

**В. М. Авраменко, д. т. н., проф.; Н. Т. Юнєсва, к. т. н.**

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ДОЗОВАНИХ КЕРІВНИХ ДІЙ В АДАПТИВНІЙ АВТОМАТИЦІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ЕЕС**

*Кінцева мета проекту – створення адаптивної протиаварійної автоматики забезпечення стійкості Об'єднаної енергетичної системи України в заданому перетині ОЕС. Адаптивність забезпечують шляхом корекції з певним інтервалом часу уставок мікропроцесорної протиаварійної автоматики відповідно до умов поточного електричного режиму ОЕС. Параметри поточного режиму визначають розрахунком оцінювання стану (електричного режиму) ОЕС на основі телевимірювань. Обсяги керівних дій для забезпечення нормативів стійкості визначають на заданій множині зовнішніх збурень і для заданих траєкторій обваження режиму.*

**Ключові слова:** електроенергетична система, перетин, статична стійкість, протиаварійна автоматика, адаптовані керівні дії.

### **Вступ**

Складником проекту створення адаптивної протиаварійної автоматики запобігання порушення статичної стійкості (АЗПС) ОЕС України в заданому перетині [1] є розробка програмних засобів автоматизації розрахунку дозованих керівних дій. Адаптивність автоматики забезпечують шляхом корекції з певним інтервалом часу уставок мікропроцесорної протиаварійної автоматики (ПА) відповідно до умов поточного електричного режиму ОЕС. Параметри поточного режиму визначають розрахунком оцінювання стану ОЕС на основі телевимірювань програмним комплексом КОСМОС.

До складу централізованого комплексу технічних засобів АЗПС входять засоби виміру доаварійної інформації, пускові (ПО) й виконавчі (ВО) органи, пристрої автоматичного дозування керівних впливів (АДВ), пристрої автоматичного запам'ятовування дозування керівних впливів (керівних дій – КД) (АЗД) і пристрої прийому-передачі доаварійної та аварійної інформації, сигналів-команд керування. Засоби виміру доаварійної інформації забезпечують інформацію, необхідну для розрахунків у засобах АДВ керівних впливів за закладеними алгоритмами, а саме:

- стан комутаційних апаратів ліній, трансформаторів, генераторів або блоків генератор-трансформатор і т. п.;
- режим мережі (потужність, струм, напруга ліній і вузлів перетину), яку контролюють, і прилеглої до нього;
- інші параметри, що визначають керівні впливи.

Інформацію про вихідний стан схеми й режим мережі (доаварійна інформація) до АДВ передають по каналах зв'язку з використанням апаратури телемеханіки та по іншим спеціалізованим інформаційним каналам.

На основі виміру й розрахунку параметрів доаварійного режиму енергосистеми в АДВ для всіх аварійних збурень (АЗ), визначають керівні впливи (КВ). Вибір КВ виконують на основі періодичних розрахунків стійкості для поточних режимів до виникнення аварійного збурення (фактично алгоритм «І До»). Інтенсивність керівних впливів визначають попереднім режимом, видом АЗ і необхідним зниженням потужності в перетині для забезпечення стійкості в післяаварійному режимі.

### **Результати дослідження**

Обсяги керівних дій для забезпечення нормативів стійкості [2] визначають на заданій множині зовнішніх збурень і для заданих траєкторій обваження режиму й передають у Наукові праці ВНТУ, 2016, № 1

центральний комплекс автоматики через інформаційну мережу «ЕНЕРГІЯ».

