

# Линейное оценивание состояния методом контрольных уравнений для локальных систем мониторинга переходных режимов<sup>1</sup>

КОЛОСОК И.Н., КОРКИНА Е.С., БУЧИНСКИЙ Е.А.

*Появление нового поколения приборов для синхронизированных измерений векторных электрических величин (напряжений и токов в линиях) позволяют реализовать линейные алгоритмы ОС. Предлагается развитие метода контрольных уравнений для линейного ОС объектов ЭЭС, наблюдаемых по данным синхронизированных векторных измерений (СВИ). Представлены новые алгоритмы формирования контрольных уравнений по данным СВИ, построенные на исключении неизмеренных переменных или компонент вектора состояния из уравнений электрических цепей, записанных в прямоугольных координатах. В силу линейности этих уравнений полученные контрольные уравнения также линейны. Представлены алгоритмы обнаружения грубых ошибок в СВИ, а также алгоритмы расчета оценок с использованием линейных контрольных уравнений, которые позволяют получить решение за одну итерацию. Работоспособность алгоритмов проверена на тестовой схеме, наблюдаемой по измерениям синхронизированных векторных величин. Разработанные алгоритмы дают возможность выполнять локальное ОС отдельных объектов энергосистем (электрических станций, подстанций, районов электрической сети), наблюдаемых по СВИ, в «темпе процесса».*

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, оценивание состояния, синхронизированные векторные измерения, метод контрольных уравнений, линейные алгоритмы

Оценивание состояния (ОС) – одно из возможных средств повышения качества информации о текущем режиме электроэнергетической системы (ЭЭС). Результатом ОС является расчет установившегося режима (текущего состояния) ЭЭС на основе измерений. Эффективность решения задачи ОС во многом определяется качеством исходной информации, получаемой от SCADA-систем (телеизмерения (ТИ), телесигналы). Применение SCADA-технологий позволяет достичь высокого уровня автоматизации в решении задач разработки систем управления, сбора, обработки, передачи, хранения и отображения информации.

К недостаткам SCADA-систем применительно к задачам энергетики можно отнести недостаточный объем телеизмерений (ТИ), невысокую точность ТИ, поступающих от «старых» измерительных устройств, а также отсутствие точной синхронизации данных. SCADA-системы рассчитаны на прием и обработку телеинформации один раз в секунду, а сами системы телемеханики допускают задержку в доставке информации до нескольких десятков секунд. Еще одним существенным недостатком действующих систем телемеханики является отсутствие высокоточной синхронизации измерений по астрономическому времени. Неодновременность получения измерений особенно заметна при расчете параллельно работающих подсистем, имеющих

свои средства сбора и передачи телеинформации. Рассчитанный по таким данным режим «отстает» от текущего режима ЭЭС и является лишь его аппроксимацией, что может привести к ошибкам при управлении.

С 2005 г. в России создается Система мониторинга переходных режимов (СМПР) [1], основным измерительным оборудованием которых являются устройства синхронизированных векторных измерений (английский термин Phasor Measurement Unit – PMU). Полученные от СМПР синхронизированные векторные измерения (СВИ) тока и напряжения и их производные позволяют существенно повысить эффективность вычислительной процедуры оценивания состояния ЭЭС [2].

Если для обеспечения наблюдаемости схемы энергосистемы имеется достаточное число PMU, то ОС можно проводить только на основе данных PMU. При решении задачи ОС в прямоугольных координатах задача ОС становится линейной и может быть решена за одну итерацию. Кроме того, за счет существенно более высокой точности измерений от PMU по сравнению с традиционными ТИ повышается точность оценок. Существенное преимущество получения решения задачи ОС только по данным СВИ заключается в отсутствии необходимости выполнять синхронизацию данных PMU и SCADA.

Проблема состоит в том, что в настоящее время ЭЭС практически всех стран недостаточно оснащены регистраторами СВИ для обеспечения наблю-

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке гранта ведущей научной школы НШ1507.2012.8, проекта РФФИ №09-08-91330 ННИО-а и интеграционного проекта СО РАН №01201260514.

