УДК 681.325.5

Г. М. Голуб

КОМП'ЮТЕРНА ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ПРОЦЕДУР УПРАВЛІННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ

Проведений аналіз концепції Smart Grid-технології та особливості реалізації її на залізничному транспорті, зокрема як основу організації інтелектуальної мережі постачання електроенергії на тягу. Визначено основні технологічні та технічні складові реалізації цієї концепції. Досліджена проблема інтелектуалізації системи електропостачання залізниць, інформатизації процесів оперативного і стратегічного керування, а також інтелектуалізації режимів функціонування та процедур управління електричних мереж на основі сучасних комп'ютерних систем та мережевих технологій.

Проведенный анализ концепции Smart Grid-технологии и особенности реализации ее на железнодорожном транспорте, в частности в качестве основы организации интеллектуальной сети поставки электроэнергии на тягу. Определены основные технологические и технические составляющие реализации этой концепции. Исследована проблема интеллектуализации системы электроснабжения железных дорог, информатизации процессов оперативного и стратегического управления, а также интеллектуализации режимов функционирования и процедур управления на основе электрических сетей современных компьютерных систем и сетевых технологий.

The analysis of the concept of Smart Grid - Technology and features of the implementation of the railways, in particular as the basis of intelligent network supply for traction. The basic technological components and technical realization of this concept. Investigated the problem of intellectualization electrical system of railways , information processes operational and strategic management and intellectualization modes of operation and procedures for management of electrical networks based on modern computer systems and networking.

Ключові слова: Smart Grid-технології, комп'ютерні системи, мережеві технології, тягові електричні мережі, комп'ютерна інтелектуалізація, інтелектуальна електрична мережа.

Постановка проблеми. У багатьох країнах світу відбулися значні зміни щодо стратегії розвитку енергетики, підприємства енергетичного сектора переживають період реформування.

© Голуб Г. М., 2013

Українська енергетика – одна з галузей, що динамічно розвивається та постійно переоснащується, також переживає період змін. В ринкових умовах електричної галузі висувається ряд підвищених вимог в процесі виробництва, передачі й споживання електроенергії. Досвід експлуатації комп'ютерних засобів і інформаційних технологій при вирішенні задач технологічного управління в енергетиці показав, що для їхнього ефективного використання потрібні нові знання для синтезу нових принципів і методів керування режимами тягових електричних мереж.

Розвиток, з одного боку, комп'ютерних технологій та можливостей Інтернет, поява останніх досягнень в області інформаційних та мережевих технологій, інформаційно-керуючих систем (ІКС) на базі мікропроцесорної та силової електроніки, а з іншого боку – економічне зростання, що нерозривно пов'язане зі збільшенням обсягу енергоспоживання і підвищення вимог до якості і рівня надійності енергопостачання, стали передумовою розвитку нового виду енергетики – інтелектуальної, що визначає шлях до її «інтелектуалізації» [4].

Для оцінки рівня «інтелектуалізації» енергетики у світі став загальновживаним термін Smart Grid, що позначає нові принципи роботи енергетики, і на сьогодні є актуальним питання розробки концепції Інтелектуальних електричних мереж Smart Grid для енергоринку України, зокрема сектора залізничного транспорту.

Система електропостачання залізничного транспорту тісно пов'язана з єдиною енергосистемою України. Однією з основних проблем організації ефективного функціонування систем електропостачання залізниць є забезпечення їх надійності і якості роботи, включаючи організацію економії електричної енергії, що зумовлено зростанням її частки в собівартості продукції. Крім того, слід відзначити недосконалість систем керування в електроенергетиці, що призводить до підвищення рівня аварійності в електроенергетичних системах. І, нарешті, значне зношення основного і допоміжного електроенергетичного обладнання та недостатній рівень розвитку електричних мереж. При такому стані розвиток системних аварій в зв'язку з ненадійністю устаткування й помилками персоналу, як свідчить досвід багатьох країн, може призвести до багатомільйонних економічних втрат. Наведені міркування свідчать про необхідність невідкладного прийняття кардинальних заходів при вирішенням таких питань як: енергозбереження, забезпечення надійності та якості функціонування, оптимізація електроспоживання і відповідно покращення безпеки руху залізничного транспорту новою стратегією розвитку електроенергетики, безпосередньо комп'ютеризацією та інтелектуалізацією технологічних процесів керування тяговими електричними мережами залізниць України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що прийнято нову ідеологію розвитку електроенергетики на основі концепції Smart Grids. Нова платформа енергозабезпечення має назву European Technology Platform Smart Grids.

