

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

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ДОЗИРОВАННЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В АДАПТИВНОЙ АВТОМАТИКЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЭС**

*Конечная цель проекта – создание адаптивной противоаварийной автоматики обеспечения устойчивости Объединенной энергетической системы Украины в заданном сечении ОЭС. Адаптивность обеспечивают путем коррекции с определенным интервалом времени уставок микропроцессорной противоаварийной автоматики в соответствии с условиями текущего электрического режима ОЭС. Параметры текущего режима определяют расчетом оценки состояния (электрического режима) ОЭС на основе телеизмерений. Объемы руководящих действий для обеспечения нормативов устойчивости определяют на заданном множестве внешних возмущений и для заданных траекторий утяжеления режима.*

**Ключевые слова:** *электроэнергетическая система, сечение, статическая устойчивость, противоаварийная автоматика, адаптированные управляющие воздействия.*

### **Введение**

Составной частью проекта создания адаптивной противоаварийной автоматики предотвращения нарушения статической устойчивости (АПНУ) ОЭС Украины в заданном сечении [1] является разработка программных средств автоматизации расчета дозированных управляющих воздействий. Адаптивность автоматики обеспечивают путем коррекции с определенным интервалом времени уставок микропроцессорной противоаварийной автоматики (ПА) в соответствии с условиями текущего электрического режима ОЭС. Параметры текущего режима определяют расчетом оценки состояния ОЭС на основе телеизмерений программным комплексом КОСМОС.

В состав централизованного комплекса технических средств АПНУ входят средства измерения доаварийной информации, пусковые (ПО) и исполнительные органы (ИО), устройства автоматического дозирования управляющих воздействий (АДВ), устройства автоматического запоминания дозировки управляющих воздействий (УВ) (АЗД) и устройства приема-передачи доаварийной и аварийной информации, сигналов-команд управления. Средства измерения доаварийной информации обеспечивают информацию, необходимую для расчетов в средствах АДВ управляющих воздействий по заложенным алгоритмам, а именно:

- состояние коммутационных аппаратов линий, трансформаторов, генераторов или блоков генератор-трансформатор и т. п.;
- режим сети (мощность, ток, напряжение линий и узлов сечения), контролируемой и прилегающей к нему;
- другие параметры, определяющие управляющие воздействия.

Информацию об исходном состоянии схемы и режим сети (доаварийная информация) в АДВ передают по каналам связи с использованием аппаратуры телемеханики и по другим, специализированным информационным каналам.

На основе измерения и расчета параметров доаварийного режима энергосистемы в АДВ для всех аварийных возмущений (АВ) определяют управляющие воздействия (УВ). Выбор УВ выполняют на основе периодических расчетов устойчивости для текущих режимов к возникновению аварийного возмущения (фактически алгоритм «I До»). Интенсивность

управляющих воздействий определяют предыдущим режимом, видом АВ и необходимым снижением мощности в сечении для обеспечения устойчивости в послеаварийном режиме.

### Результаты исследования

Объемы управляющих воздействий для обеспечения нормативов устойчивости [2] определяют на заданном множестве внешних возмущений и для заданных траекторий утяжеления режима и передают в центральный комплекс автоматики через информационную сеть «ЭНЕРГИЯ».

Траектория утяжеления – это последовательность утяжеленных установившихся режимов, благодаря которой достигается граница области статической устойчивости для текущей схемы и режима работы энергосистемы. Назначение АЗПС – выполнить такие выключения нагрузки в узлах энергосистемы, осуществляемых специальной автоматикой САВН, которые обеспечат нормативный запас устойчивости в контролируемом сечении [3]. Пусковыми органами (ПО) автоматики является перечень аварийных возмущений, которые переводят систему в послеаварийное состояние с пониженным уровнем устойчивости, который определяют коэффициентами запаса устойчивости с активной мощностью  $K_p$  и по напряжению  $K_u$ .

