

4. Возникновение в полиэтиленовой изоляции дендритов с радиусами на порядок меньшими их длины может создавать на острие дендритов области с локальными напряжениями электрического поля в 10–100 раз большими, чем средние значения.

5. Наличие в полиэтиленовой изоляции полых проводящих дендритов создает предпосылки для развития в ней частичных разрядов, а возникновение непроводящих включений создает предпосылки для развития частичных разрядов в таких включениях.

1. Щерба А.А., Резинкина М.М. *Моделирование и анализ электрических полей энергетических объектов методом конечных объемов.* – К.: Наук. думка, 2007. – 386 с. 2. Кучинский Г.С. *Частичные разряды в высоковольтных конструкциях.* – Л.: Энергия, 1979. – 233 с. 3. *Техніка і електрофізика високих напруг.* / За ред. В.О. Бржезицького та В.М. Михайлова. – Харків: Торнадо, 2005. – 930 с. 4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Электродинамика сплошных сред.* – М.: Наука, 1980. – 560 с. 5. *FEMLAB User's Guide and Introduction. FEMLAB 2.3. COMSOL, Inc.* – 1994–2002. – 436 p. 6. Щерба А.А., Перетятко Ю.В. *Моделирование и анализ электрического поля в полимерной изоляции самонесущих изолированных проводов при наличии в ней объемных и поверхностных дефектов* // *Техн. електродинаміка. Тем. вип.: Силова електроніка та енергоефективність.* – 2007. – Ч. 1. – С. 108–112. 7. Щерба А.А., Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н. и др. *Математическое моделирование и численный расчет неоднородных электрических полей, удельных потерь и плотности поверхностных зарядов в полиэтиленовой модифицированной изоляции высоковольтных силовых кабелей* // *Техн. електродинаміка. Тем. вип.: Силова електроніка та енергоефективність.* – 2006. – Ч. 2. – С. 85–89. 8. Щерба А.А., Перетятко Ю.В. *Трехмерное моделирование электрического поля в неоднородной полиэтиленовой изоляции высоковольтных кабелей* // *Импульсные процессы в механике сплошных сред.: Матер. VII Междунар. научн. шк.-семина. (21–25 авг. 2007 г.).* – Николаев, 2007. – С. 95–98. 9. Шувалов М.Ю., Ромашкин А.В., Овсиенко В.Л. *Анализ дефектов в изоляции силовых высоковольтных кабелей методами видеомикроскопии и микроэксперимента* // *Электричество.* – 2000. – № 5. – С. 49–57. 10. Резинкина М.М., Щерба А.А., Перетятко Ю.В. *Трехмерное моделирование неоднородных электрических полей в открытых областях с применением метода поглощающих граничных условий* // *Техн. електродинаміка.* – 2007. – № 5. – С. 9–12.

УДК 621.311 : 681.3

О.Ф. Буткевич, О.В. Кириленко

Институт электродинамики НАН Украины, м. Київ

ПЕРШОЧЕРГОВІ ЗАВДАННЯ ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ РЕЖИМІВ ОЕС УКРАЇНИ

© Буткевич О.Ф., Кириленко О.В., 2007

Розглянуто підстави для створення проблемно-орієнтованої системи моніторингу режимів ОЕС України та її першочергові завдання, пов'язані з оцінюванням рівня безпеки поточних режимів, запропоновано способи їх розв'язання.

The grounds for design of problem-oriented monitoring system dealing with Ukrainian Interconnected Power System operational conditions are considered. The top-priority problems regarding the estimation of safety level for current operational conditions are examined, and the ways of their solution are offered.

Підстави для створення сучасної системи моніторингу режимів ОЕС України. Відповідно до Плану дій щодо реалізації пріоритетних положень програми інтеграції України до Євро-

