# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗАПАСОВ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ*

АВТОРЫ:

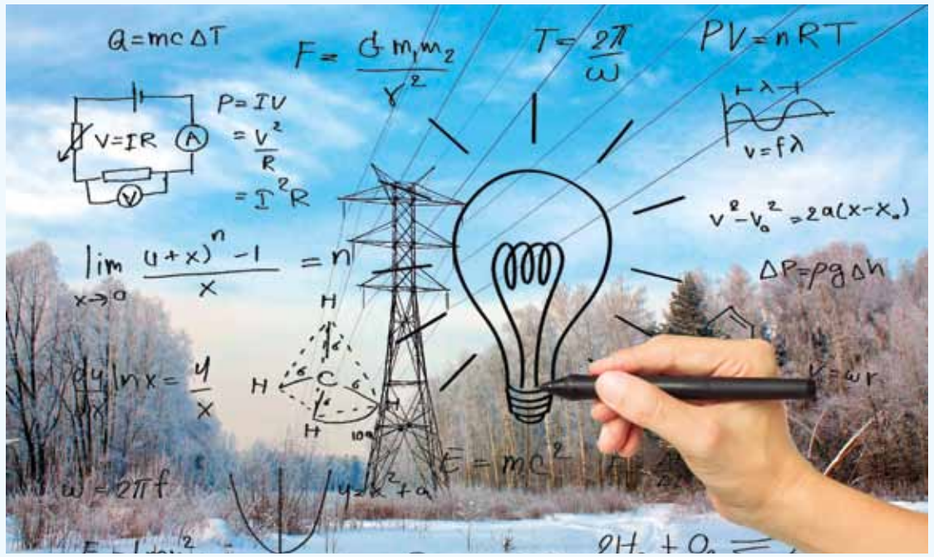
ГЕРАСИМЕНКО К.В.
ОАО «НТЦ ЕЭС»

РОМАНОВ И.С.
ОАО «НТЦ ЕЭС»

**Для определения максимально допустимого перетока (МДП) в электроэнергетической системе (ЭЭС) необходимо просчитать большое число режимов. Причем в этих расчетах должны быть учтены аварийные ситуации. Затем из всех полученных расчетов выбирается тот, который дает наименьшее значение перетока. Однако найденная таким образом величина МДП не является оптимальной, поскольку расчеты проводятся только для нескольких характерных режимов.**

***Ключевые слова:*** система мониторинга переходных режимов, нерегулярные колебания, статическая устойчивость, сингулярный анализ, матрица сдвига.

* Статья написана по материалам доклада, представленного К.В. Герасименко на конференции молодых ученых «Энергия единой сети» (22 июня 2013, г. Санкт-Петербург). Конкурсной комиссией доклад был отмечен премией по тематике « Управление большими потоками мощности. Силовая электроника»




Математические модели для оперативной оценки состояния электроэнергетической системы получают все большее распространение





## ВВЕДЕНИЕ

Выбор величины управляющих воздействий (УВ) противоаварийной автоматики (ПА) производится также по результатам расчетов характерных режимов, что часто приводит к использованию избыточных УВ. Предлагаемая методика определения МДП в режиме реального времени позволяет постоянно отслеживать величину запаса апериодической устойчивости, что позволяет получить экономический эффект не только за счет уменьшения ограничений перетоков мощности в сечении, но и за счет определения наиболее эффективного управляющего воздействия ПА.

В связи с этим одним из перспективных направлений является развитие методов оперативной оценки и корректировки запасов апериодической устойчивости по информации от датчиков контролируемых режимных параметров.

В работе предложена методика создания математических моделей ЭЭС для оперативной оценки состояния системы по данным системы мониторинга переходных режимов (СМПР).

Предлагаемая методика основана на разложении временного ряда данных, получаемых от регистраторов, на аддитивные составляющие с помощью метода сингулярного разложения матрицы развертки.

Данный метод позволяет исследовать структуры временных рядов и совмещает в себе достоинства многих других методов [1]. Суть метода заключается в преобразовании одномерной выборки нестационарного процесса в матрицу развертки с помощью однопараметрической процедуры элементов ряда и сингулярного разложения этой матрицы.

## МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Коэффициент запаса апериодической статической устойчивости ЭЭС по активной мощности в заданном сечении определяется выражением [2]:

$$K_p = \frac{P_{пр} - (P + \Delta P_{нк})}{P_{пр}}, \qquad (1)$$

где $P_{пр}$ – предельный по апериодической устойчивости переток активной мощности в рассматриваемом сечении; $P$ – переток в рассматриваемом режиме ($P > 0$); $\Delta P_{нк}$ – амплитуда нерегулярных колебаний активной мощности в этом сечении (считается, что под действием нерегулярных колебаний переток осциллирует в диапазоне $P \pm \Delta P_{нк}$).

В настоящей работе для оперативной оценки запаса апериодической устойчивости предлагается использовать данные регистраторов СМПР (значения комплексных векторов напряжения и токов (мощностей) в узлах). На рис. 1 представлен типичный процесс изменения перетока активной мощности ВЛ, полученный с помощью таких данных.

Колебания, показанные на рис. 1, включают три составляющие: 1) медленные тренды; 2) сумма стационарных периодических составляющих; 3) случайная составляющая процесса. Первая составляющая характеризует направление развития режима под воздействием аварийных возмущений, противоаварийной автоматики и/или диспетчерского

ИНФОРМАЦИЯ

## СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ

Работа реальной энергетической системы всегда сопровождается переходными режимами. Переходный режим – это переход электрической сети из одного устойчивого состояния в другое в результате воздействия того или иного возмущающего фактора: короткого замыкания, отключения или включения генератора, линии, нагрузки и т. п. Для отслеживания таких режимов существуют системы мониторинга переходных режимов (СМПР). Такие системы мониторинга успешно развиваются во многих энергосистемах мира и называются Wide Area Measuring Systems. В Российской Федерации работы по создания СМПР были инициированы приказом РАО «ЕЭС России» № 344 от 1 июня 2005 г. В соответствии с данным приказом в России должна быть создана специализированная система мониторинга параметров переходных процессов, первый этап создания которой предполагает охват 20 крупнейших энергообъектов страны. Руководящая роль в создании СМПР возложена на ОАО «СО – ЦДУ ЕЭС».

## КОЛЕБАНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ВЛ

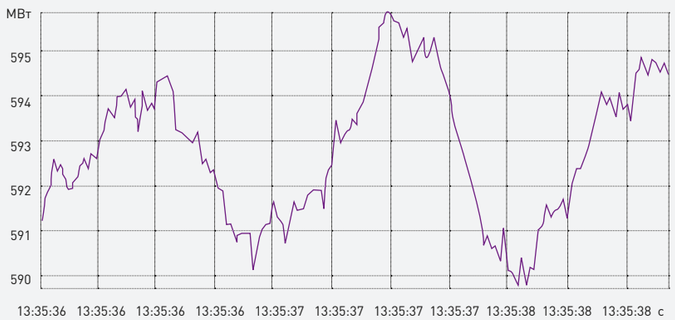



Рис. 1

управления. Вторая составляющая определяется собственными динамическими свойствами ЭЭС. Эта составляющая характеризует статическую устойчивость системы и ее запас. Третья составляющая описывает случайные возмущения, помехи, погрешности измерений, погрешности цифровой обработки сигналов и т. д. – все те осцилляции, которые не коррелируют с динамическими свойствами системы и/или воздействиями автоматики. Для определения этих составляющих воспользуемся сингулярным разложением сигнала [3].