Таким образом, общий алгоритм действия адаптивной ПА (рис. 1) предусматривает внешний цикл по пусковым органам автоматики и цикл пошагового утяжеления послеаварийного режима с исчислением и проверкой коэффициентов  $K_p$  и  $K_u$ . Если мы достигаем нормативных значений  $K_p$  нормативы. и  $K_u$  нормативы., делаем вывод: руководящие действия автоматики для обеспечения статической устойчивости послеаварийного режима для данного ПОИ не нужны. В противном случае выполняют цикл на выполнение руководящих действий. Целью алгоритма является формирование кода руководящих действий (КД) в виде последовательности нулей и единиц (единица – сигнал на выключение нагрузки, ноль – отсутствие сигнала) в соответствии с последовательностью очередей САОН.

Сформированные таблицы УВ записывает устройство АЗД, построенное на основе аппаратуры RTU-560 фирмы АВВ, что позволяет обмен данными по протоколу IEC 60870-5-104, а также прием с пусковых органов и выдачу в исполнительные органы (ИО) дискретных сигналов. Для приема команд с ПО и передачи команд на ПО используют существующие команды «ПА ЮГА» (автоматики, центральный комплекс которой находится на ПС-330 кВ Ново-Каховская и которая обеспечивает устойчивость ОЭС в одном из самых напряженных регионов), которые размножаются (в случае ПО) или дублируются (в случае ИО).

Особенность данной задачи состоит в необходимости расчета самоустановившихся по напряжению послеаварийных режимов, образующихся после аварийных возмущений под действием автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) синхронных генераторов и компенсаторов.

Алгоритмы адаптивной ПА были реализованы в специальном модуле, который включен в Программный комплекс анализа режимов электроэнергетических систем. Предполагается работа модуля расчета объема управляющих воздействий в составе централизованного комплекса адаптивной противоаварийной автоматики обеспечения устойчивости Объединенной энергетической системы Украины в заданном сечении ОЭС путем создания соответствующего протокола обмена информацией. Тестирование программного модуля определения объема управляющих воздействий проводили именно в составе Программного комплекса анализа устойчивости ЭЭС АВР-74 [4].

