

WGS-84;

- разработанный метод повышения точности позиционирования GNSS-приемника целесообразно использовать в "тяжелых" условиях навигации, например, как средство борьбы с "каньон-эффектом" в городах с плотной высотной застройкой.

1. *Никитин Д.П.* Повышение точности местоопределения приемника сигналов ГНСС при изменении режима работы // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва, 2012, Специальность 05.12.14 - «Радиолокация и радионавигация»
2. *Kenneth Goussak, Todd Kusserow, Bernard Goblisch* Review and Analysis of the Selective Availability Anti-Spoofing Module (SAASM) Card Integration Program (SCIP) // Proceedings of the 54th Annual Meeting of The Institute of Navigation, June 1 - 3, 1998.
3. *Veitsel V.V., Nikitin D.P., Plenkin A.V., Veitsel A.V., Zhodzishsky M.I., Prasolov V.A.* Method and Apparatus of GNSS receiver Heading determination // United States Patent Application, № 13383807, 12.1.2012.
4. *Zhodzishsky M.I., Veitsel V.A., Veitsel A.V., Nikitin D.P., Veitsel V.V.* Improving the Positioning Quality of Global Navigation Satellite System Receivers Operating in the Differential Navigation Mode // United States Patent Application, № 138380245, 17.2.2012.

Поступила 11.02.2013р.

УДК 621.313

Г.О.Кравцов, м.Київ

МОДЕЛЮВАННЯ SMART GRID

Abstract. The power grid is considered within the context of optimal control, ecology, human cognition, glassy dynamics, information theory, microphysics of clouds, and many others. Here is a review of the types of analysis that have appeared in recent years in Smart Grid modeling field.

Актуальность

Математичне моделювання – перед усім методологія [1]. Сутність цієї методології полягає в заміні похідного об’єкту його «образом» - математичною моделлю – і в подальшому вивченні моделі за допомогою алгоритмів. Моделювання, як «третій метод» пізнання, конструювання, проектування поєднує в собі багато переваг як теорії, так і експерименту.

Постановка задачі

На поточний момент в світі активно проводяться роботи щодо стандартизації в галузі Smart Grid [2]. Враховуючи актуальність та констатуючи майже відсутність матеріалів українською мовою щодо цього

питання, постає необхідність викладення матеріалів українською мовою. Але розгляд такої складної теми в межах однієї статті неможливий, тому автор поставив собі завдання розглянути хоча б одне з питань - математичне моделювання Smart Grid.

Існує багато різних концепцій моделювання інтелектуальних енергетичних мереж. Виділяють наступні концептуальні моделі:

- захищені системи, що перевіряють та контролюють самі себе - для систем, запуск та зупинка яких виконується автоматом;
- осцилятори Курамото – моделювання типів генераторів енергії, моделей споживання і так далі;
- біосистеми - моделювання розвитку інтелектуальних мереж;
- мережа випадкових запобіжників – моделі надійності;
- нейронні мережі – моделювання управління мережею енергопостачання;
- Марковські процеси - для моделювання енергосистем, в яких генерація відбувається за рахунок енергії вітру та в межах систем масового обслуговування;
- максимальної ентропії - для статистичного опису закритих і відкритих систем.

Ці концептуальні моделі вивчаються як правило в межах складних систем. Пропонується [3] інтелектуальні енергосистеми розглядати в контексті оптимального управління, екології, людського пізнання, glassy динаміки³, теорії інформації мікрофізики хмар та багато інших. Розглянемо ці концептуальні модель трохи детальніше.

В *системах захисту, які перевіряють і контролюють себе* [4] вводиться поняття підстанції, що базується на інтелектуальному захисті гібридного інспекційного модуля. Інспекційний модуль є інтелектуальним електронним пристроєм, що контролює сам себе, та входить до складу підстанції. Інспекційний модуль приєднується до телекомунікаційної мережі, де використовуються утиліти запуску та керування мережею енергосистем. Дизайн модуля інспекції повинен бути таким, щоб гарантувати перекриття існуючих елементів контролю за умови росту системи. Слід розуміти, що філософія цього концепту значно залежить від телекомунікаційної мережі, безпека якої є ключовим фактором.

Осцилятори Йошикі Курамото [5], більш відомі в російськомовній інтерпретації як рівняння Курамото-Сивашинського [6], - нелінійне диференціальне рівняння в частинних похідних для функції F , яке в ізотропному вигляді може бути приведене до вигляду:

$$\frac{\partial F}{\partial t} = -\Delta F + \Delta^2 F + \frac{1}{2} (\nabla F)^2$$

³ В фізиці твердого тіла, glassy динаміка означає край повільну динаміку, що спостерігається в неупорядкованих системах нижче та трохи вище точки склування.