Пусть дан исходный ряд $F = (f_0, .., f_{K-1})$, состоящий из $K$ значений и характеризующий движение нестационарной системы. Исходя из внутренних свойств системы подбирается длина выборки (окна) $M$, причем $1 < M < K$, и составляется матрица развертки A, содержащая $N = K - M + 1$ векторов развертки, имеющих заданную размерность $M$. Матрица имеет вид:

$$A = (a_{ij})_{i,j=1}^{M,N} = \begin{pmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & \dots & f_{N-1} \\ f_1 & f_2 & f_3 & \dots & f_N \\ f_2 & f_3 & f_4 & \dots & f_{N+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{M-1} & f_M & f_{M+1} & \dots & f_K \end{pmatrix} . \quad (2)$$

Далее производится сингулярное разложение матрицы $A$ размером $M \, x \, N$:

$A = U \times W \times V^T$ , или

$$\begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & \dots & a_{2N} \\ a_{31} & \dots & a_{3N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{M1} & \dots & a_{MN} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} & \dots & u_{1M} \\ u_{21} & u_{22} & u_{23} & \dots & u_{2M} \\ u_{31} & u_{32} & u_{33} & \dots & u_{3M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{M1} & u_{M2} & u_{M3} & \dots & u_{MM} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} w_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & w_N \\ \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} v_{11}^T & \dots & v_{1N}^T \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{N1}^T & \dots & v_{NN}^T \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где $U$ – ортогональная матрица размером $M \, x \, M$, $V$ – ортогональная матрица размером $N \, x \, N$, $W$ – матрица размером $M \, x \, N$, на главной диагонали которой находятся сингулярные неотрицательные числа, расположенные в порядке убывания, а все внедиагональные элементы равны нулю. Указанные особенности матрицы $W$ означают, что для получения матрицы $A$ требуется не $M$ столбцов матрицы $U$, а лишь первые min ($M$, $N$) столбцов. Таким образом, лишь первые min ($M$, $N$) строк матрицы $V^T$ влияют на результат произведения матриц. Эти столбцы и строки являются левыми и правыми сингулярными векторами.

Метод сингулярного разложения был опробован для получения аддитивных составляющих сигнала регистратора СМПР. На рис. 2 представлен типичный результат сингулярного разложения исходного сигнала на десять составляющих.

Анализируя данные регистраторов СМПР в режиме онлайн, необходимо

## СРЕДНЕКВАДРАТИЧНАЯ ОШИБКА ДЛЯ РАССМАТРИВАЕМОГО ПРИМЕРА

| Номер ряда | СКО ($F_Д$, $F^T$) |
|---|---|
| Ряд 2 | 5,741698 |
| Ряд 3 | 7,3108 |
| Ряд 4 | 41,37607 |
| Ряд 5 | 36,43206 |

Таблица 1

проводить автоматическое разделение сигнала. Для этого требуется рассмотреть влияние выбора длины окна $M$ на качество разделения исходного сигнала. Длина окна является основным параметром сингулярного разложения, неправильный выбор которого может привести к тому, что разложить ряд на все присутствующие составляющие не удастся ни при какой группировке.

Выделение тренда по данным регистраторов СМПР (для адекватного управления ЭЭС) необходимо проводить каждые 3 с. Однако для задачи определения величины нерегулярных колебаний мощности выделение составляющих происходит реже. Поэтому и выбор длины окна непосредственно будет зависеть от решаемой задачи.

Следует отметить, что противоречие между слабой и сильной разделимостью проявляется наиболее часто. Для выделения тренда из шума требуется достаточно большая длина окна $M$, так как тренд – это относительно гладкая кривая, следовательно, тренд проявляется только на относительно больших промежутках.