Основні параметри Smart Grid базуються на результатах роботи американського інституту The Electric Power Research Institute (EPRI) у програмі «IntelliGrid», а також відображені в проектах «Modern Grid Initiative (MGI) та «Grid Weise Architectural Council» (GWAC). У цих роботах сформульовано бачення, архітектурні принципи, обмеження, переваги, необхідні технології, технічна політика щодо Smart Grid. Так, концептуальна модель Smart Grid, прийнята в США, включає сім основних доменів: генерацію електроенергії, її передачу, розподіл, споживачів, ринок, керування та сервісне обслуговування, пов'язаних потоками передачі електроенергії та інформації. Визначено і стандартизовано вимоги до всіх доменів моделі Smart

Grid та сформовано «дорожню карту» реалізації моделі. Відзначаються п'ять основних переваг Smart Grid: надійність та якість електропостачання, перш за все, за рахунок підвищення керованості; безпека; енергозбереження; високий рівень екології; економічність [4].

За найпоширенішим трактуванням Smart Grid-концепція повністю інтегрованої, саморегулюючої і самовідновлюваної електроенергетичної системи, що має мережеву топологію і містить всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі і всі типи споживачів електричної енергії, керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем в режимі реального часу [5].

В основі трансформації лежить «розумна» технологія Smart Grid, надбудована над інфраструктурою передачі електроенергії відповідно до ключових вимог. Сьогодні зворот «інтелектуальна енергетика» стає терміном, що позначає нові принципи роботи енергетики, як в Україні, так і за кордоном.

Мета роботи. Дослідження питання реалізації Smart Grid-технології на залізничному транспорті, зокрема організації інтелектуальної мережі постачання електроенергії на тягу.

Аналіз особливостей інформатизації процесів оперативного і стратегічного керування електричних мереж, роботи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування та процедур управління, а також інтелектуалізації режимів функціонування та процедур управління системи електропостачання залізниць України на основі сучасних комп'ютерних систем та мережевих технологій.

Основна частина. Залізничний транспорт є одним із основних споживачів на ринку електричної енергії. Організація інтелектуальної тягової електричної мережі залізничного транспорту, яка базується на концепції SMART Grit може бути реалізована шляхом формування необхідної сукупності інтелектуальних технологій. Найменування технології є абревіатурою, яка складається з перших букв, які називають основні критичні цінності нової електроенергетики [1]:

– Доступність – забезпечення споживачів енергією в відповідності з необхідними їм параметрами часу, місця і якості;

– Надійність – можливість протистояння енергосистеми фізичним та інформаційним негативним впливів без тотальних відключень або високих витрат на відновлювальні роботи, а також її максимально швидке відновлення (самовідновлення);

– Економічність – оптимізація тарифів на постачання і зниження загальносистемних витрат на виробництво і розподіл електричної енергії;

– Ефективність – максимізація ефективності використання всіх видів ресурсів і технологій при виробництві, передачі, розподілі та споживанні електроенергії;

– Органічність з навколишнім середовищем – зниження негативного впливу на навколишнє середовище;

– Безпека – недопущення ситуацій в електроенергетиці, потенційно небезпечних для людей і навколишнього середовища.

Технологічна платформа Smart Grid – це електричні мережі, які відповідають вимогам ефективного та надійного функціонування енергосистеми. Це забезпечується за рахунок скоординованого керування та організації двосторонніх комунікацій між елементами електричних мереж, електричними станціями, акумулюючими джерелами і споживачами». Термін Smart Grid трактується як концепція іноваційного перетворення електроенергетики. Це обумовило перегляд низки існуючих базових принципів модернізації галузі. Її можна сформулювати як концепцію побу-

дови повністю інтегрованої, саморегульованої і самовідновлюваної електроенергетичної системи (ЕЕС), що має мережеву топологію і об'єднує всі генеруючі джерела, магістральні і розподільчі мережі та всі види споживачів електричної енергії, які керуються єдиною мережею автоматизованих пристроїв в реальному часі. Це створення інтелектуальних електричних мереж (IEM) ЕЕС [3].

Технології Smart Grid забезпечуватимуть оптимальний розподіл потоків потужності електричної мережі залізниці, зменшення втрат у ній, швидку скоординовану реакцію при аваріях. Ефективність технології визначається автоматизацією прийняття рішень з керування, підвищенням оперативності керування нормальними, доаварійними і аварійними режимами.

