни в реальному часі топології тягової мережі і окремих її параметрів за поточними режимними умовами, включаючи виникнення і розвиток аварій, відкриваються нові ринкові можливості взаємного надання спектру послуг суб'єктами ринку і інфраструктурою. Спроможність організації розподіленого електроспоживання відкриває можливість керування процесами самодіагностики і самовідновлення всієї топології тягової мережі залізниці, впровадити сучасні енергозберігаючі технології електроспоживання і покращити якість безпеки руху.

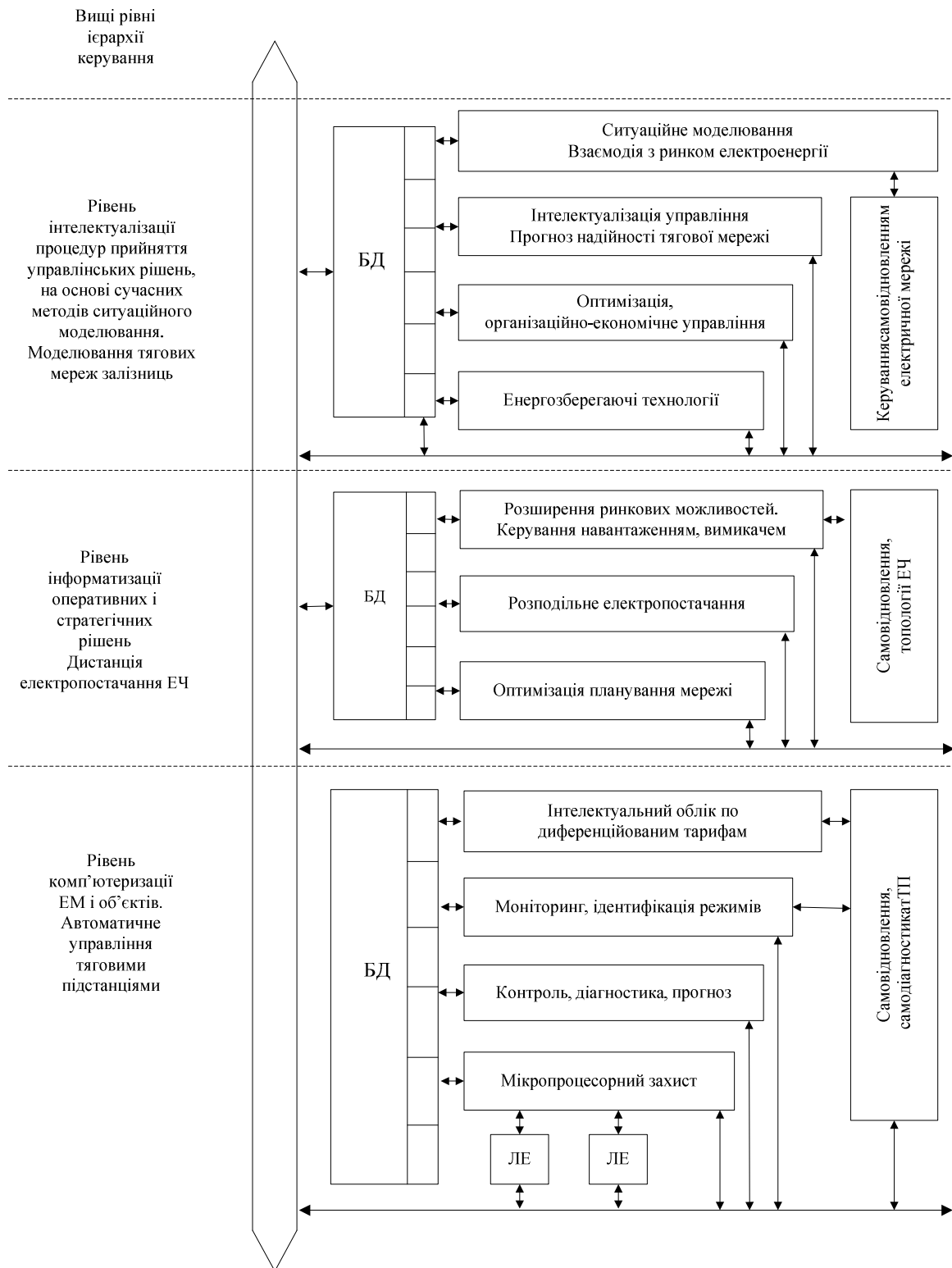


Рис. 2. Узагальнена структура інтелектуальної тягової мережі

Необхідно відмітити, що результати функціонування інтелектуальної тягової електричної мережі, перш за все залежить від надійності та продуктивності мікропроцесорної систем збору первинної інформації, попередньої обробки її та передачі, що реалізується на рівні комп'ютеризації технологічних процесів. 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 управління тяговими електричними мережами, намічені шляхи досліджень і показані концептуальні основи організації інтелектуальної тягової електричної мережі на основі сучасної SMART Grit – технології.

2. На базі проведеного аналізу запропонована часова декомпозиція задач керування електричними мережами залізниць як основа підвищення ефективності функціонування мереж електропостачання на тягу.

3. Розглянуті підходи і методи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування тягових мереж залізниць на основі дослідження спільних властивостей математичних моделей, методів, алгоритмів і обчислювальних архітектур.

4. Запропонована узагальнена структура інтелектуальної тягової електричної мережі, що реалізується шляхом інтеграції електромережевої та комп'ютерної інформаційної інфраструктур.

### Література

1. Стогній Б.С. Информатизация 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.
2. 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.
3. 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.
4. Стогній Б.С. Методы организации компьютерных систем коммерческого управления электрическими

объектами. / Стогній Б.С., Сопель М.Ф., Стасюк А.И., Стасюк И.А. 36. научных работ. Моделирование та інформаційні технології./ Випуск 15, НАН України. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. Київ – 2002.- С.3-15.

5. Гончарова Л.Л. Современные методы компьютерного анализа режимов функционирования сложных электрических объектов./ Гончарова Л.Л.// 36. науч. работ. ИПМЕ НАН Украины – Вип-56. – К: - 2010. С. 17 – 24.

**Стасюк А.И., Гончарова Л.Л., Максимчук В.Ф., Голуб Г.М. Методы компьютерной интеллектуализации режимов функционирования тяговых сетей железных дорог.** Приведенные концептуальные основы организации интеллектуальной сети поставки электроэнергии на основе современной SMART Grit - технологии, рассмотрены методы компьютерной интеллектуализации режимов функционирования тяговых электрических сетей железных дорог и предложена обобщенная структура интеллектуальной тяговой сети.

**Ключевые слова:** компьютерные системы, сетевые технологии, математические модели, методы, тяговые электрические сети, компьютерная интеллектуализация.

**Stasiuk A.I, Goncharova L.L, Maksymchuk V.F, Golub G.M. Methods of computer intellectualization of operating modes of railway traction networks.**

The conceptual fundamentals of smart grid electricity supply based on the current SMART Grit - technology have been presented, the methods of computer intellectualization of the modes of operation of railway traction power systems have been considered and a generalized structure of intellectual traction network has been proposed.

**Key words:** computer systems, network technologies, mathematical models, methods, traction power system, computer intellectualization.

Рецензент д.т.н., професор, завідувач кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика» Тимченко Л.І. (Державний економіко-технологічний університет транспорту)

*Поступила 02.10.2013г*