пейського Союзу [10] здійснюється низка різнобічних заходів з підготовки об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України до паралельної роботи з об'єднанням енергосистем європейських країн (UCTE). Кожна електроенергетична система (ЕЕС), що входить до UCTE (або збирається це зробити), повинна задовольняти відповідні вимоги UCTE щодо технічних характеристик ЕЕС [18]. Забезпечення готовності ОЕС України до паралельної роботи з UCTE потребує розв'язання цілої низки науково-технічних комплексних завдань, не кажучи вже про організаційні, економічні, інженерні та інші заходи і завдання [2, 8]. Оскільки більшість зазначених вимог UCTE врешті-решт зводиться до забезпечення відповідних характеристик регулювання режимних параметрів та можливостей керування режимами ЕЕС, то однією з неодмінних умов виконання таких вимог для ОЕС України є створення сучасної системи моніторингу її режимів з відповідними технічними характеристиками. Базові технічні засоби для створення зазначеної системи, які задовольняють вимоги UCTE, в Україні вже розроблено (пристрої “Регіна-Ч”, розробник – Інститут електродинаміки НАН України) [11] та встановлено на п'яти об'єктах ОЕС України (на електричних підстанціях Мукачєво, Західноукраїнська та Донбаська, на Хмельницькій та Південноукраїнській АЕС), і результати синхронізованих (за сигналами системи глобального позиціонування GPS – від **Global Positioning System**) вимірів режимних параметрів надходять оперативному персоналу Національної енергетичної компанії (НЕК) “Укренерго”. Проте лише *чітке структурування самої мети*, задля якої створюється така система, з виділенням першочергових завдань та пріоритетів реалізації засобів їх розв'язання, дозволить якісно вдосконалити систему керування режимами ОЕС України.

Першочергові завдання – завдання моніторингу допустимості режимів. Використання результатів синхронізованих вимірів режимних параметрів має очевидні “плюси”, оскільки крім безпосередніх візуалізації та контролю окремих параметрів поточних режимів дозволить підвищити адекватність їх оцінювання в результаті розв'язання завдання оцінювання стану ОЕС України, передусім, завдяки використанню синхронізованих вимірів кутів напруги в окремих вузлах ОЕС (“Регіна-Ч” забезпечує вимір кута між синусоїдою напруги електричної мережі та еталонною синусоїдою 50 Гц, “прив'язаною” до сигналів точного часу GPS). Априорі очевидна доцільність такого використання підтверджується результатами розробки відповідного алгоритму оцінювання та перевірки його ефективності на IEEE 118-вузловій тестовій схемі ЕЕС [14] (при перевірці вважалося, що крім “традиційного” складу вимірів режимних параметрів відомі і результати вимірів кутів напруги у трьох вузлах зазначеної схеми ЕЕС). Очевидно, що результати синхронізованих вимірів режимних параметрів і відповідних дискретних сигналів дозволяють (але вже *post factum*) оперативніше і чіткіше аналізувати перебіг аварійних подій, зокрема і правильність функціонування пристроїв релейного захисту та автоматики, здійснювати верифікацію та налагоджування моделей “динаміки” ОЕС та ін. Проте в аспекті оперативно-диспетчерського керування режимами ОЕС України найвищий пріоритет повинні мати завдання, розв'язання яких дозволить *оцінювати рівень безпеки* поточних режимів ОЕС, їх допустимість, дозволить підвищити надійність видачі потужності з надлишкових районів ОЕС. За нових економічних умов питання оцінки допустимості режимів ОЕС набуває особливої актуальності, оскільки обмеження щодо величини потоків активної потужності в перетинах основної електричної мережі (ЕМ) ОЕС України є тим чинником, який може істотно впливати як на розташування резервів активної потужності в ОЕС, так і на ціноутворення на ринку електроенергії, тому створення сучасної системи моніторингу режимів ОЕС України повинно підпорядковуватися, насамперед, розв'язанню саме таких завдань [3]. Тобто зазначена система повинна створюватися як проблемно-орієнтована система моніторингу, підпорядкована розв'язанню завдань *проблеми безпеки режимів* ОЕС України [1–3], яку в цьому випадку можна ототожнювати з проблемою забезпечення стійкості режимів.