На рис. 3 приведены результаты выделения тренда (первой составляю-





## ПЕРВЫЕ ДЕСЯТЬ КОМПОНЕНТ СИНГУЛЯРНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ИСХОДНОГО СИГНАЛА

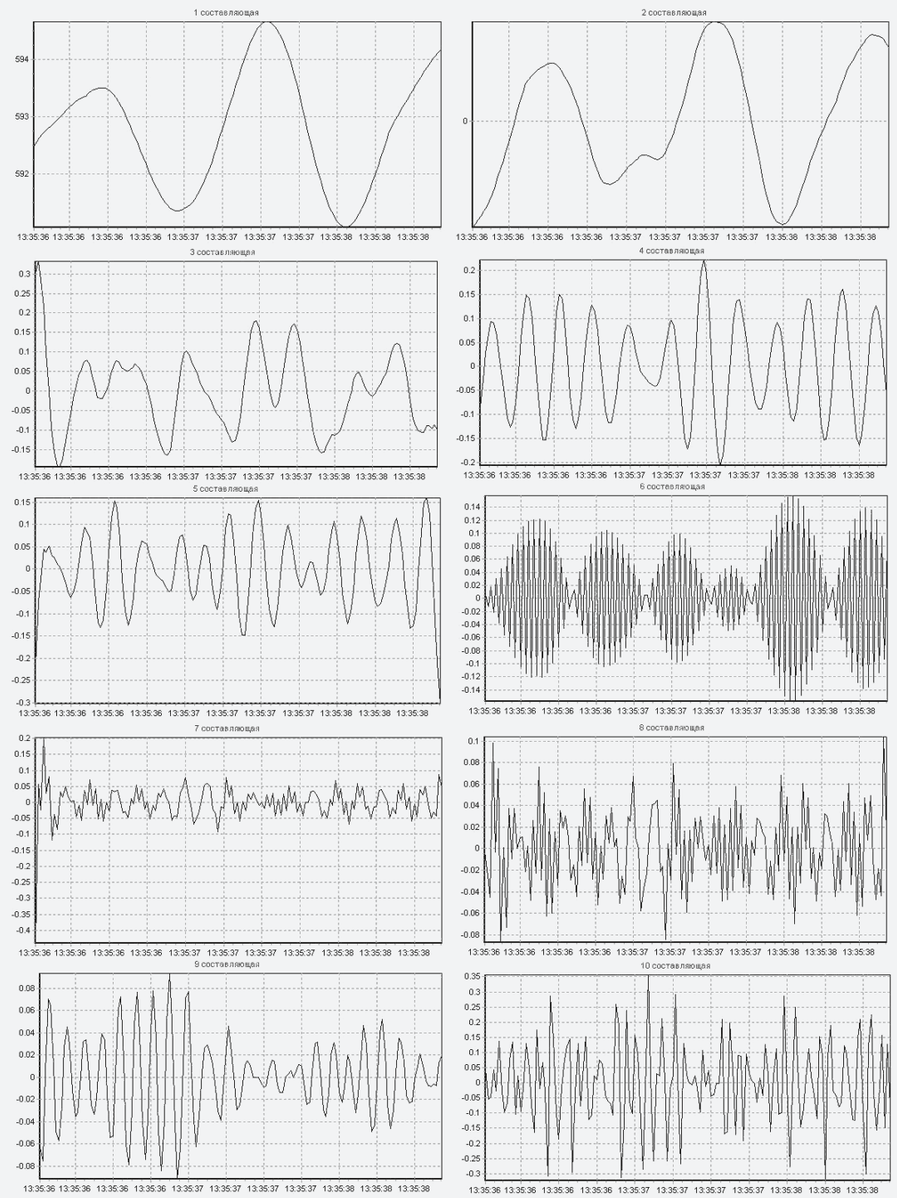



Рис. 2

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕНДА ИСХОДНОГО СИГНАЛА ПРИ РАЗНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ДЛИНЫ ОКНА М

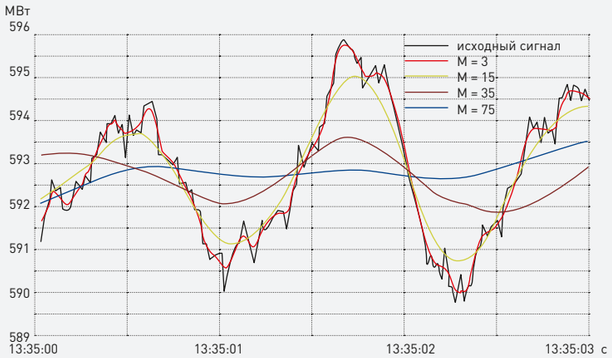



Рис. 3

щей) при разных значениях длины окна $M$.