Реалізація такої концепції істотно підвищить надійність та економічність функціонування і розвитку інтелектуальної електричної мережі залізничного транспорту.

Передбачається проведення комплексу організаційних змін, побудова нових моделей процесів, залучення нових рішень у галузі інформаційних технологій, нових шляхів і способів інформатизації, а також інтелектуалізації процесів керування тяговими електричними мережами залізниць, реалізація контролю і прогнозу надійності, та істотно збільшити ефективність їх роботи, оптимізація електроспоживання та підвищення безпеку руху та інновацій у сфері створення автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП) і реформування диспетчерського керування на залізничному транспорті. Все це пов'язано з показниками ефективності залізниць України – якістю і надійністю електропостачання при оптимізації власних витрат та потребує якісно нового рівня інформатизації [5].

Істотне збільшення ефективності застосування сучасних інформаційних технологій можливе лише шляхом проведення досліджень спільних властивостей математичних моделей, методів, алгоритмів, задач управління, особливостей сучасних і перспективних мережних технологій, а також архітектурних особливостей мереж електропостачання і інформаційно-керуючих комп'ютерних систем.

Одним із суттєвих наслідків поширення технологій Smart Grid стане та обставина, що з часом рухомий склад залізничного транспорту набуде здатності до взаємодії в інформаційній мережі, стане керованими і буде виконувати функції вимірювання власного споживання електроенергії та потужності.

Відносно розвитку електропостачання та електрозбереження залізничного транспорту, то він пов'язаний, в першу чергу, з реалізацією нових підходів, коли основна роль приділяється впровадженню нових технологій, зокрема FACTS, та створенню адаптивного електротехнічного мережевого обладнання, розвитку електричних мереж з розподіленою генерацією як структури, що забезпечить надійність і ефективність функціонування та зв'язок генерації і споживачів, створенню нового покоління систем автоматизації та ін.

На сучасному етапі реалізації концепції Smart Grid вибір технічних засобів відіграє вирішальну роль. Перспективні засоби можна розділити на такі основні групи [3]:

І група – це інтелектуальні давачі інформації, контрольно-вимірювальні засоби, прилади обліку та відповідні пристрої. Мова йде про прилади вимірювання параметрів мережі в нормальних, передаварійних, аварійних і післяаварійних режимах роботи, засоби контролю стану об'єктів, що забезпечують роботу систем моніторингу, контролю, діагностування і керування, та інтелектуальні лічильники.

ІІ група об'єднує системи збору та передачі даних, що містять розподілені інтелектуальні пристрої та аналітичні інструменти для підтримки комунікацій на рівні об'єктів енергосистеми, які працюють у режимі реального часу. Це операційні засо-

би, що реалізують функції збору, контролю і моніторингу, діагностування та видачі рекомендацій, організації взаємодії з корпоративними системами та оперативним персоналом. Як приклад, можна виділити інформаційно-вимірювальні системи (SCADA), системи вимірювання параметрів процесів, що протікають (AMOS), розподілену систему контролю процесів генерування (DGMS), розподілену систему моніторингу і контролю попиту (DMCS) та ін.

III група – це інтелектуальні автоматизовані системи керування об'єктами (АСК ТП), інтегровані системи організації вимірювання і обліку споживання електроенергії, телекомунікаційні системи на базі різноманітних ліній зв'язку та системи візуалізації, системи моніторингу перехідних режимів (WAMS), розподілені системи захисту і протиаварійної автоматики (WAPS) та ін.

VI групу складають активні силові елементи та технології, такі як гнучкі системи передачі змінного струму (FACTS), технології регулювання реактивної потужності, розподіленої генерації, накопичення енергії, нове кабельне обладнання, елементи силової електроніки, комутаційне обладнання та ін.

Слід зазначити, що однією з головних складових розвитку технології SMART GRID в енергетичній системі є використання гнучких систем електропередачі на базі пристроїв FACTS-Flexible Alternative Current Transmission System.

FACTS – це електропередачі змінного струму, оснащені пристроями сучасної силової електроніки із застосуванням, якої здійснюється перетворення функції електричної мережі з існуючої «пасивної» в «активну».

Робота пристроїв FACTS забезпечує часткове чи повне виключення негативного впливу, що викликається перевищенням нормативних значень таких показників якості електроенергії, як усталене відключення і розмах зміни напруги, несиметрія і ступінь спотворення синусоїдальності напруги, тривалість провалів напруги. Він виявляється як у споживача, так і в енергосистемі: на електростанціях і в електричній мережі.