даемости схемы по их измерениям. Так, в ЕЭС России пока всего около 100 регистраторов, установленных на наиболее «ответственных» с точки зрения управления объектах, на которых измерения проводятся независимо друг от друга, поскольку в настоящее время эти регистраторы не объединены в общую сеть. Существует только несколько пилотных проектов локальных систем СВИ в России – например, СМЗУ СРТО<sup>2</sup> [3], кластер «Эльгауголь» [4], СМПР ОЭС Северо-Запада [5]. Поэтому возникла идея выполнять линейное ОС для локальных областей ЭЭС, наблюдаемых по СВИ. Результаты такого локального ОС – значения параметров режима подсистем – могут использоваться для мониторинга состояния объектов ЭЭС и участвовать в реализации функций управления их оборудованием, а также передаваться в центр управления для координации и формирования режима полной схемы.

Вместе с тем, исследования и опыт эксплуатации РМУ свидетельствуют о том, что существует множество причин, вызывающих сбой в работе РМУ и появление грубых ошибок в их показаниях. В связи с этим возникает необходимость в достоверизации измерений РМУ. В качестве метода для достоверизации измерений и ОС используется разработанный в ИСЭМ СО РАН метод контрольных уравнений (КУ) [6]. Основные преимущества метода КУ – это снижение размерности задачи и возможность использования полученных контрольных уравнений для априорного обнаружения грубых ошибок в СВИ.

В статье предлагается развитие метода контрольных уравнений для линейного ОС по данным СВИ.

Представлены новые алгоритмы формирования контрольных уравнений по измерениям РМУ, построенные на исключении компонент вектора состояния  $x$  из уравнений, описывающих зависимости измеренных переменных  $y$  от вектора состояния  $x$  в прямоугольных координатах. В силу линейности этих уравнений полученные контрольные уравнения также линейны.

Представлены алгоритмы обнаружения грубых ошибок в СВИ, построенные на анализе невязок полученных линейных контрольных уравнений, а также алгоритмы расчета оценок измеренных переменных и компонент вектора состояния с использованием линейных контрольных уравнений, которые позволяют получить решение за одну итерацию.

Работоспособность алгоритмов проверена на тестовой схеме, наблюдаемой по измерениям синхронизированных векторных величин.

**Метод контрольных уравнений для решения задачи ОС ЭЭС.** При решении задачи ОС основой всех расчетов является вектор состояния  $x(d,U)$ , включающий модули  $U$  и фазовые углы  $d$  напряжений всех узлов схемы ЭЭС кроме фазы базисного узла. Такой вектор состояния однозначно определяет все остальные измеренные  $y$  и неизмеренные  $z$  параметры режима.

Традиционная постановка задачи ОС состоит в расчете оценок вектора состояния  $x$  путем минимизации критерия

$$J(x) = [\bar{y} - y(x)]^T R_y^{-1} [\bar{y} - y(x)], \quad (1)$$

где  $\bar{y}$  – вектор измерений;  $R_y$  – ковариационная матрица ошибок измерений.

Наряду с традиционным подходом для ОС используется метод контрольных уравнений [6]: это уравнения установленного режима, в которые входят только измеренные переменные режима  $y$ :

$$w_k(y) = 0. \quad (2)$$

Одним из возможных способов получения КУ является исключение компонент вектора состояния из уравнений

$$y = H(x), \quad (3)$$

описывающих зависимости измеренных переменных  $y$  от вектора состояния  $x$ .

Для этого уравнения (3), в общем случае нелинейные, линеаризуются, затем все измерения делятся на базисные  $y_b$  и избыточные  $y_n$ , что дает возможность определить  $x = f(y_b)$  и, подставив их в уравнения (3) для  $y_n$ , получить КУ.

При использовании КУ задача ОС состоит в минимизации критерия

$$J(y) = (\bar{y} - y)^T R_y^{-1} (\bar{y} - y), \quad (4)$$

т.е. в расчете оценок измеренных переменных  $y$  при ограничениях в виде системы контрольных уравнений (2).

На втором этапе по оценкам базисных измерений вычисляются оценки вектора состояния и по ним – оценки неизмеренных переменных.