Поведение первой составляющей тренда, полученной в результате сингулярного разложения исходного сигнала, описывает изменения режима энергосистемы. Анализ этой компоненты (при изменении длины окна $M$) показал, что увеличение длины окна повышает линейность этой составляющей. Последнее связано с разделением тренда на большое количество составляющих. Для оценки качества выделения аддитивных составляющих необходимо найти ошибку выделения тренда. Так как при анализе данных регистраторов СМПР, кроме сигнала, у нас нет

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЛЭП

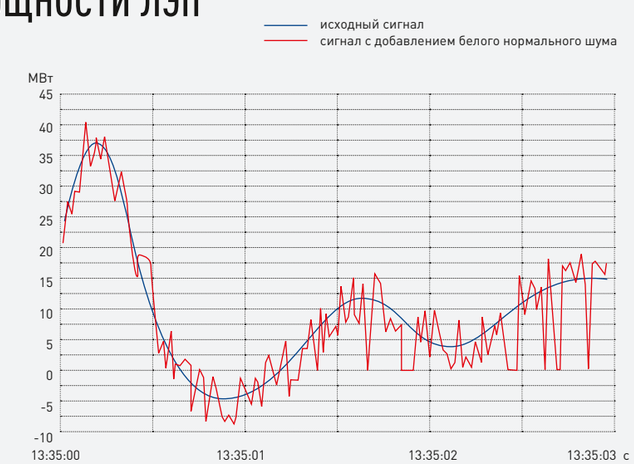



Рис. 4

ИНФОРМАЦИЯ

## ОЭС СЕВЕРО-ЗАПАДА

Объединенная энергетическая система Северо-Запада располагается на территории десяти субъектов Российской Федерации: Санкт-Петербурга, Мурманской, Калининградской, Ленинградской, Новгородской, Псковской и Архангельской областей, республик Карелия и Коми, Ненецкого автономного округа.

В ее состав входят восемь региональных энергетических систем: Архангельская, Калининградская, Карельская, Кольская (Мурманская), Ленинградская, Новгородская, Псковская и Республики Коми. При этом Ленинградская энергосистема объединяет Санкт-Петербург и Ленинградскую область, Архангельская – Архангельскую область и Ненецкий автономный округ.

По данным на 01.01.2013 электроэнергетический комплекс образуют 130 электростанций, имеющих суммарную установленную мощность 23,390 тыс. МВт, 1074 электрические подстанции 110–750 кВ, имеющие суммарную установленную мощность 83 010,3 МВА, и 1402 линии электропередачи 110–750 кВ общей протяженностью 42 871,7 км в одноцепном исполнении.



КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
ЭНЕРГИЯ ЕДИНОЙ СЕТИ

## ИЗМЕНЕНИЕ ТРЕНДА ИСХОДНОГО СИГНАЛА ПРИ РАЗНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ДЛИНЫ ОКНА М

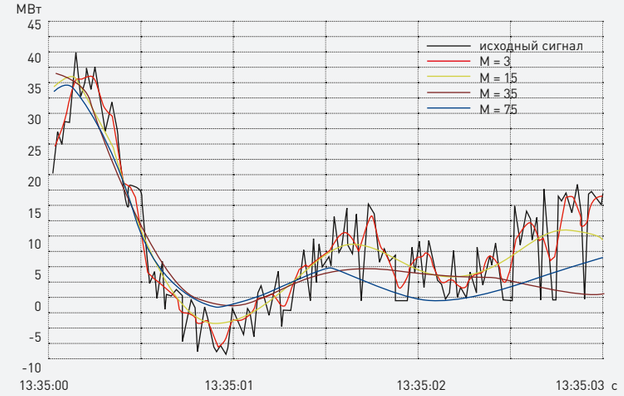



Рис. 5

иной информации об изменении режима работы энергосистемы, то необходимо произвести моделирование сигнала. Такое моделирование было проделано при помощи ПВК Eurostag, предназначенного для моделирования переходных процессов в энергосистемах. Была разработана динамическая модель ОЭС Северо-Запада. Запись сигнала велась в течение 3 с ($N$ = 150). На рис. 4 представлены исходный сигнал и сигнал с добавлением белого шума. Применив к полученному сигналу сингулярное разложение, рассмотрим изменение тренда при разных значениях длины окна $M$ (рис. 5). Для оценки влияния длины окна на качество разделения необходимо оценить величину ошибки.