Нормалізація параметрів режимів роботи ЕЕС забезпечує стабілізацію напруги на мережевому обладнанні і устаткуванні підстанцій , полегшення режимів роботи турбогенераторів по реактивної потужності , розвантаження від реактивної потужності ліній електропередач і мережевих трансформаторів і може мати наслідками [4]:

– зниження темпів зносу устаткування ;
– зниження потоку відмов обладнання з відповідним зменшенням кількості технологічних порушень (ТН);
– зниження активних втрат в лініях електропередач і мережевих трансформаторах.

V група – об'єднуюча складова до якої належать системи та інформаційні технології, що забезпечують обмін даними та інформацією для забезпечення функціонування всіх засобів, що ввійшли до чотирьох груп та ринку

Головне в матеріальній реалізації концепції інтелектуальних мереж – її технічна та технологічна платформа.

Слід також виділити активні елементи, що дозволяють гнучко змінювати характеристики мережі чи реалізувати перетворення електроенергії з метою оптимізації режимів роботи. Мається на увазі збільшення пропускної спроможності, зменшення технологічних втрат, забезпечення відповідних показників якості електричної енергії та ін. В першу чергу, – це засоби та технології, що застосовуються для створення гнучких ліній передачі змінним струмом. За різними оцінками застосування обладнання FACTS дозволяє збільшити пропускну здатність відповідних перетинів

до 20% та зменшити технологічні втрати до 40%. Крім того, до цієї групи належать силові технічні засоби, що налічують більше двох десятків різноманітних пристроїв для регулювання реактивної потужності і напруги, параметрів мережі, обмеження струмів КЗ, накопичення електричної енергії, перетворення струму змінного в постійний і навпаки [1].

Нове покоління засобів інформаційно-вимірювальних систем, автоматизації та автоматики, які працюють в реальному часі і дозволяють вирішувати задачі керування електроенергетичними об'єктами (АСК ТП), контролю та керування електроживленням, релейного захисту та протиаварійної автоматики, моніторингу та діагностування стану технологічного обладнання, належать до наступної групи. Головне призначення обладнання цієї групи – це реалізація режимів роботи електричних систем та мереж відповідно до умов роботи ринку електричної енергії, попередження та мінімізація наслідків аварійних ситуацій.

І зрештою, інформаційно-технологічне обладнання, системи та IP-забезпечення центрів керування ЕЕС, які здійснюють координацію режимів роботи електричних мереж з урахуванням їхніх нових можливостей. Йдеться про використання розподіленої генерації, активного мережевого обладнання та підстанційної і станційної автоматики. Фактично буде реалізовано принципово нову технологію керування ЕЕС у реальному часі з урахуванням особливостей функціонування ринків електричної енергії.

Одна з ключових позицій у процесі реалізації ідеології Smart Grid та створення ІЕМ належить силовій електроніці. Це стосується задач забезпечення функціонування адаптивних силових елементів, вирішення проблем енергозбереження та енергоефективності. Силова електроніка робить енергосистему не тільки більш гнучкою в керуванні та стійкою до різного роду збурень, але і дозволяє значно знизити втрати електроенергії при роботі з частковим навантаженням (оптимізація шляхів передачі енергії), знизити капітальні витрати за рахунок можливості введення менших потужностей. При цьому відкриваються нові можливості у забезпеченні оптимальних параметрів робочих режимів ЕЕС та їхніх електричних мереж за рахунок застосування нових силових пристроїв та технологій [3].

Виділяють основні технології інтелектуальної електроенергетики: системи моніторингу та діагностики (WAMS); уніфікована система керування енергопотоками (UPFC); гнучкі технології передачі на змінному струмі (FACTS, FACDS); гнучкі технології передачі на постійному струмі (FACDS); лінії електропередачі постійного струму (HVDC), надпровідні матеріали [2].

Основною метою розвитку електропостачання залізничного транспорту тягової електричної мережі залишається перехід до інтелектуальної тягової електричної мережі з новими якостями, одними з яких є керування попитом в режимі реального часу, розвиток технологій накопичення електроенергії, побудова інтегрованих систем енергопостачання.