Це рівняння⁴ відповідає меті збереження системи у балансі та підтримки фази синхронізації (також відома як фазова синхронізація). Різні за формою осцилятори допомагають в моделюванні різних технологій, різних типів генераторів енергії, моделей споживання і так далі.

Електричні мережі пов'язані з складними *біологічними системами* в багатьох контекстах. В дослідженні [7] електричні мережі порівнюються з соціальними мережами у дельфінів. Для біологічних систем часто застосовують еволюційні підходи, і як наслідок, проводять моделювання за допомогою еволюційних моделей.

В роботі [8] автори наводять спрощену математичну модель процесу еволюції, що була описана Г.Дульневим [9]:

«Розглянемо штучну систему, в якій змінна у часі τ параметру $q = dq/d\tau$ пропорційна значенню цього параметру. В якості q фігурує кількість хромосом в популяції. Найпростіше еволюційне рівняння має вигляд

$$\frac{dq}{d\tau} = \alpha q,$$

де α – параметр, що визначає швидкість та характер процесу еволюції.

Вирішення даного рівняння має вигляд

$$q = q_0 e^{\alpha \tau},$$

де q_0 – постійна інтегрування, що дорівнює значенню параметра q в початковий момент часу $\tau = 0$, α може бути більше або дорівнювати 0.

Для штучної системи буде характерна властивість стохастичності. Для цього вводять член $f(\tau)$, що враховує флуктуації у часі:

$$\frac{dq}{d\tau} = \alpha q + f(\tau).$$

Приведене вище диференціальне рівняння є дуже спрощеним по відношенню до реальних моделей, але дає розуміння природи таких моделей.

У теорії перколяції [10] вивчаються *мережі з випадковими запобіжниками*. У фізиці та хімії явищем перколяції (від лат. percolare , просочуватися, протікати) називається явище протікання або не протікання рідин через пористі матеріали, електрики через суміш провідних і непровідних частинок та інші подібні процеси. Теорія перколяції знаходить застосування в описі різноманітних систем і явищ, у тому числі таких, як поширення епідемій і надійність комп'ютерних мереж.

⁴ Г.І.Сивашський прийшов до цього рівняння, розглядаючи турбулентність вогню і нестійкість його меж, в той час коли Й. Курамото для моделі хімічного осцилятора і загальних міркувань відносно дисипативних фізичних систем, що описуються нелінійними диференціальними рівняннями першого порядку у часі. Обидві роботи дуже добре висвітлені в наукових публікаціях, а це рівняння входить до групи класичних нелінійних рівнянь математичної фізики.

Деякі приклади завдань, які вирішуються через теорію перколяції: Скільки треба додати мідної підмножини в ящик з піском, щоб суміш почала проводити струм? Який відсоток людей має бути сприйнятливий до хвороби, щоб стала можлива епідемія?

Явище перколяції (або протікання середовища) визначається:

- середовищем, в якій спостерігається це явище;

- зовнішнім джерелом, який забезпечує протікання в цьому середовищі;

- способом протікання середовища, який залежить від зовнішнього джерела.

В якості найпростішого прикладу можна розглянути модель протікання (наприклад електричного пробою) в двовимірній квадратній решітці, що складається з вузлів, які можуть бути провідними або непровідними. У початковий момент часу всі вузли сітки є непровідними. З часом джерело замінює непровідні вузли на провідні, і число провідних вузлів поступово зростає. При цьому вузли заміщаються випадковим чином, тобто вибір будь-якого з вузлів для заміщення є рівноймовірно для всієї поверхні решітки.

Перколяції називають момент появи такого стану решітки, при якому існує хоча б один безперервний шлях через сусідні проводять вузли від одного до протилежного краю. Очевидно, що із зростанням числа провідних вузлів, цей момент настане раніше, ніж уся поверхня решітки буде складатися виключно з провідних вузлів.

Концепт мережі з випадковими запобіжниками доцільно використовувати для передбачення перегорілих запобіжників та діодів в мережі. Використання комп'ютерного (математичного) моделювання дозволяє запобігти перевантаженням в мережі.