Стандартной мерой близости двух рядов $F$ и $G$ является среднеквадратичная ошибка (СКО). Для ее обозначения в [3] введена специальная норма:

$$CKO(F,G) = \| F - G \|^2 = \frac{1}{N} \| F - G \|_2^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (f_n - g_n)^2 . \quad (4)$$

Среднеквадратичная ошибка для сигнала, полученного при помощи ПВК Eurostag, с добавлением шума и последующим разложением на аддитивные составляющие методом сингулярного разложения определяется выражением (3).

Анализируя результаты таблицы 1, видим, что наименьшее значение среднеквадратичной ошибки соответствует длине окна $M$ = 3 и увеличивается с ростом значения $M$. В дальнейшем мы покажем, что если найти и суммировать все трендовые составляющие, полученные в результате сингулярного разложения исходного сигнала, то оказывается, что среднеквадратичная ошибка уменьшается при росте значения $M$.

Анализ рис. 6 дает представление о том, что увеличение длины окна $M$ приводит к лучшей разделимости сигнала на отдельные составляющие, однако существенно увеличивает время обработки сигнала. Последнее совершенно недопустимо в задачах выделения аддитивных составляющих в режиме реального времени.

Как показали исследования, сингулярный анализ позволяет с помощью изменения длины окна $M$ до-

ИНФОРМАЦИЯ

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Данные методические указания устанавливают технические требования к электроэнергетическим системам и их объединениям в отношении устойчивости.

Документ утвержден приказом Минэнерго России от 30 июня 2003 г. № 277 и предназначен для персонала организаций, предприятий, осуществляющих проектирование и эксплуатацию энергосистем. Указания определяют устойчивость энергосистемы как способность сохранять синхронизм между электростанциями, или, другими словами, возвращаться к установившемуся режиму после различного рода возмущений.

Схемы энергосистемы, исходя из требований к устойчивости, подразделяются на ***нормальные***, когда все сетевые элементы находятся в работе, и ***ремонтные***, отличающиеся от нормальных тем, что из-за отключенного состояния одного или нескольких элементов электрической сети уменьшен максимально допустимый переток в каком-либо сечении.

## СУММА ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТ ИСХОДНОГО СИГНАЛА ПРИ РАЗНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ДЛИНЫ ОКНА M

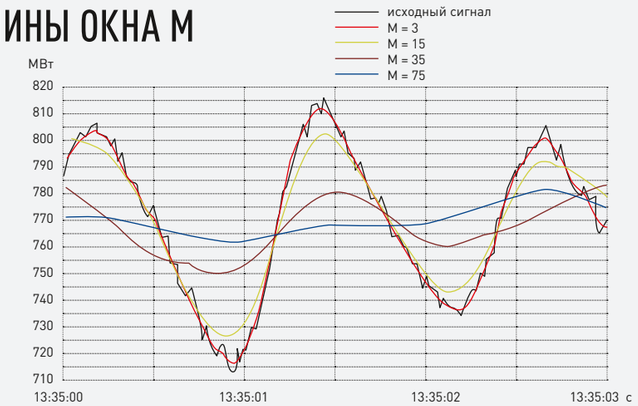



Рис. 6

стигать лучшего качества выделения отдельных составляющих. Для более точного выделения тренда и поиска значения длины окна $M$ в процессе сингулярного разложения исходной выборки сигнала СМПР необходимо произвести идентификацию полученных компонент для последующей автоматической группировки.

На рис. 7 приведена блок-схема алгоритма автоматической группировки тренда, который позволяет проводить качественный анализ выделенного тренда.

Оценка амплитуды нерегулярных колебаний мощности также может быть получена в результате сингулярного разложения исходного сигнала. Такая оценка необходима для вычисления коэффициента запаса статической (апериодической) устойчивости по активной мощности. Нерегулярными колебаниями потоков активной мощности по связям системы принято называть колебания перетоков относительно некоторого среднего уровня. Отклонения мощности в процессе таких колебаний определяются двумя обстоятельствами. С одной стороны, это естественные колебания небалансов мощности и обусловленные ими колебания потоков мощности по связям, которые осуществляются случайным образом [4]. Другими причинами и/или следствиями нерегулярных колебаний являются электромеханические переходные процессы в энергосистеме. Таким образом, для оценки амплитуды нерегулярных колебаний требуется учесть как регулярную периодическую, так и случайную составляющую процесса.