Інтегровані системи електропостачання (СЕП) на тягу з активним споживачем в сучасних умовах стають дієвим механізмом керування попитом на електричну енергію та підвищення рівня ефективності енерговикористання. Це обумовлює необхідність вирішення таких задач [2]:

– зниження рівнів введення нової генерації за рахунок більш ефективного керування динамічними потоками електроенергії, зокрема, графіками навантажень;

– створення сучасних інтелектуальних засобів контролю та керування інтегрованими СЕП, оснащення мереж електротехнічним обладнанням нового покоління, у першу чергу, пристроями СЕ;

– широкомасштабний моніторинг режимів з метою забезпечення високої надійності та стійкості процесів передачі і розподілу електроенергії та підвищення керованості електричної мережі;

– посилення ролі on-line керування розподільними мережами, підвищення ефективності їх функціонування за рахунок мережевого моніторингу роботи розосереджених технічних засобів регулювання та генерації електроенергії;

– ефективне керування роботою активного споживача.

Забезпечення надійного та ефективного функціонування електроенергетичних систем безпосередньо пов'язане з рівнем інформатизації та інтелектуалізації їх систем моніторингу та керування.

Інформатизація – це найперспективніший і найменш витратний шлях підвищення надійності та ефективності електроенергетичного виробництва, який, у порівнянні з іншими, не потребує значних інвестицій [5].

Системи моніторингу параметрів режимів функціонування та стану обладнання електроенергетичних об'єктів покликані виявляти загрози його пошкодження та запобігати виникненню аварійних ситуацій. Завдяки цьому забезпечується можливість своєчасного виведення обладнання в ремонт та проведення ремонтних робіт, чим забезпечується подовження терміну його експлуатації.

Що стосується інформаційної техніки та технологій, то Україна практично повністю готова до вирішення всіх завдань. Створено і широко впроваджено первинні і вторинні датчики та прилади для потреб енергетики від зразкових до робочих, інформаційні системи на базі комплексу «Регіна», які забезпечують практично всі сучасні завдання інформатизації електроенергетики: моніторинг усіх режимів, контроль, діагностику [5]. На базі комплексу «Регіна» одержано інші важливі наукові, технічні та технологічні рішення світового рівня, необхідні для створення інтелектуальних мереж електропостачання на тягу залізниць. Особливо слід наголосити на створенні та впровадженні комплексу «Регіна-Ч» для точного вимірювання векторів напруги та частоти в енергосистемі з високоточною синхронізацією цих вимірів у часі за допомогою супутникової системи GPS. На їхній основі розпочато створення сучасної технології і системи моніторингу (WAMS) та технології керування електропередачами в режимі *on-line* (WACS).

Висновки

1. Проведено аналіз реалізації Smart Grid-технології на залізничному транспорті, зокрема організації інтелектуальної мережі постачання електроенергії на тягу, що дозволить 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.

2. Розглянуті умови для створення інтелектуальної електричної тягової мережі із застосування новітніх комп'ютерних і інформаційних технологій, які відкривають можливість накопичувати в електроенергетиці «нові знання», що дозволять різко підвищити ефективність функціонування тягової електричної мережі, забезпечити інтелектуальний облік електроенергії по комерційних диференційованих

тарифах, оптимізувати загальносистемні витрати, реалізувати інтегральну тарифікацію.

3. Проаналізовані особливості інформатизації процесів оперативного і стратегічного керування електричних мереж, роботи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування та процедур управління, а також інтелектуалізації режимів функціонування та процедур управління системи електропостачання залізниць України на основі сучасних комп'ютерних систем та мережевих технологій.

ЛІТЕРАТУРА

1.*Кобец Б. Б., Волкова И. О.* Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.

2.*Якименко Ю. І., Прокопенко В. В., Денисюк С. П., Закладний О. М.* Smart-системи як одна із основних складових сталого розвитку енергетики.// Енергетика: економіка, технології, екологія. – К: НТУ «КПІ». – 2010. –№ 1. – С. 4 – 13.

3.*Стогній Б. С, Кириленко О. В., Денисюк С. П.* Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44 – 50.

4.*Стогній Б. С, Кириленко О. В., Праховник А. В., Денисюк С. П.* Інтелектуальні електричні мережі: світовий досвід і перспективи України // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. Спец. випуск. Ч. 1. – К.: ІЕД НАНУ, 2011. – С. 5. – 20.

Стасюк О. І., Гончарова Л. Л., Максимчук В. Ф., Голуб Г. М. Методи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування тягових мереж залізниць // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Науково-технічний журнал. – Харків. – 2013. – № 5. – С. 29 – 36.