Алгоритмы ОС по КУ менее трудоемки, чем алгоритмы ОС в традиционной постановке [6], и имеют высокое быстродействие, так как порядок системы КУ, как правило, существенно ниже, чем порядок исходной системы УУР, используемой для получения КУ. Этот метод показал свою эффек-

<sup>2</sup> Система мониторинга запасов устойчивости для северных районов Тюменской области.

тивность при решении задачи на основе телеинформации от SCADA [7], поэтому метод КУ был выбран для реализации линейных алгоритмов ОС ЭЭС по данным СВИ.

**Алгоритмы линейного ОС методом контрольных уравнений по данным СВИ.** 1. *Получение КУ из системы УУР.* Для получения КУ будем использовать уравнения (3), которые могут быть записаны в виде

$$y - H(x) = 0, \quad (5)$$

в прямоугольных координатах.

Вектор состояния системы  $x$  описывается комплексным вектором  $x = \{U_i\}$ , где  $U_i = U_{i_a} + jU_{i_r}$  – комплексы узловых напряжений. Вектор измерений  $\bar{y}$  также представляется комплексным вектором  $\bar{y} = \{U_i, I_{ij}, I_i\}$ , где  $I_{ij} = I_{ij_a} + jI_{ij_r}$  – комплексы измерений токов в линиях;  $I_i = I_{i_a} + jI_{i_r}$  – комплексы измерений токов в узлах.

При этом каждому измерению комплекса тока в ветви будут соответствовать два уравнения из (5):

$$\begin{aligned} \bar{I}_{ij_a} - (U_{i_a} - U_{j_a})y_{ij_a} + (U_{i_r} - U_{j_r})y_{ij_r} - \\ - U_{i_a}y_{ij_a} + U_{i_r}y_{ij_r} = 0; \end{aligned} \quad (6a)$$

$$\begin{aligned} \bar{I}_{ij_r} - (U_{i_a} - U_{j_a})y_{ij_r} - (U_{i_r} - U_{j_r})y_{ij_a} - \\ - U_{i_a}y_{ij_r} - U_{i_r}y_{ij_a} = 0, \end{aligned} \quad (6b)$$

где  $y_{ij_a}$ ,  $y_{ij_r}$  – продольная активная и реактивная проводимости;  $y_{ij_a}$ ,  $y_{ij_r}$  – поперечная активная и реактивная проводимости ветви  $i-j$ .

Каждому измерению комплекса напряжения в узле  $i$  также будут соответствовать два уравнения:

$$\bar{U}_{i_a} - U_{i_a} = 0; \quad \bar{U}_{i_r} - U_{i_r} = 0. \quad (7)$$

В силу линейности зависимостей (6) и (7) матрица Якоби системы (5) – это постоянная матрица коэффициентов линейной системы уравнений, элементы которой определяются активными и реактивными проводимостями узлов и ветвей. Для исключения компонент вектора состояния применим к (5) процедуру треугольной факторизации матриц методом Краута, адаптированную для разложения прямоугольных матриц [6].

Выполненное разложение позволяет вычислить матрицу коэффициентов системы контрольных уравнений  $D$  и записать систему КУ в следующем виде:

$$y_{\text{и}} - Dy_{\text{б}} = 0. \quad (8)$$

Полученные контрольные уравнения линейны. Они позволяют, используя известную методику ОС по контрольным уравнениям, проводить проверку достоверности входящих в них СВИ перед решением задачи ОС, вычислять оценки измеренных переменных и оценки вектора состояния без выполнения итераций.

2. *Обнаружение грубых ошибок в СВИ.* Существует ряд причин, вызывающих сбои в работе РМУ и появление грубых ошибок в их показаниях: низкий класс точности измерительных трансформаторов на входах РМУ, несоответствие алгоритмов снятия показаний РМУ разных производителей, сбои в системе сбора и передачи информации от РМУ на верхний уровень, а также человеческий фактор (ошибки в подключении фаз). В связи с этим возникает необходимость в достоверизации синхронизированных векторных измерений, поступающих от РМУ.