Если выделение тренда применительно к задачам управления ЭЭС необходимо производить каждые 3 с, то для определения амплитуды нерегулярных колебаний требуется анализ сигнала длительностью от нескольких минут до нескольких часов. Проводя циклическое разложение сигнала в заданных интервалах времени с последующей группировкой составляющих, можно определить амплитуду нерегулярных колебаний мощности.

Для построения адаптивной модели электроэнергетической системы используются средние значения трендов комплексных векторов измеренных напряжений и мощностей и комплексных векторов узловых токов в узлах. На определенном интервале времени (в данной работе принято 2–3 с) полученные значения заносятся в блок идентификации текущих параметров системообразующей сети для дальнейшего формирования полной матрицы собственных и взаимных проводимостей по совокупности трендов комплексных векторов узловых токов I и напряжений U. Такая матрица получается путем отработки следующей системы уравнений:

$$\begin{bmatrix} I_{11} \\ I_{i1} \\ I_{n1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{1j} \\ I_{ij} \\ I_{nj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{1n} \\ I_{in} \\ I_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{1j} & Y_{1j} \\ Y_{i1} & Y_{ij} & Y_{in} \\ Y_{n1} & Y_{nj} & Y_{nn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_{11} \\ U_{i1} \\ U_{n1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{1j} \\ U_{ij} \\ U_{nj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{1n} \\ U_{in} \\ U_{nn} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $i$ – номер режима, $j$ – номер узла.

После уточнения параметров сети с использованием соотношения (5), а также величин мощности и напряжения, полученных от регистраторов для каждого узла, происходит расчет установившегося режима.

Далее необходимо получить гиперповерхность предельных режимов, чтобы определить предел статической апериодической устойчивости. Аналитическое описание гиперповерхности предельных режимов целесообразно получить с помощью уравнений предельных режимов (УПР) [5]. Существенной особенностью этих уравнений является невыраженность отвечающей им матрицы Якоби в точке решения. Этим снимаются трудности, связанные с решением плохо обусловленных систем линейных уравнений (СЛУ).

Система уравнений предельных режимов может быть представлена в двух формах:

$$\left.\begin{aligned} &\mathbf{F}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}_0 + \mathrm{T}\Delta\mathbf{Y}) = 0 \\ &\mathbf{V}(\mathbf{X}, \mathbf{R}) = \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{X}}\right)^{\mathrm{T}} \mathbf{R} = 0 \end{aligned}\right\}, \quad (6)$$





или

$$\left.\begin{aligned} &\mathbf{F}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}_0 + \mathrm{T}\Delta\mathbf{Y}) = 0 \\ &\mathbf{V}(\mathbf{X}, \mathbf{S}) = \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{X}}\right) \mathbf{S} = 0 \end{aligned}\right\}, \quad (7)$$

где $F$ – нелинейная вектор-функция; $\mathbf{X} = [x_1 x_2 \ldots x_n]^{\mathrm{T}}$ – вектор нерегулируемых параметров режима (зависимых переменных); $\mathbf{Y} = [y_1 y_2 \ldots y_m]^{\mathrm{T}}$ – вектор регулируемых параметров режима (независимых переменных); $\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{X}}$ – матрица, отвечающая свободному члену характеристического полинома (матрица Якоби УУР); $V$ – n-мерная вектор-функция; $\mathbf{S} = [s_1 s_2 \ldots s_n]^{\mathrm{T}}, \mathbf{R} = [r_1 r_2 \ldots r_n]^{\mathrm{T}}$ – собственные векторы матриц $\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{X}}$ и $\left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{X}}\right)^{\mathrm{T}}$, отвечающие собственному нулевому значению.

Так как в (6) и (7) длина векторов R и S не определена, системы дополняются выражениями:

$U(\mathbf{R}) = \mathbf{R}^T\mathbf{R} - 1 = 0$ или $U(\mathbf{S}) = \mathbf{S}^T\mathbf{S} - 1 = 0$.