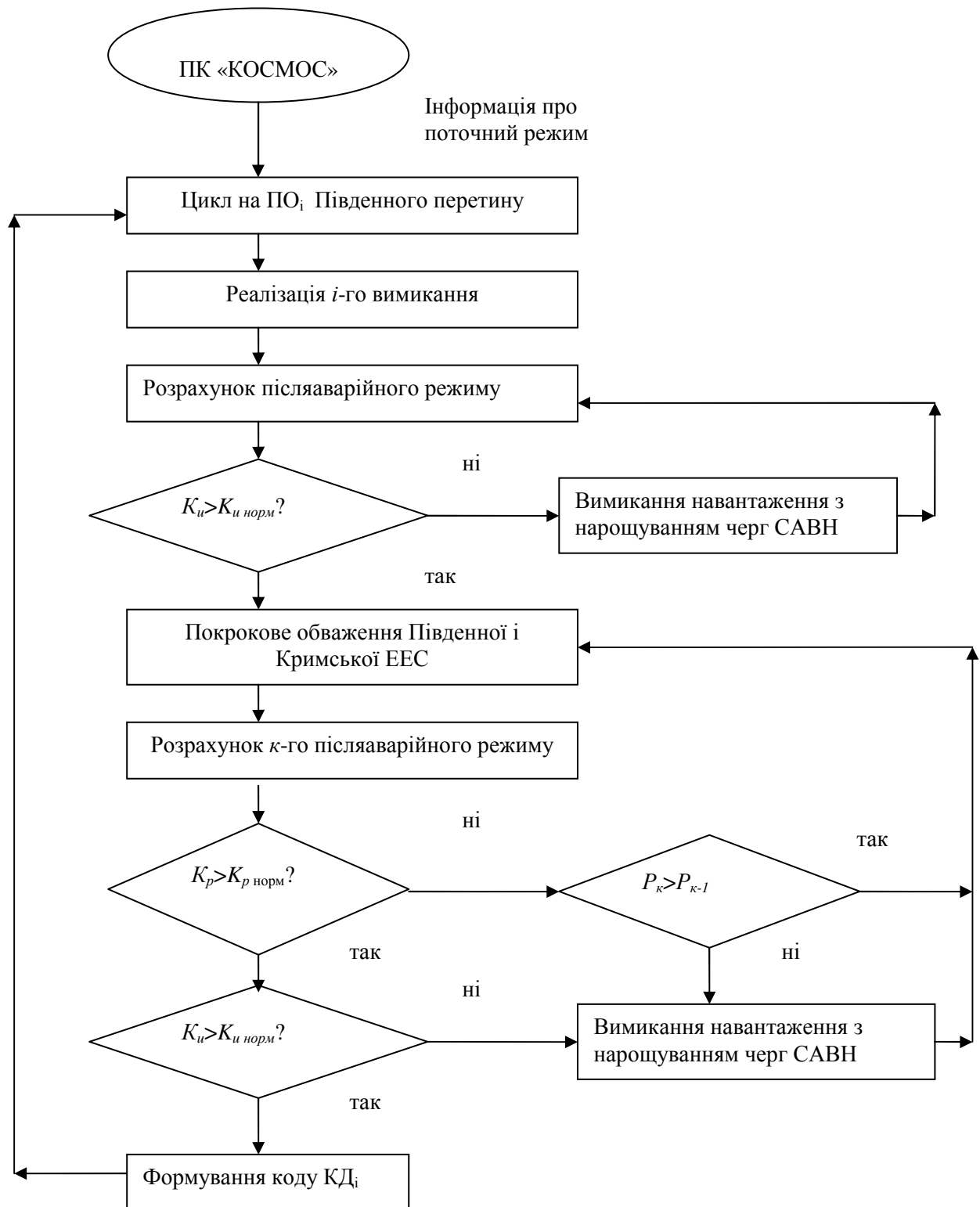


Рис 1. Загальний алгоритм дії адаптивної ПА

Траекторія обваження – це послідовність обважнених усталених режимів, завдяки якій досягається межа області статичної стійкості для поточної схеми та режиму роботи енергосистеми. Призначення АЗПС – виконати такі вимикання навантаження у вузлах енергосистеми, які здійснюються спеціальною автоматикою САВН, які забезпечать нормативний запас стійкості в контрольованому перетині [3]. Пусковими органами (ПО)

автоматики є перелік аварійних збурень, які переводять систему в післяаварійний стан зі зниженим рівнем стійкості, який визначають коефіцієнтами запасу стійкості з активної потужності  $K_p$  та за напругою  $K_u$ .