В [6, 8–10] уже рассматривался вопрос *априорной* достоверизации исходной информации в задаче ОС. Преимущества априорной достоверизации очевидны:

уточняется модель измерений;

вычисляются более точные оценки параметров режима по более точным исходным данным;

ускоряется сходимость вычислений за счёт отсутствия грубых ошибок в информации.

Для проверки достоверности СВИ была использована методика априорного обнаружения грубых ошибок в ТИ методом контрольных уравнений, которая заключается в сравнении модуля невязки  $w_k$  контрольного уравнения с некоторым порогом  $d$  [6]. При подстановке измерений в контрольное уравнение грубая ошибка в СВИ отразится на значении невязки КУ. Наличие ошибки можно выявить проверкой условия  $|w_k| < d$ , и если условие не

выполнено, то необходим анализ всех входящих в данное КУ телеизмерений для обнаружения ошибочных СВИ. Этот анализ построен на исключении «подозрительных» измерений из подсистемы уравнений с большими невязками. Если в процессе исключения получается уравнение (линейная комбинация исходных КУ), для которого условие  $|w_k| < d$  выполняется, то все исключенные измерения идентифицируются как ошибочные, а оставшиеся в линейной комбинации – как достоверные. В зависимости от результатов достоверизации формируется вектор измерений для локального линейного оценивания состояния наблюдаемой по СВИ области.

Особенностью при проверке достоверности СВИ является существенное различие значений между измерениями токов и напряжений, входя-



$U_{3r}$	214,5224	214,5835
$U_{5r}$	172,859	172,7698
$I_{21r}$	1,3146	1,3168
$I_{23r}$	0,6673	0,6687
$I_{32r}$	0,8087	0,8085
$I_{34r}$	-1,6105	-1,6108
$I_{54r}$	0,5505	0,5519
$I_{56r}$	-0,0571	-0,0571
$I_{57r}$	0,5003	0,49964
$I_{3a}$	0	0
$I_{3r}$	0	0
$I_{5a}$	1,3657	1,3655
$I_{5r}$	0,9936	0,9939

2. *Контрольные уравнения для семиузловой тестовой схемы.* Для рассматриваемой схемы по описанной методике были сформированы контрольные уравнения. Заданный состав синхронизированных векторных измерений позволил сформировать 10 контрольных уравнений.

В табл. 1 показана матрица коэффициентов контрольных уравнений  $D$ . Для ее расчета была выполнена триангуляция матрицы  $H$  методом Краута. В процессе триангуляции набор измерений был разделен на две группы: базисные и избыточные. Разделение было выполнено в процессе триангуляции по критерию введения строки, соответствующей измерению с максимальным элементом в столбце, в состав базисных измерений. Измерения, показанные во второй строке табл. 1, являются базисными, соответственно измерения второго столбца являются избыточными. Матрица  $D$  выражает зависимости избыточных измерений от базисных через коэффициенты контрольных уравнений,

полученные математическим преобразованием матрицы коэффициентов уравнений установившегося режима тестовой схемы ЭЭС.

3. *Обнаружение грубых ошибок в СВИ.* Анализ контрольных уравнений показал, что измерение  $I_{21}$  не входит ни в одно КУ (нулевые столбцы в матрице  $D$ ), т.е. является критическим. Грубые ошибки в нем обнаружить невозможно, так же как и отфильтровать случайные погрешности. Их оценки всегда равны измеренным значениям, и ошибка в любом из этих измерений переходит в оценки, искажая при этом полученный режим.

Для проверки алгоритма было выполнено моделирование грубых ошибок в синхронизированных векторных измерениях. В табл. 2 представлены результаты расчета невязок контрольных уравнений для двух одиночных грубых ошибок в измерениях (в первой строке табл. 2 показано, какое измерение содержит грубую ошибку и какой величиной выполнено ее моделирование). Во втором столбце табл. 2 представлены результаты вычисления пороговых значений контрольных уравнений. Выделенные числа табл. 2 показывают значение соответствующего контрольного уравнения.