Мірою, яка характеризує величину запасу статичної стійкості в перетинах ЕЕС (ОЕС), чинними *Керівними вказівками* [5] передбачено використання коефіцієнтів запасу статичної

стійкості за активною потужністю у контрольованих перетинах (K_P), за нормативними значеннями яких ($K_P = 0,2$ – для нормальних та $K_P = 0,08$ – для післяаварійних режимів) визначають максимально допустимі потоки активної потужності в зазначених перетинах, враховуючи найнесприятливіші (в аспекті запасів стійкості) зміни режимів. В результаті для кожного перетину використовується мінімальне із усіх значень максимально допустимих потоків активної потужності ($P_{м.д.}$), одержаних внаслідок розрахунків при обважнінні режиму у різний спосіб

$$P_{м.д.} = (P_{гр} - \Delta P) / (1 + K_P), \quad (1)$$

де $P_{гр}$ – значення потоку активної потужності в граничному за статичною стійкістю режимі, ΔP – амплітуда нерегулярних коливань активної потужності в контрольованому перетині електричної мережі (ЕМ), K_P – нормативний коефіцієнт запасу з активної потужності.

Завдяки телевимірюванням потоків активної потужності (P_i) у кожному i -му контрольованому перетині ЕМ диспетчерський персонал має можливість контролювати поточні режими ОЕС України, керуючись умовою (2), виконання якої, згідно з [5], повинно забезпечити нормативні запаси статичної стійкості режиму ОЕС

$$P_i \leq P_{м.д.i}, \quad (2)$$

де $P_{м.д.i}$ – це $P_{м.д.}$, розрахований за (1) для i -го контрольованого перетину ЕМ.

Оскільки $P_{м.д.i}$ визначають, враховуючи орієнтацію на найнесприятливіші зміни режиму (не поточного, а того, що використовувався *базовим* для розрахунків статичної стійкості), то застосування “критерію” (2) зумовлює не тільки неефективне використання (недовикористання) пропускну здатності перетинів ЕМ в багатьох поточних режимах, але потребує і надійного моніторингу їх структури, оскільки (2) “приховує” небезпеку порушення стійкості в разі відсутності (втрати) інформації, що стосується структурних змін відповідного (i -го) перетину ЕМ (зазначені зміни впливають на $P_{гр}$ і, відповідно, на $P_{м.д.i}$).

Додатковим свідченням актуальності проблеми ефективного використання пропускну здатності перетинів ЕМ є численні дослідження останніх років, присвячені визначенню пропускну здатності перетинів ЕМ, наприклад, [15–17]. Очевидно, що основним чинником існування зазначеної проблеми є відсутність показника (параметра, індекса, коефіцієнта – справа не в назві), який би контролювався диспетчерським персоналом ЕЕС (ОЕС) і дозволяв однозначно визначати рівень безпеки поточного режиму і його залежність від зміни завантаження відповідних перетинів. Роль такого показника міг би виконувати *ступінь стійкості* ЕЕС, який визначається як абсолютна величина найбільшого дійсного власного числа або найбільшої дійсної складової пари комплексно-спряжених власних чисел характеристичної матриці ЕЕС, що відповідає запису лінеаризованих рівнянь збуреного руху ЕЕС у формі Коші. Проте *ступінь стійкості* не підлягає вимірюванню і не пов’язаний з певними перетинами ЕМ ЕЕС, хоча і вказує на “відстань” до межі стійкості (в s^{-1}). Однак при зміні (обважнінні) режиму домінуючі власні числа починають “рухатися” в комплексній площині, причому з різною “швидкістю” і не обов’язково в одному напрямі. Такий приклад наведено в таблиці, де для кожного із трьох станів ЕЕС (для початкового режиму та після кожного із двох кроків його обважніння) наведено значення одинадцяти пар найближчих до уявної осі комплексних власних чисел характеристичної матриці реальної регульованої ЕЕС (в моделі ЕЕС враховувалося 32 генератори, на 17 з яких в явному вигляді враховувалися автоматичні регулятори збудження). Зазначене обважніння (збільшення потоку активної потужності в контрольованому перетині) відбувалося шляхом відповідної зміни навантажень генераторів по обидва боки контрольованого перетину ЕМ ЕЕС. Кожну пару комплексно-спряжених власних чисел, які відповідали початковому режиму, було “пронумеровано” (обмежимося розглядом пар, наведених в таблиці в порядку зменшення дійсних складових в початковому режимі), що дозволило прослідкувати рух власних чисел в комплексній площині після кожного кроку обважніння режиму. Наприклад, пара

власних чисел № 5 після першого кроку обважніння стала найближчою до уявної осі комплексної площини, зберігаючи “лідерство” і після другого кроку, а пара № 9 після першого кроку обважніння “посіла” сьоме місце, а після другого кроку – шосте (зазначені власні числа зазначено в “затемнених” клітинах таблиці). Частина власних чисел – пари за номерами 4, 7, 8, 10 (ці власні числа зазначено курсивом) рухаються в результаті обважніння режиму в напрямі, протилежному від уявної осі. Що ж стосується дійсних власних чисел, то найбільше серед них змінювалося так: -0,09038 (початковий режим) → -0,08920 (після 1-го кроку обважніння) → -0,08876 (після 2-го кроку обважніння режиму).