Отже, загальний алгоритм дії адаптивної ПА (рис. 1) передбачає зовнішній цикл по пускових органах автоматики та цикл покрокового обважнення післяаварійного режиму з обчисленням і перевіркою коефіцієнтів  $K_p$  і  $K_u$ . Якщо ми досягаємо нормативних значень  $K_p_{нормат.}$  і  $K_u_{нормат.}$ , робимо висновок: керівні дії автоматики для забезпечення статичної стійкості післяаварійного режиму для цього ПО<sub>i</sub> не потрібні. У протилежному випадку виконують цикл на виконання керівних дій. Метою алгоритму є формування коду керівних дій (КД) як послідовності нулів і одиниць (одиниця – сигнал на вимикання навантаження, нуль – відсутність сигналу) у відповідності до послідовності черг САВН.

Сформовані таблиці КД запам'ятовує пристрій АЗД, який збудовано на основі апаратури RTU-560 фірми АВВ, що дозволяє обмін даними за протоколом IEC 60870-5-104, а також прийом з пускових органів і видачу до виконавчих органів (ВО) дискретних сигналів. Для прийому команд з ПО та передачі команд на ВО використовують наявні команди «ПА ПВДНЯ» (автоматики, центральний комплекс якої розташований на ПС-330кВ Ново-Каховська і яка забезпечує стійкість ОЕС у одному з найбільш напружених регіонів), що розмножуються (у випадку ПО) або дублюються (у випадку ВО).

Особливість цієї задачі полягає в необхідності розрахунку самоусталених за напругою післяаварійних режимів, які утворюються після аварійних збурень під дією автоматичних регуляторів збудження (АРЗ) синхронних генераторів і компенсаторів.

Алгоритми адаптивної ПА було реалізовано у спеціальному модулі, який включено до Програмного комплексу аналізу режимів електроенергетичних систем. Передбачена робота модуля розрахунку обсягу керівних дій у складі централізованого комплексу адаптивної протиаварійної автоматики забезпечення стійкості Об'єднаної енергетичної системи України в заданому перетині ОЕС шляхом створення відповідного протоколу обміну інформацією.

Тестування програмного модуля визначення обсягу керівних дій проводили саме у складі Програмного комплексу аналізу стійкості ЕЕС АВР-74 [4].