Тогда (9) и (10) можно представить как:

$$\left.\begin{aligned} &\mathbf{F}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}_0 + \mathrm{T}\Delta\mathbf{Y}) = 0 \\ &\mathbf{V}(\mathbf{X}, \mathbf{R}) = \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{X}}\right)^{\mathrm{T}} \mathbf{R} = 0 \\ &\mathrm{U}(\mathbf{R}) = \mathbf{R}^{\mathrm{T}}\mathbf{R} - 1 = 0 \end{aligned}\right\}, \quad (8) \text{ или}$$

$$\left.\begin{aligned} &\mathbf{F}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}_0 + \mathrm{T}\Delta\mathbf{Y}) = 0 \\ &\mathbf{V}(\mathbf{X}, \mathbf{S}) = \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{X}} \mathbf{S} = 0 \\ &\mathrm{U}(\mathbf{S}) = \mathbf{S}^{\mathrm{T}}\mathbf{S} - 1 = 0 \end{aligned}\right\}. \quad (9)$$

Следует отметить, что матрицы Якоби, соответствующие уравнениям (8) и (9), являются слабо заполненными, что позволяет при решении УПР использовать эффективные алгоритмы, исключая действия с нулевыми элементами.

Таким образом, основными преимуществами использования УПР являются:

- аналитическое описание гиперповерхности предельных режимов, что позволяет с высокой точностью и быстродействием получать искомое решение;
- невыраженность матрицы Якоби в точке решения, что снимает вычислительные сложности при решении СЛУ;
- собственные векторы $S$ и $R$, найденные при решении УПР, имеют конкретное физическое значение, а именно: вектор $S$, входящий в УПР и равный правому сингулярному вектору $L$, характеризует сенсорные узлы ЭЭС, а вектор $R$ определяет направление изменения режима, наиболее эффективное для обеспечения устойчивости.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрено применение сингулярного разложения сигналов регистраторов СМПР для построения адаптивной модели сети (электроэнергетической системы ЭЭС) и определения величины предельного перетока мощности в контролируемых сечениях. С помощью этой модели производится расчет установившегося режима ЭЭС, и на основе аналитического описания гиперповерхности предельных режимов определяется предельный переток в сечении. Таким образом, предлагаемый подход позволяет оперативно, в режиме реального времени, оценивать запас апериодической устойчивости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сальникова М. К., Герасименко К. В., Макаренко Я. Н. Анализ эффективности методов спектрального и сингулярного разложения в задачах прогнозирования сигналов с переменной структурой // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование, 2008, № 2. – С. 137–139.
2. Методические указания по устойчивости энергосистем (утверждены приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 277).
3. Александров Ф. И. Разработка программного комплекса автоматического выделения и прогноза аддитивных компонент временных рядов в рамках подхода «Гусеница»-SSA. Диссертация кандидата технических наук, Санкт-Петербургский государственный университет, 2006. – 152 с.
4. Тимченко В. Ф. Колебания нагрузки и обменной мощности энергосистем. Анализ и синтез для решения задач управления режимами. – М.: Энергия, 1975.
5. Конторович А. М., Крюков А. В. Предельные режимы энергосистем. Основы теории и методы расчетов: Учебное пособие. – Иркутск: Иркутск. ун-т, 1985. – 72 с. ■

## БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ ТРЕНДА

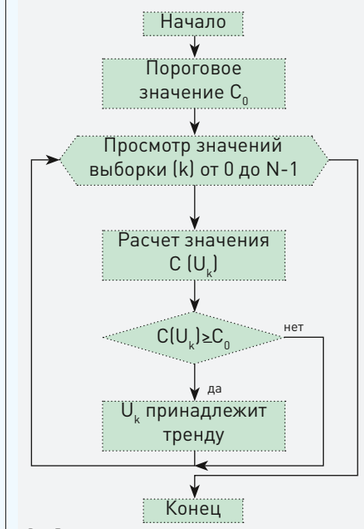



Рис. 7