Домінуючі власні числа характеристичної матриці реальної 32-машинної ЕЕС

Початковий режим		Після 1-го кроку обважніння		Після 2-го кроку обважніння	
№ пари власних чисел	Власні числа [с ⁻¹ ; Гц]	№ пари власних чисел	Власні числа [с ⁻¹ ; Гц]	№ пари власних чисел	Власні числа [с ⁻¹ ; Гц]
1	-0,05216 ± j0,9528	5	-0,04250 ± j0,8004	5	-0,03999 ± j0,7911
2	-0,05353 ± j1,8708	1	-0,05147 ± j0,9513	1	-0,05118 ± j0,9504
3	-0,06226 ± j0,7027	2	-0,05337 ± j1,8707	2	-0,05340 ± j1,8705
4	-0,06318 ± j0,9168	3	-0,06172 ± j0,6989	3	-0,06160 ± j0,6968
5	-0,06446 ± j0,8170	4	-0,06337 ± j0,9169	4	-0,06338 ± j0,9169
6	-0,06805 ± j1,084	6	-0,06812 ± j1,0839	9	-0,06729 ± j0,6477
7	-0,07500 ± j1,3489	9	-0,07273 ± j0,6483	6	-0,06810 ± j1,0837
8	-0,07579 ± j1,4720	8	-0,07593 ± j1,4682	8	-0,07595 ± j1,4661
9	-0,08188 ± j0,6493	7	-0,07810 ± j1,3450	7	-0,07974 ± j1,3429
10	-0,08286 ± j0,4720	10	-0,08426 ± j0,4712	10	-0,08472 ± j0,4708
11	-0,09076 ± j1,6590	11	-0,09069 ± j1,6541	11	-0,09059 ± j1,6513

Отже, лише аналіз характеру зміни власних чисел в процесі певного способу обважніння режиму дозволяє визначити ті, які першими досягають уявної осі комплексної площини, і встановити відповідні залежності між досягненням ними межі стійкості та завантаженням генераторів (навантаження електроспоживання) ЕЕС. Такі підходи відомі, наприклад [19], проте для реальних ЕЕС це потребує виконання багатоваріантних розрахунків режимів і обчислення власних чисел, не даючи відчутних “інформаційних” переваг в аспекті оперативного керування режимами ЕЕС.

Створення сучасної системи моніторингу режимів ОЕС України потребує виконання спеціальних досліджень режимів ОЕС України та розробки відповідного інструментарію, придатного для *on-line* розв’язання завдань оцінювання допустимості поточних режимів ОЕС України [3]. Такі дослідження стосуються як питань формування моделей, придатних для оцінювання рівня безпеки (допустимості) поточних режимів за критерієм аперіодичного порушення стійкості ОЕС (враховуючи вимоги чинних нормативних документів [5]), так і дослідження динамічних властивостей ОЕС, що впливають на умови виникнення низькочастотних коливань режимних параметрів (останнє стосується, насамперед, визначення домінуючих власних частот ОЕС України). Розв’язання цих першочергових завдань дозволить обґрунтувати місця (об’єкти) першочергового впровадження в ОЕС України додаткових (крім 5 вже встановлених на об’єктах ОЕС) пристроїв “Регіна-Ч”.

Варто зазначити, що інформативність “кутів” відома давно, і вимірювання їх значень намагаються використовувати в різних системах регулювання та керування режимами ЕЕС (ОЕС), наприклад, [9, 12, 13]. Проте більшість практичних розробок орієнтовано на локальні об’єкти та райони ЕЕС, що зумовлюється проблемою забезпечення синхронізації і точності вимірювань та відсутністю (обмеженістю) відповідних засобів передавання інформації з територіально віддалених

(по відношенню до центра керування) об'єктів ЕЕС. Зі створенням проблемно-орієнтованої системи моніторингу режимів ОЕС України проблема синхронізації і точності вимірювань зникає, тому з одержанням синхронізованих вимірювань кутів напруги в задалегідь визначених вузлах схеми ОЕС України з'являються нові можливості для розв'язання дійсно повномасштабних завдань керування режимами ОЕС України.