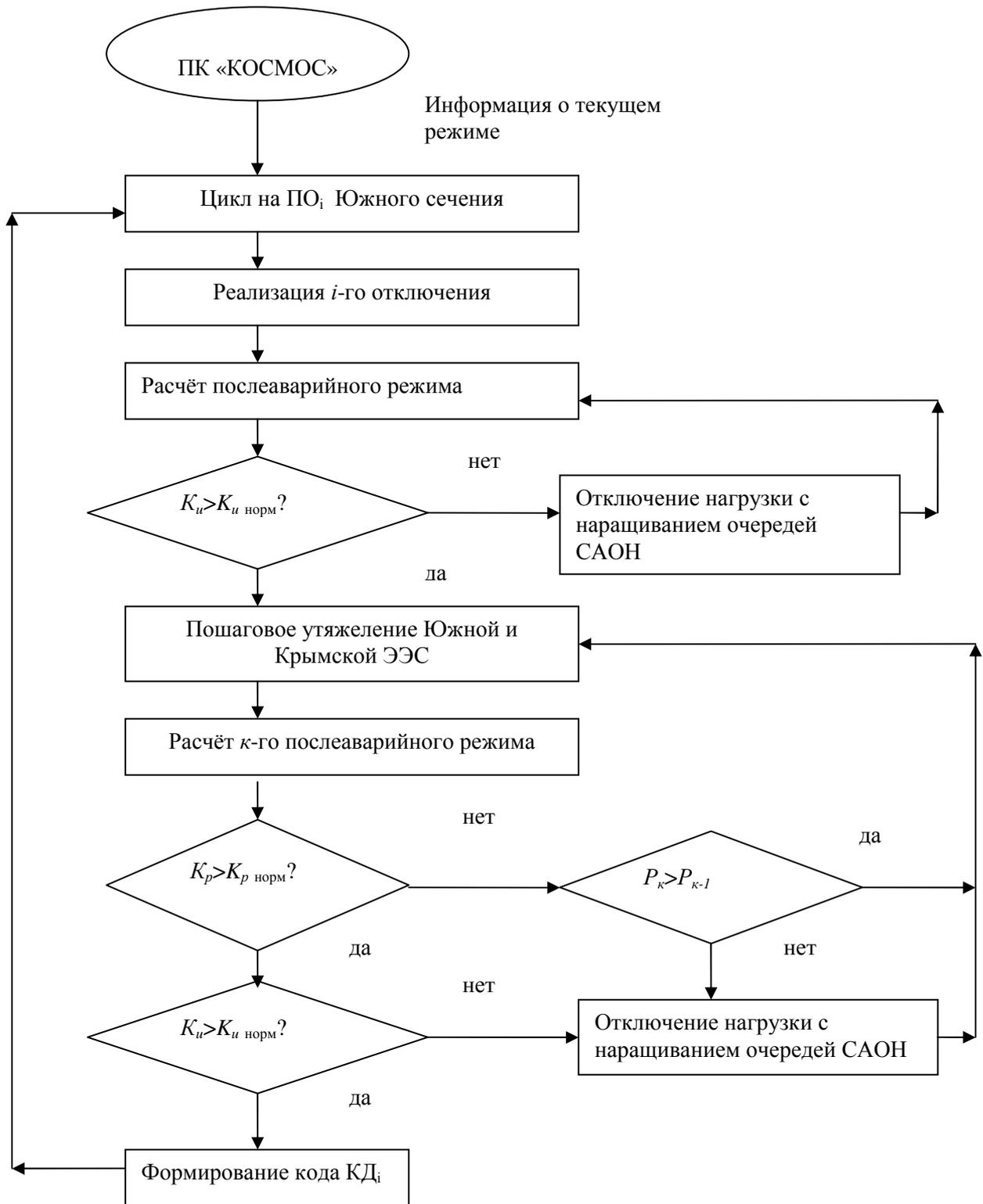


Рис. 1. Общий алгоритм действия адаптивной ПА

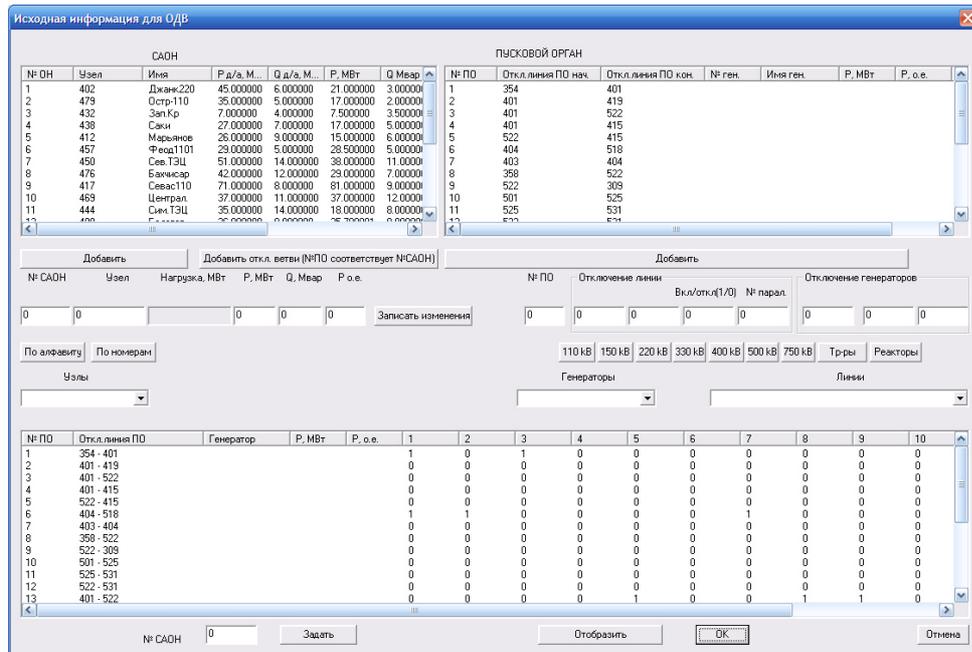


Рис. 2. Меню подготовки информации

Информационной базой для выполнения расчетов являются параметры режима, который получен из программного комплекса КОСМОС. Для ввода информации (рис. 2) о составе управляющих воздействий, используя данные об установленных в определенных для заданного сечения узлах электрической сети устройствах САОН, задают последовательность выключения нагрузки согласно существующей (заранее определенной) последовательности. Для этого из списка узлов выбирают узлы, в которых предусмотрено САОН, и задают объемы нагрузки, которые они выключают.