Грубая ошибка № 1 легко обнаруживается логическими правилами: контрольные уравнения № 1, 10 содержат те же компоненты, что и уравнение № 2, у которого превышена невязка. Поэтому наиболее вероятно, что грубую ошибку содержит измерение  $I_{54}$ . Убедиться в этом можно поочередным исключением каждой из компонент контрольного уравнения № 2 составлением линейных комбинаций с другими КУ: ни одно исключение не приведет к снижению невязки результирующего уравне-

Таблица 1

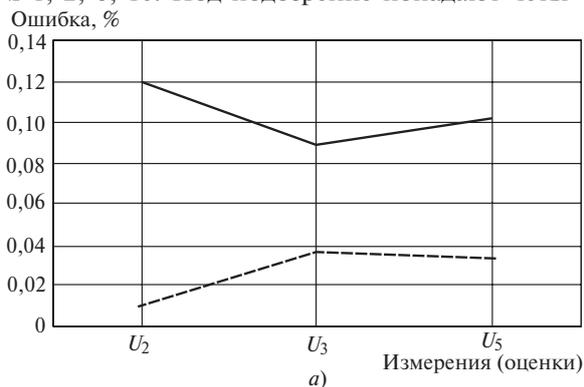
Избыточные измерения	Базисный состав измерений													
	$I_{21r}$	$I_{3a}$	$I_{3r}$	$U_{2a}$	$U_{5a}$	$I_{56r}$	$I_{57r}$	$I_{21a}$	$U_{3a}$	$U_{2r}$	$U_{3r}$	$U_{5r}$	$I_{56a}$	$I_{57a}$
$I_{5a}$	0	0,37578	-0,05054	0,00052	0,00386	0	0	0	-0,00223	0,00240	-0,01502	0,02828	1	1
$I_{54a}$	0	0,37578	-0,05054	0,00052	0,00386	0	0	0	-0,00223	0,00240	-0,01502	0,02828	0	0
$I_{23r}$	0	0	0	-0,00543	0	0	0	0	0,00645	0,00052	-0,00052	0	0	0
$I_{32r}$	0	0	0	0,00645	0	0	0	0	-0,00543	-0,00052	0,00052	0	0	0
$I_{34r}$	0	0	1,00001	-0,00645	0	0	0	0	0,00434	0,00052	-0,00055	0	0	0
$I_{54r}$	0	0,05054	0,37578	-0,00240	-0,02828	0	0	0	0,01502	0,00052	-0,00223	0,00386	0	0
$I_{32a}$	0	0	0	-0,00052	0	0	0	0	0,00052	-0,00645	0,00543	0	0	0
$I_{34a}$	0	1,00001	0	0,00052	0	0	0	0	-0,00055	0,00645	-0,00434	0	0	0
$I_{23a}$	0	0	0	0,00052	0	0	0	0	-0,00052	0,00543	-0,00645	0	0	0
$I_{5r}$	0	0,05054	0,37578	-0,00240	-0,02828	1	1	0	0,01502	0,00052	-0,00223	0,00386	0	0

Таблица 2

Контрольное уравнение (КУ)	Пороговое значение невязки КУ	Невязки КУ при отсутствии грубых ошибок (набор измерений №3)	Грубая ошибка	
			№1 ( $I_{54}+50s_1$ )	№2 ( $U_5+5\sigma_U$ )
№1	0,0342	0,0079	0,0079	<b>0,0822</b>
№2	0,0335	0,0120	<b>0,0972</b>	<b>0,0862</b>
№3	0,0226	0,0021	0,0021	0,0021
№4	0,0228	0,0017	0,0017	0,0017
№5	0,0214	0,0049	0,0049	0,0049
№6	0,0516	0,0149	0,0140	<b>0,1144</b>
№7	0,0125	0,0016	0,0016	0,0016
№8	0,0112	0,0024	0,0024	0,0024
№9	0,0129	0,0024	0,0024	0,0024
№10	0,0518	0,0159	0,0159	<b>0,1154</b>

ния, что косвенно подтверждает наличие ошибки в измерении  $I_{54}$ .

Грубая ошибка № 2 значением  $5s_U$  привела к превышению пороговых значений сразу в четырех КУ: № 1, 2, 6, 10. Под подозрение попадают четы-



одну итерацию. Практическая значимость такого подхода состоит в простоте его реализации и высокой скорости решения задачи.