Один із підходів до розв'язання завдання оцінювання рівня безпеки поточних режимів за критерієм статичної (аперіодичної) стійкості ЕЕС запропоновано в [4], при цьому як теоретичний базис використано метод групового урахування аргументів (МГУА) [6, 7], який дозволяє одержувати моделі оптимальної складності. Крім того, використання алгоритму МГУА з багаторядною перцептроноподібною структурою досить істотно зменшує навантаження на обчислювальну складову процесу “евристичної самоорганізації” моделі, вигідно відрізняючись і в цьому аспекті від підходів, що використовують класичні статистичні методи. Ця обставина є принциповою з огляду на практичну можливість одержання моделей оцінювання рівня безпеки режимів ОЕС України, оскільки розміри вектора вхідних змінних – вектора параметрів, які спочатку беруться до розгляду – апріорі не можуть бути малими для ОЕС. Як і у більшості алгоритмів МГУА, в зазначеному теж використовуються опорні поліноміальні функції, і зв'язок між вхідними та вихідними змінними подається у вигляді полінома Колмогорова-Габора

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^M a_i x_i + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^M a_{ijk} x_i x_j x_k + \dots,$$

де $X(x_1, x_2, \dots, x_M)$ – вектор вхідних змінних, $A(a_1, a_2, \dots, a_{ij}, \dots, a_{ijk}, \dots)$ – вектор коефіцієнтів складових поліному Колмогорова-Габора, які підлягають визначенню.

Багаторядний алгоритм працює за схемою, показаною на рисунку, де представлено 2 ряди в загальному випадку багаторядної ієрархічної структури. До кожного наступного ряду проходять ті нові (корисні) змінні, для яких виконується умова $K_{yx} \geq \lambda$, де K_{yx} – коефіцієнт кореляції, а λ – деякий поріг. Тут принципово важливим є те, що складність моделі є оптимальною, при цьому використовується корисна інформація, наприклад така, як синхронізовані вимірювання кутів напруги в певних вузлах ЕЕС, які також є “неявними” носіями інформації про *структурні зміни* в ЕМ ЕЕС, що дозволяє позбавитися недоліку при оцінюванні допустимості режиму, який існує в разі використання умови (2).

Особливості застосування цього алгоритму для одержання моделі оцінювання рівня безпеки режимів ЕЕС відповідно до вимог [5] викладено в [4]. Для ілюстрації використано 6-машинну тестову схему ЕЕС, дані щодо якої наведено в [3] (зазначену схему запропоновано свого часу Інститутом “Енергосетьпроект”, м. Москва). У разі створення аналогічних моделей оцінювання для ОЕС України і забезпеченні надходження потрібної для них “синхронізованої” інформації вони можуть безпосередньо використовуватися в НЕК “Укренерго” диспетчерським персоналом.

Під час створення аналогічних моделей оцінювання для ОЕС України і забезпечення надходження потрібної для них оперативної інформації вони можуть безпосередньо використовуватися в НЕК “Укренерго” диспетчерським персоналом.

Інше першочергове завдання проблемно-орієнтованої системи моніторингу режимів ОЕС України пов'язане з визначенням потенційно небезпечних (в аспекті порушення стійкості) домінуючих власних частот ОЕС [3]. З цією метою практично доцільним є використання методів спектрального аналізу, які можна застосувати як на етапі досліджень при обробці результатів моделювання режимів ОЕС, так і вже при функціонуванні проблемно-орієнтованої системи моніторингу режимів ОЕС України. Моделювання електромеханічних перехідних процесів для тієї ж 6-машинної тестової схеми ЕЕС, що використовувалася в [4] (моделювалися збурення у вигляді коротких замикань (КЗ) на лініях електропередачі з різною тривалістю – від 0,02 до 0,08 с, після чого шунт КЗ відключався), було джерелом інформації для спектрального аналізу. Значення

виявлених частот вільних коливань (на рівні 4,9 та 8,4 рад/с) можна вважати задовільним збігом з результатами, наведеними в [3] для даної ЕЕС.