Для обеспечения нормативов устойчивости объемы управляющих воздействий определяют при внешних возмущениях, которые задают из предложенного списка. Сервис, предоставляющий программный комплекс, позволяет быстро находить и задавать соответствующие действия. После формирования таблиц управляющих воздействий и возмущений, которые их вызывают, заполняют таблицу их взаимного соответствия. Для этого после непосредственного отображения возможных комбинаций согласно существующим документам задают для каждого отдельного возмущения или группы возмущений номера очереди управляющих воздействий. Таким образом, файл исходной информации сформирован. Далее расчеты режимов выполняют согласно алгоритму (рис. 1).

Тестирование проводили на режиме ОЭС Украины, объемы управляющих воздействий и список возмущений соответствовали 02.03.2012. Сначала для каждого отдельного возмущения (или траектории утяжеления) рассчитывают установившийся доаварийный режим и выясняют, приведет ли это к снижению коэффициентов запаса устойчивости по мощности и напряжению, ниже нормативных. Если так, то выполняют расчеты послеаварийных установившихся режимов с учетом очередей управляющих воздействий для возвращения коэффициентов запаса устойчивости в допустимые пределы или до исчерпания предусмотренного САОН. Таким образом, благодаря постепенному дискретному увеличению отключаемой нагрузки с одновременным расчетом послеаварийного режима и проверкой коэффициентов запаса осуществляют определение объемов управляющих воздействий, необходимых для обеспечения запаса устойчивости. Исходной режим, рассчитанный ПК КОСМОС, сохраняют в библиотеке, при каждом расчете по другому возмущению читают, и он становится базовым. Отключения САОН создают сценарий, по которому выполняют

расчеты. Результаты представляют в виде таблицы, которую записывают в необходимом формате для передачи соответствующим средствам ПА.

Для тестирования Программного модуля был выполнен расчет объема управляющих воздействий для схемы НЭК «Укрэнерго» 714 узлов, 1137 линий. Суммарная нагрузка ОЭС Украины, по результатам доаварийного режима, составляет 27766 МВт, а суммарная генерация – 30624 МВт.



Рис. 3. Фрагмент протокола расчета объема управляющих воздействий

Автоматика отключения нагрузки задана в пределах Крымской энергосистемы, список возмущений, в результате которых срабатывает эта автоматика, также задают согласно существующим инструкциям. Программный комплекс позволяет выполнить расчет всех возмущений, предусмотренных нормативным документом (предусмотрено 13 САОН и 15 различных возмущений). Интерфейс программного комплекса позволяет не только получить результирующую карту управляющих воздействий, но и исследовать протокол хода расчета (рис. 3). Исследуя результаты расчета, можно сделать вывод, что для существующего режима при возмущениях: отключении линий 330 кВ Мелитополь – Джанкой, 220 кВ Каховский ГПП – Титан и отключении генератора на Симферопольский ТЭС с мощностью 25 МВт – запас устойчивости в пределах допустимого. Но при одновременном отключении линий 330 кВ Мелитополь – Джанкой, Каховский ГПП – Островская и линии 220 кВ Каховская ГПП – Титан наблюдаемое значение коэффициента запаса устойчивости ниже нормативного, и предусмотренные в заданном объеме управляющие воздействия не обеспечат его возвращения в допустимые пределы.

### Выводы

Показано, что для решения задачи обеспечения статической устойчивости в заданном сечении ОЭС Украины целесообразно использовать созданные программные средства автоматизации расчета дозированных управляющих воздействий. Приведены основные характеристики программных средств и результаты их тестирования для определенного режима ОЭС Украины.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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 МЕВ 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. Янкiна // 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 Міжнародної науково-технічної конференції** «Оптимальное управление электроустановками» (ОУЭУ-2015).

*Авраменко Владимир Николаевич* – д. т. н., проф., ведучий научний співробітник, e-mail: avr@ied.org.ua.

*Юнеева Наталья Тахирджановна* – к. т. н., научний співробітник, e-mail: avr@ied.org.ua.  
Институт електродинаміки НАН України.