2. Основные преимущества рассмотренного метода — это снижение размерности задачи и возмож-

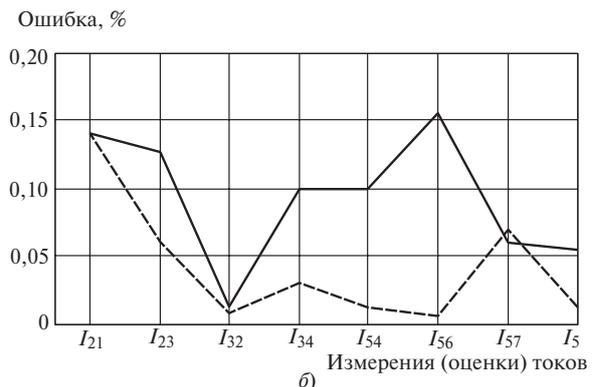


Рис. 2. Результаты ОС напряжений (а) и токов (б) для семиузловой схемы: — — ошибка измерений; ---- — ошибка оценок

ре измерения  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_5$ ,  $I_3$ , которые входят во все КУ, содержащие грубую ошибку. Поочередным исключением данных измерений определяется грубая ошибка в измерении  $U_5$ .

4. *Оценивание состояния методом КУ.* На рис. 2 представлены результаты линейного ОС методом контрольных уравнений в процентах эталонных значений.

В результате оценивания состояния среднеквадратическое значение ошибки уменьшилось с 0,104% до 0,054%.

**Выводы.** 1. Оснащение объектов ЭЭС устройствами для регистрации синхронизированных векторных измерений даёт возможность использовать для локального ОС быстродействующие линейные алгоритмы, позволяющие получить решение за

ность использования полученных контрольных уравнений для априорного обнаружения грубых ошибок в СВИ. Предложенный метод соответствует концепции локального оценивания состояния в рамках подстанции или области, наблюдаемой по СВИ, так как алгоритмы имеют высокое быстродействие.

3. В современных условиях функционирования ЭЭС, ориентированных на применение технологии векторной регистрации параметров, алгоритмы локального ОС могут быть легко интегрированы в АСУ объектов ЭЭС с последующим архивированием результатов ОС и передачей требуемых данных в центр диспетчерского управления ЭЭС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аюев Б.И., Ерохин П.М., Куликов Ю.А. Система мониторинга переходных режимов ЕЭС/ОЭС. — Сб. докл. Всерос. науч.-практич. конф. «Технологии управления режимами энер-

госистем XXI века». — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006, с. 83–92.

2. **Гамм А.З., Глазунова А.М., Гришин Ю.А. и др.** Развитие алгоритмов оценивания состояния электроэнергетической системы на основе интеграции данных SCADA и PMU. — Электричество, 2009, № 6, с. 2–9.

3. **Данилин А.В., Прихно В.Л., Жуков А.В., Демчук А.Т.** Система мониторинга запасов устойчивости энергосистемы по данным СМНР. — Межд. конф. «Monitoring of Power System Dynamic Performance», апрель 2008.

4. **Дорофеев И.Н., Летуновский Д.Н., Маргулян А.М.** Пилотный проект активно-адаптивной сети кластера «Эльгауголь» — задачи создания и основные технические решения. — Релейная защита и автоматизация, сентябрь 2011, с. 66–73.

5. **Башляев А.И.** Система мониторинга переходных режимов в ОЭС Северо-Запада на базе цифрового регистратора аварийных процессов «Парма РП4.11» — Межд. научн. практич. конф. «РЕЛАВЭКСПО» (Чебоксары), апрель 2012.

6. **Гамм А.З., Колосок И.Н.** Обнаружение грубых ошибок телеизмерений в электроэнергетических системах. — Новосибирск: Наука, 2000, 152 с.

7. **Гришин Ю.А., Колосок И.Н., Коркина Е.С. и др.** Программно-вычислительный комплекс «Оценка» оценивания состояния ЭЭС в реальном времени. — Электричество, 1999, № 2, с. 8–16.