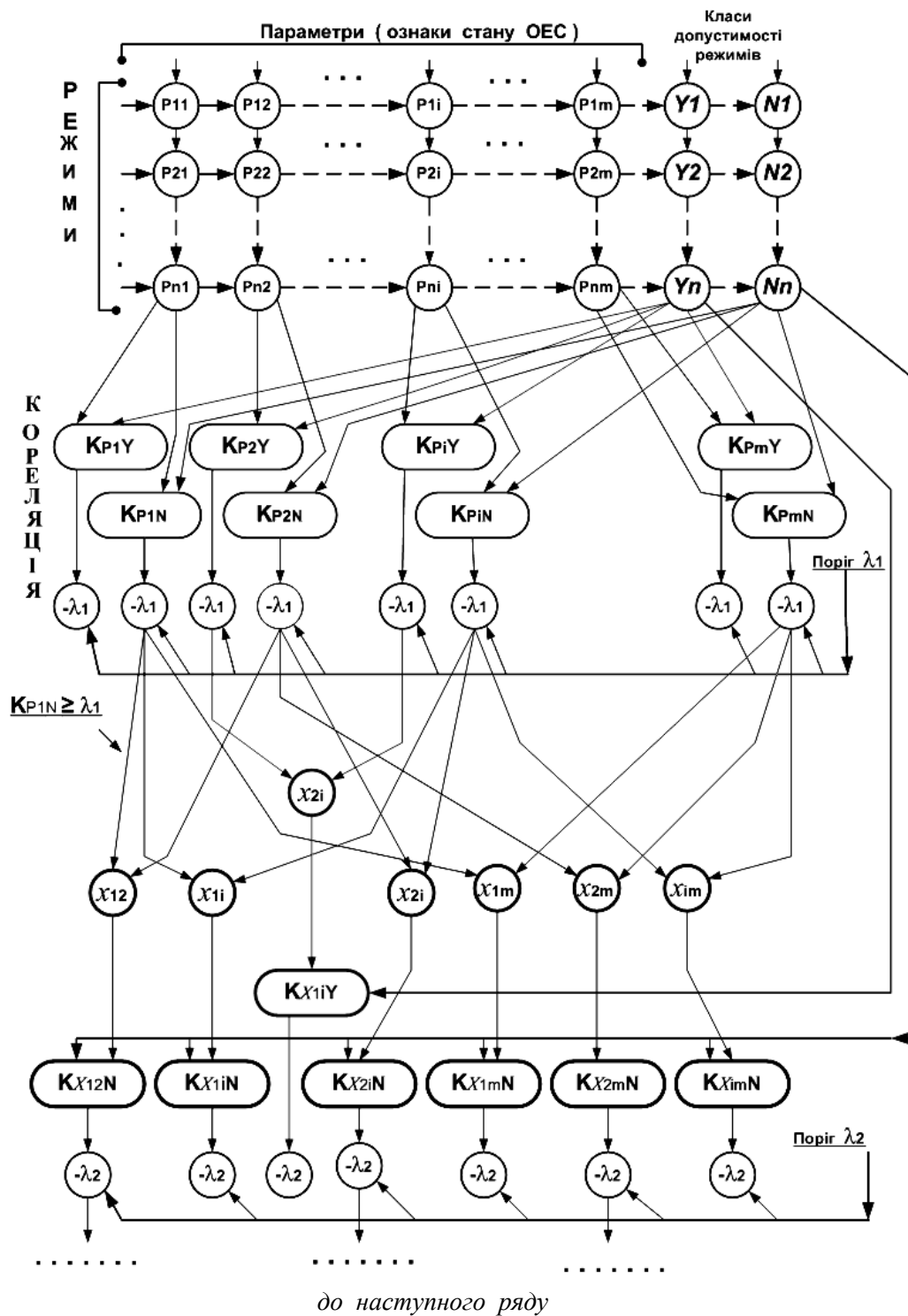


Рис. 1. Загальна схема алгоритму навчання

Висновки. Необхідні передумови для створення проблемно-орієнтованої системи моніторингу режимів ОЕС України вже існують, потрібен певний час для виконання спеціальних досліджень і формування навчальних вибірок інформації щодо режимів ОЕС України, для розробки відповідного інструментарію розв'язання першочергових завдань оцінювання рівня безпеки

поточних режимів ОЕС. Розв'язання зазначених завдань потребує і відповідного впровадження засобів їх інформаційного забезпечення.