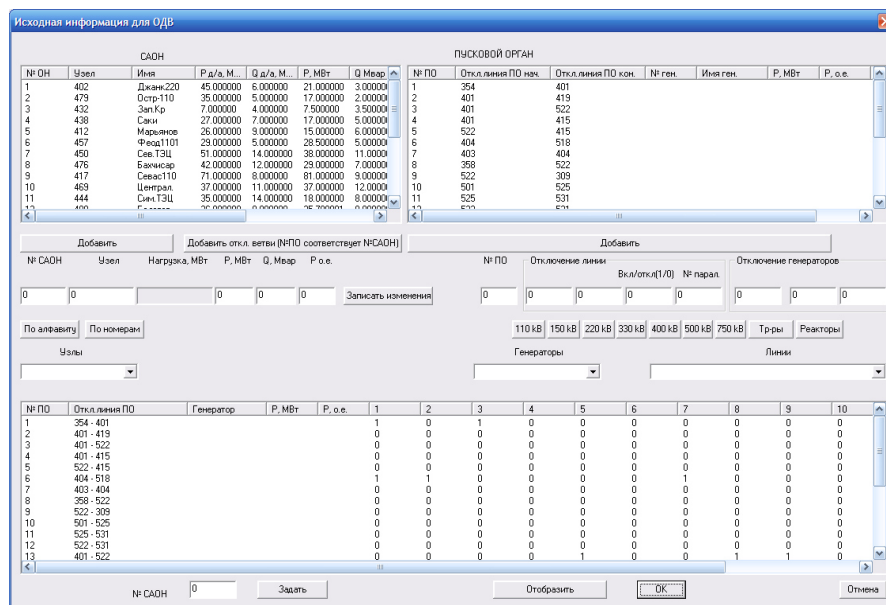


Рис. 2. Меню підготовки інформації

Інформаційною базою для виконання розрахунків є параметри режиму, який отримано з Програмного комплексу КОСМОС. Для вводу інформації (рис. 2) щодо складу керівних дій, використовуючи дані про встановлені у визначених для заданого перетину вузлах електричної мережі пристрої САВН, задають послідовність вимикання навантаження згідно з наявною (заздалегідь визначеною) послідовністю. Для цього зі списку вузлів вибирають вузли, у яких передбачено САВН, і задають обсяги навантаження, які вони вимикають.

Для забезпечення нормативів стійкості обсяги керівних дій визначають за певних зовнішніх збурень, які задають із запропонованого списку. Сервіс, який надає програмний комплекс, дозволяє швидко знаходити та задавати відповідні дії. Після формування таблиць керівних дій та збурень, які їх спричиняють, заповнюють таблицю їхньої взаємної відповідності. Для цього після безпосереднього відображення можливих комбінацій згідно з чинними документами задають для кожного окремого збурення або групи збурень номери черги керівних дій. Отже, файл вихідної інформації сформовано. Далі розрахунки режимів виконують згідно з алгоритмом (рис. 1).

Тестування проводили на режимі ОЕС України, обсяги керівних дій та список збурень відповідали 02.03.2012. Спочатку для кожного окремого збурення (або траєкторії обважнення) розраховують усталений доаварійний режим і з'ясовують, чи приведе це до зниження коефіцієнтів запасу стійкості за потужністю та напругою, нижчими за нормативні. Якщо так, то виконують розрахунки післяаварійних усталених режимів з урахуванням черг керівних дій до повернення коефіцієнтів запасу стійкості в допустимі межі або до вичерпання передбаченого САВН. Отже, завдяки поступовому дискретному збільшенню навантаження, яке вимикають, з одночасним розрахунком післяаварійного режиму й перевіркою коефіцієнтів запасу здійснюють визначення обсягів керівних дій, необхідних для забезпечення запасу стійкості. Вихідний режим, розрахований ПК КОСМОС, зберігають у бібліотеці, під час кожного розрахунку за іншим збуренням читають, і він стає базовим. Вимикання САВН створюють сценарій, за яким виконують розрахунки. Результати надають у вигляді таблиці, яку записують у необхідному форматі для передачі відповідним засобам ПА.

Для тестування Програмного модуля було виконано розрахунок обсягу керівних дій для схеми НЕК «Укренерго» 714 вузлів, 1137 ліній. Сумарне навантаження ОЕС України, за результатами доаварійного режиму, складає 27766 МВт, а сумарна генерація – 30624 МВт.

Group	Value 1	Value 2	Value 3	Value 4	Value 5	Value 6	Value 7	Value 8	Value 9	Value 10	
454	29.66	0.12	450	93.84	0.14	417	94.13	0.14	459	31.28	0.14
460	92.85	0.15	449	93.84	0.15	448	93.90	0.15	461	92.07	0.15
462	91.95	0.15	463	92.12	0.15	476	99.84	0.15	494	92.31	0.15
N_PO=3											
Отключена ветвь 401 - 522											
rg_saop=0 Min Козф. зап.= 0.242433 N узла= 454											
АРАС Н А П Р Я Ж Е Н И Я К р ы м а (к о л и ч е с т в о у з л о в с н а г р . = 7 2 )											
454	34.50	0.24	477	35.82	0.25	475	112.76	0.26	481	112.48	0.26
482	112.34	0.26	450	109.14	0.26	449	108.79	0.26	417	109.49	0.26
460	107.78	0.26	461	106.57	0.26	483	112.07	0.26	462	106.25	0.26
N_PO=4											
Отключена ветвь 401 - 415											
rg_saop=0 Min Козф. зап.= 0.258008 N узла= 454											
АРАС Н А П Р Я Ж Е Н И Я К р ы м а (к о л и ч е с т в о у з л о в с н а г р . = 7 2 )											
454	35.23	0.26	477	36.56	0.26	475	115.11	0.28	481	114.82	0.28
482	114.68	0.28	450	111.42	0.28	483	114.38	0.28	417	111.78	0.28
420	226.51	0.28	449	111.10	0.28	460	110.06	0.28	459	37.14	0.28
N_PP=5											