Для управління мережею енергопостачання часто використовують *нейронні мережі* [11, 12]. В останні роки теорія нейронних мереж привертає увагу багатьох дослідників. Інтерес до нейронних мереж породжується бажанням зрозуміти принципи роботи нервової системи і надією, що за допомогою нейронних мереж вдасться наблизитися до тієї разючої ефективності в процесах обробки інформації, якою володіють тварини і людина. До початку 80-х років в цій області був накопичений досить великий досвід, що дозволив отримати обнадійливі результати як у моделюванні біологічних феноменів, так і в розробці алгоритмів для вирішення ряду складних задач штучного інтелекту. У наступні роки з'явилася відповідна технічна база для реалізації цих алгоритмів і почалося серійне виробництво обчислювальних систем — нейрокомп'ютерів, що використовують нейромеревеві принципи паралельної обробки інформації. Таким чином, відбулося формування нового наукового напрямку, що отримав назву «нейрокомп'ютинг».

У теорії нейронних мереж існує більше десяти різних напрямків (парадигм), за рішенням тих чи інших теоретичних і прикладних завдань. Особливим напрямком досліджень є вивчення роботи осциляторних нейронних мереж (ОНМ)

Осцилятор — це множина спільно функціонуючих елементів (нейронів або нейронних ансамблів), здатних працювати в коливальному режимі. З точки зору математичного моделювання зручно представляти ОНМ у вигляді окремих, взаємодіючих між собою осциляторів.

Відмінною особливістю деяких осциляторів є наявність в їх структурі збуджуючих і гальмівних нейронів (нейронних популяцій), що розрізняються за характером впливу: збудливі нейрони збільшують, а гальмівні зменшують активність інших елементів мережі. Такі осцилятори ми будемо називати нейронними осциляторами. Осцилятор описується системою диференціальних (або різницевих) рівнянь, іноді з випадковим шумом. Таких рівнянь може бути багато (кілька десятків або сотень) у разі детального обліку специфіки біологічних нейронів. Якщо ж вивчення проводиться на рівні нейронних популяцій, то розглядаються зазвичай два-п'ять рівнянь, що описують усереднену по ансамблю динаміку кожної популяції. У разі фазового осцилятора розглядається лише одна змінна — фаза коливань.

Залежно від архітектури зв'язків між осциляторами розглядають ОНМ двох типів.

- повнозв'язні мережі осциляторів - у цьому випадку кожний з осциляторів пов'язаний з усіма іншими осциляторами;

- мережі з локальними зв'язками - у цьому випадку кожен осцилятор пов'язаний лише з осциляторами зі свого оточення фіксованого радіусу. Іноді враховуються тимчасові затримки в зв'язках.

Передбачається, що величина взаємодії (сила зв'язку) осциляторів мала. Тоді можна використовувати асимптотичні методи: той чи інший варіант теорії усереднення або ж перехід до безперервної апроксимації. Інша можливість — розгляд нейронних мереж, що складаються з дуже великого числа осциляторів. Тут використовуються асимптотичні методи, а також метод перенормування (укрупнення осциляторів). Якщо не вдається отримати аналітичні результати, то дослідження проводиться за допомогою імітаційного моделювання.

Динаміку осцилятору зручно представляти як рух уздовж траєкторії у фазовому просторі. Тоді регулярним коливанням буде відповідати граничний цикл, квазіперіодичних — тор, стохастичним — дивний (стохастичний) аттрактор. При зміні параметрів мережі можуть відбуватися біфуркації (фазові переходи), в результаті яких з'являються і зникають аттрактори системи.

Марковські процеси переважно використовують для моделювання енергосистем, в яких генерація відбувається за рахунок енергії вітру. Автономне зберігання, мінливість вітру, пропозиції та попит, ціни та інших фактори можуть бути змодельовані як математична гра. Тут метою є розробка виграної стратегії. Марківські процеси були використані для моделювання і вивчення цього типу систем [13].

Предмет теорії масового обслуговування [14]– встановлення залежності

між характером потоку замовлень, продуктивністю окремого каналу (канал обслуговування – сукупність усіх технічних пристроїв, необхідних для обслуговування одного замовлення), кількістю каналів і ефективністю обслуговування. Залежно від умов задачі і мети дослідження характеристиками ефективності обслуговування вважають: середній відсоток замовлень, які будуть обслужені (відносна пропускна здатність системи); середній час простою окремих каналів і системи загалом; середній час повного завантаження системи; середній час неповного завантаження системи; середній час перебування замовлення в системі; середня кількість замовлень, які перебувають у черзі та ін.

Багаточисельні розрахунки, здійснені під час розв’язування задач теорії масового обслуговування, засвідчують, що здебільшого задовільний за точністю розв’язок можна отримати припустивши, що всі потоки, які діють на систему, – пуассонівські, тобто процес функціонування системи є марковським випадковим процесом з неперервним часом.

Теорія систем масового обслуговування може бути застосована до моделювання процесів технічного супроводження та обслуговування енергетичних мереж.