1. Буткевич О.Ф., Кириленко О.В., Кузнецов В.Г., Тугай Ю.І. Один із аспектів енергетичної безпеки України // *Техн. електродинаміка. Тем. вип.: Силова електроніка та енергоефективність*. – 2003. – Ч. 2. – С. 100–103. 2. Буткевич О.Ф., Зорін М.Є. Деякі аспекти інтеграції ОЕС України в об'єднання енергосистем європейських країн // *Техн. електродинаміка. Тем. вип.: Силова електроніка та енергоефективність*. – 2006. – Ч. 1. – С. 73–78. 3. Буткевич О.Ф. Проблемно-орієнтований моніторинг режимів ОЕС України // *Техн. електродинаміка*. – 2007. – № 5. – С. 39–52. 4. Буткевич О.Ф., Левконюк А.В. Оцінювання рівня безпеки поточних режимів ОЕС України // *Техн. електродинаміка. Тем. вип.: Силова електроніка та енергоефективність*. – 2007. – Ч. 1. – С. 68–73. 5. ГКД 34.20.575-2002. Стійкість енергосистем: Керівні вказівки. – К.: КВІЦ, 2002. – 48 с. 6. Ивахненко А.Г. Системы эвристической самоорганизации в технической кибернетике. – К.: Техніка, 1971. – 372 с. 7. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. – К.: Наук. думка, 1982. – 296 с. 8. Кириленко О.В., Денисюк С.П., Рибіна О.Б., Баталов А.Г. Перспективи інтеграції ОЕС України в європейську систему UCTE // *Техн. електродинаміка. Тем. вип.: Силова електроніка та енергоефективність*. – 2006. – Ч. 1. – С. 63–68. 9. Литвинов Е.Г. Оперативный контроль режимов активной мощности в сложных энергосистемах: Автореф. дис. ...канд. техн. наук / УрПИ. – Свердловск, 1987. – 16 с. 10. Розпорядження КМУ від 27 грудня 2002 р. № 744-р “Про заходи щодо реалізації пріоритетних положень Програми інтеграції України до Європейського Союзу в 2003 році”. 11. Стогній Б.С., Сопель М.Ф., Слинко В.М. та ін. Створення технічних засобів системи моніторингу перехідних режимів енергосистем та їх метрологічне забезпечення // *Праці Ін-ту електродинаміки НАНУ*. – 2007. – № 1 (16). – С. 16–22. 12. Юревич Е.И. Регулирование по углу частоты, обменной мощности и времени в крупных энергосистемах и их объединениях: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Львів, 1952. – 16 с. 13. Юревич Е.И. Разработка системы автоматического регулирования сверхмощных объединенных энергосистем по углу: Автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. – Львів, 1963. – 23 с. 14. Jiang W., Vittal V., Heydt G.T. A distributed state estimator utilizing synchronized phasor measurements // *IEEE Trans. on Power Systems*. – 2007. – Vol. 22, No 2. – P. 563–571. 15. Khairuddin A.B., Ahmed S.S., Mustafa M.W. et al. A novel method for ATC computations in a large-scale power system // *IEEE Trans. on Power Systems*. – 2004. – Vol. 19, No 2. – P. 1150–1157. 16. Stahlhut J.W., Heydt G.T. Stochastic-algebraic calculation of available transfer capability // *IEEE Trans. on Power Systems*. – 2007. – Vol. 22, No 2. – P. 616–623. 17. Su C.-L., Lu C.-N. Two-point estimate method for quantifying transfer capability uncertainty // *IEEE Trans. on Power Systems*. – 2005. – Vol. 20, No 2. – P. 573–579. 18. UCTE Operation Handbook. – Brussels, UCTE, 2004 (<http://www.ucte.org>). 19. Wen X., Ajarapu V. Application of a novel eigenvalue trajectory tracing method to identify both oscillatory stability margin and damping margin // *IEEE Trans. on Power Systems*. – 2006. – Vol. 21, No 2. – P. 817–824.