Рис. 3. Фрагмент протоколу розрахунку об'єму керівних дій

Автоматика вимкнення навантаження задана в межах Кримської енергосистеми, список збурень, унаслідок яких спрацьовує ця автоматика, також задано згідно з чинними Наукові праці ВНТУ, 2016, № 1

вказівками. Програмний комплекс дозволяє передбачити розрахунок усіх збурень, які передбачено нормативним документом (передбачено 13 САВН і 15 різних збурень). Інтерфейс Програмного комплексу дозволяє не тільки отримати результативну карту керівних дій, а й дослідити протокол ходу розрахунку (рис. 3). Досліджуючи результати розрахунку, можна зробити висновок, що для наявного режиму за збурень: вимкнення ліній 330 кВ Мелітополь – Джанкой, 220 кВ Каховський ГПП – Титан та вимкненні генератора на Симферопольській ТЕС з потужністю 25 МВт – запас стійкості в межах допустимого. Але за одночасного вимкнення ліній 330 кВ Мелітополь – Джанкой, Каховський ГПП – Островська та ліній 220 кВ Каховська ГПП – Титан спостерігають значення коефіцієнта запасу стійкості нижче за нормативне, і передбачені в заданому обсязі керівні дії не забезпечать повернення його в допустимі межі.

### Висновки

Показано, що для розв'язання задачі забезпечення статичної стійкості в заданому перетині ОЕС України доцільно використовувати створені програмні засоби автоматизації розрахунку дозованих керівних дій. Наведено основні характеристики програмних засобів та результати їхнього тестування на визначеному режимі ОЕС України.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Авраменко В. М. Адаптивна протиаварійна автоматика забезпечення статичної стійкості енергосистеми / В. М. Авраменко, Б. С. Стогній, М. Ф. Сопель, В. Л. Прихно // Технічна електродинаміка. – 2014. – № 4. – С. 50 – 52.
2. Стійкість енергосистем. Керівні вказівки : СОУ-Н МЕНВ 40.1 – 00100227 – 68 : 2012. – Офіц. вид. – Київ : ГРІФРЕ : Міненерговугілля України, 2012. – 35 с.
3. Авраменко В. М. Дослідження алгоритму скоординованого керування перетинами для забезпечення стійкості енергооб'єднання / В. М. Авраменко, Т. М. Гурєєва, Н. О. Бабіч, А. О. Янкіна // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – 2015. – Вип. 40. – С. 5 – 9.
4. Авраменко В. Н. Модели, методы и программные средства для расчета и анализа переходных режимов и устойчивости ЭЭС / В. Н. Авраменко // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. Зб. наук. праць. – 2007. – Вип. 18. – С. 12 – 26.

Рекомендована **III Міжнародною науково-технічною конференцією «Оптимальне керування електроустановками» (ОКЕУ-2015).**

*Авраменко Володимир Миколайович* – д. т. н., проф., провідний науковий співробітник, e-mail: avr@ied.org.ua.

*Юнєєва Наталія Тахірджанівна* – к. т. н., науковий співробітник.  
Інститут електродинаміки НАН України, Київ.