Всі перелічені концепти є методами *максимуму ентропії* [15]. Методи максимуму ентропії застосовують для пошуку функцій розподілу фізичних величин. Методи максимуму ентропії природнім способом поєднують в собі вимоги максимальної ентропії, властивості системи та умови зв’язку у вигляді обмежень. Це дозволяє використовувати ці методи для статистичного опису закритих і відкритих систем. Ці методи частіше всього використовують для моделювання перевантаження енергетичної мережі.

Висновок.

Математичне моделювання інтелектуальних енергетичних мереж є складною науковою проблемою. Різноманітність підходів, спектр теорій, які можуть для цього бути використані, етимологія цих теорій вимагають від інженера високого рівня математичної підготовки. В межах цієї статті вирішувалося питання початку викладення матеріалів щодо математичного моделювання Smart Grid українською мовою.

1. Самарский А.А., Михайлов А.П., Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
2. Европейская комиссия Генерального директората по энергетике. Директорат В. Техническое задание Европейским организациям по стандартизации (ЕОС) на разработку стандартов для обеспечения внедрения европейской интеллектуальной электросети. М/49 EN. – с.10. -2011. – Режим доступа: http://www.smartgrid.ru/smartgrid/analytics/2012/analytics56/centercolumn/permanent/SmartgridArticleBrief/SmartgridArticleInnerCollection/0/0/text_files/file/tech.pdf .- Дата доступу: грудень 2012. – Назва з екрану.
3. Paul Bourguine; David Chavalarias; Edith Perrier; Frederic Amblard; Francois Arlabosse; Pierre Auger; Jean-Bernard Baillon; Olivier Barreteau et al. (2009). "French Roadmap for complex Systems 2008–2009". arXiv:0907.2221 – 2009. - Режим доступу:

- <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0907/0907.2221.pdf> .- Дата доступу: грудень 2012. – Назва з екрану.
4. *Pelqin Spahiu, Ian R. Evans*. Protection Systems that verify and supervise themselves–IEEE ISGT Innovative Smart Grid Technologies Europe.- 2011.- Режим доступу: http://www.ieee-isgt-2011.eu/wordpress/wp-content/uploads/2012/01/ID9_Self-Healing-Grids_Protection_Systems1.pdf.- Дата доступу: грудень 2012. – Назва з екрану.
 5. *G.Filatrella, A. H. Nielsen, N. F. Pedersen* Analysis of a power grid using a Kuramoto-like model. Режим доступу: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0705/0705.1305.pdf>.- Дата доступу: грудень 2012. – Назва з екрану.
 6. Уравнение Курамото-Сивашинского. Режим доступу: <http://www.d-dm.ru/kse/common/> .- Дата доступу: грудень 2012. – Назва з екрану.
 7. *David Lusseau*. "The emergent properties of a dolphin social network". Proceedings of the Royal Society of London B 270: S186–S188. - 2003 - Режим доступу: <http://arxiv.org/ftp/cond-mat/papers/0307/0307439.pdf>.- Дата доступу: грудень 2012. – Назва з екрану.
 8. *Дульнев Г. Н.* Введение в синергетику.— С.-Пб.: Проспект, 1998.
 9. *Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М.* Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. -432 с.
 10. *Ю.Ю.Тарасевич*. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы. – М.: Едиториал УРСС, 2002. -112 с.: ил
 11. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., исп.: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2006. – 1104 с.
 12. *Werbos*. "Using Adaptive Dynamic Programming to Understand and Replicate Brain Intelligence: the Next Level Design" - 2006. - Режим доступу: <http://arxiv.org/ftp/q-bio/papers/0612/0612045.pdf>.- Дата доступу: грудень 2012. – Назва з екрану.
 13. *M. He, S.Murugesan, J.Zhang*. "Multiple Timescale Dispatch and Scheduling for Stochastic Reliability in Smart Grids with Wind Generation Integration". – 2010. - Режим доступу: <http://arxiv.org/pdf/1008.3932v2.pdf>.- Дата доступу: грудень 2012. – Назва з екрану.
 14. *Е.С.Вентцель*. Исследование операций. – М. «Советское радио», 1972, 552 с.
 15. *Barreiro, J. Gjorgjieva, F.Rieke; E. Shea-Brown*. "When are feedforward microcircuits well-modeled by maximum entropy methods?". – 2010. - Режим доступу: <http://arxiv.org/pdf/1011.2797v3.pdf>.- Дата доступу: грудень 2012. – Назва з екрану.

Поступила 25.02.2013р.

УДК 539.1.08

В.М. Буртняк, Ю.Л. Забулонов, Ю.О. Медведєв, м.Київ.

МЕТОД УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Abstract. The article presents a general description of the method for management of the physical protection systems of environmentally hazardous