8. **Wilkosz K.** Verification of the measurements of voltage magnitudes in electric power system. — Proc. of the Second Int. Symp. «On Security Power System Operation» (Wroclaw), 1981, paper E8, pp. 147–155.

9. **Sawicki J., Wilkosz K., Kremens Z.** Fast method for identification of bad data of active power flows in power network. — Proc. of CIGRE/IFAC Symposium (Italien, Florenz), 1983, pp. 101–106.

10. **Gamm A.Z., Glazunova A.M., Kolosok I.N.** Test Equations for Validation of Critical Measurements and Critical Sets at Power System State Estimation. — Proc. of the 2005 IEEE Power Tech., 27–30 June, 2005, IEEE S.Petersburg, Russia, paper 166.

11. **Колосок И.Н., Заика Р.А.** Исследование эффективности применения генетических алгоритмов для достоверизации телеизмерений при оценивании состояния ЭЭС. — Изв. РАН. Энергетика, 2003, № 6, с. 39–46.

[28.10.13]

*А в т о р ы : Колосок Ирина Николаевна окончила электромеханический факультет Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина в 1972 г. В 2004 г. защитила докторскую диссертацию «Повышение достоверности телеизмерительной информации в ЭЭС на основе контрольных уравнений» в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) СО РАН. Ведущий научный сотрудник ИСЭМ СО РАН.*

*Коркина Елена Сергеевна окончила электротехнический факультет Иркутского политехнического института в 1978 г. В 2009 г. защитила кандидатскую диссертацию «Развитие методов оценивания*

## Linear Estimation of State Using the Method of Control Equations for Local Systems for Monitoring Transient Operating Modes

I.N. KOLOSOK, E.S. KORKINA, and E.A. BUCHINSKII

*With the advent of a new generation of instruments for synchronized measurements of vector electrical quantities (voltages and currents in power lines) it has become possible to implement linear state estimation algorithms. A further development of the method of control equations is proposed for linear estimation of state of electric power system components observed based on the data of synchronized vector measurements (SVMs). New algorithms for forming the control equations based on the SVM data are proposed, which are constructed by eliminating the nonmeasured variables or components of the state vector from the equations of electric circuits written in the Cartesian system of coordinates. In view of the linear nature of these equations, the obtained control equations are also linear. Algorithms for revealing gross errors in SVMs are presented together with estimate calculation algorithms with the use of linear control equations that allow a solution to be obtained within a single iteration. The serviceability of the developed algorithms is checked on a test configuration observed by measurements of synchronized vector quantities. The developed algorithms open the possibility to perform local state estimation of individual power system components (power stations, substations, and electric network areas) observed by SVMs in the online mode.*

*Key words: electric power system, state estimation, synchronized vector measurements, method of control equations, linear algorithms*

*Authors: Irina Nikolayevna Kolosok graduated from the Electromechanical Department of the Kalinin Leningrad Polytechnic Institute in 1972. In 2004 she received the degree of Doct. Techn. Sci. at the Melent'ev Institute of Energy Systems within the Siberian Division of the Russian Academy of Sciences (ISEM). Her thesis dealt with methods for achieving better validity of remotely measured information in electric power systems on the basis of control equations. She is a leading researcher at the ISEM.*

*Elena Sergeevna Korkina graduated from the Electric Engineering Department of the Irkutsk Polytechnic Institute in 1978. In 2009 she received the degree of Cand. Techn. Sci. from the ISEM. Her thesis dealt with further development of methods for estimating the state of electric power systems based on integration of SCADA and PMU data. She is a senior researcher at the ISEM.*

*Evgenii Anatol'evich Buchinskii graduated from the Power Engineering Department of the Irkutsk State Technical University in 2007. He is a post-graduate student at the ISEM.*

---

состояния ЭЭС на основе интеграции данных SCADA и РМУ» в ИСЭМ СО РАН. Старший научный сотрудник ИСЭМ СО РАН.

*Бучинский Евгений Анатольевич* окончил энергетический факультет Иркутского государственного технического университета в 2007 г. Аспирант ИСЭМ СО РАН.