

ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ОБВЯЗКИ СХЕМЫ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГРУБЫХ ОШИБОК ДАННЫХ ТЕЛЕМЕТРИИ В ПК «RastrWin3»

В.Г. Неуймин¹, П.М. Ерохин², Д.М. Максименко¹

¹ Филиал НИО-9 ОАО «Научно-технический центр Единой энергетической системы», г. Екатеринбург,

² ОАО «Системный оператор Единой энергетической системы», г. Екатеринбург

Статья посвящена проблеме отбраковки грубых ошибок телеизмерений. Применяемые программы обработки и оценивания поступающей телеметрии не обладают достаточно полным функционалом для выявления простейших, но зачастую очень грубых ошибок данных телеметрии с учетом её привязки к электрической схеме. Это приводит к недостоверным результатам оценивания состояния и связанных с ними дальнейших расчетов.

В статье предложено совместить простейшие проверки адекватности замеров на определенных срезах по времени с анализом статистических данных телеметрии на временном интервале. К проверяемым функциональным зависимостям относятся: контроль баланса мощности узлов по данным сырых телеизмерений, анализ потерь мощности, рассчитанный через различные измерения на линии, а также контроль взаимосвязанных измерений. Для анализа качества замеров на временном интервале выполняется статистический и корреляционный анализ данных телеметрии.

Ключевые слова: оценивание состояния, фильтрация грубых ошибок телеметрии, привязка телеизмерений.

Введение

ОС (оценивание состояния) энергосистемы по данным телеметрии является одной из основополагающих задач в диспетчерском управлении. Формируемая в результате её решения модель установившегося режима создает основу для выполнения других расчетов. Наиболее часто модель режима используется для проведения имитационных расчетов, связанных с проверкой различных прогнозируемых ситуаций, для оптимизации режимов, контроля надежности и устойчивости. Очевидно, что от качества оценивания во многом зависит эффективность решения других задач, использующих его результаты. Для повышения качества оценивания в основном можно рассматривать два подхода – улучшение расчетных алгоритмов и подготовку расчетной схемы. И если алгоритмами занимается разработчик программы оценивания, то за подготовку самой схемы отвечает пользователь. На этом этапе возможно появление ошибок привязки каналов телеметрии к элементам электрической схемы. Такие ошибки вносят существенные искажения в результаты ОС в сравнении с реальным состоянием энергосистемы. Для поиска и исправления наиболее грубых ошибок предлагается использовать механизм фильтрации, основанный на проверке соответствия друг другу взаимосвязанных ТИ (телеизмерений) и ТС (телесигналов) в одном временном срезе и анализе статисти-

ческих данных для всех замеров на временном интервале. Для удобства далее такие фильтры будут называться статическим и динамическим.

1. Статический фильтр

В основе работы статического фильтра лежит использование порогового фильтра и теория отбраковки ошибочных ТИ, изложенная в [1]. Вкратце его суть заключается в проверке различных функциональных зависимостей ТИ между собой, таких как соблюдение законов Кирхгофа, и непротиворечивости взаимосвязанных ТИ. Простейший пороговый фильтр определяет возможный допустимый диапазон состояния измеряемого параметра и не дает измерению выйти за установленные рамки. Для его работы необходимо задавать возможный диапазон изменения ТИ, что зачастую делается далеко не для всех измерений. В основном пороговый фильтр контролирует отклонения замеров напряжения от номинальных значений, превышающих заданный общий порог в районе 10–30 %, и отсутствие отрицательных нагрузок и генераций. Для второго случая технологи часто задают минимальное пороговое значение 0 у узловых замеров нагрузки и генерации. Пороговый фильтр почти не используется для замеров перетоков мощности по линиям.

К проверяемым функциональным зависимостям относятся:

1. Баланс мощности в узле по данным «сырых» телеизмерений

Расчет балансов мощности в узлах по данным телеметрии возможен при наличии всех необходимых замеров по нагрузке и генерации в узле, если они существуют, и измерений мощностей в подходящих к узлу линиях. Большие небалансы в узлах позволяют выявить группу проблемных ТИ, в которой наверняка есть как минимум одно некорректное ТИ. Очень часто это бывает единственный замер мощности по линии, входящий в баланс с ошибочным знаком из-за неправильной привязки канала ТИ.

2. Фильтрация параметров режима отдельного участка сети

При наличии замеров потоков мощностей в начале и в конце линии, а также замеров напряжений в ограничивающих линию узлах, существует возможность расчета потерь в линии по формулам:

$$\begin{aligned} F_1 &= \Delta P(P_n^{ти}, Q_n^{ти}, U_n^{ти}) = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_n^2} R; \\ F_2 &= \Delta P(P_k^{ти}, Q_k^{ти}, U_k^{ти}) = \frac{P_k^2 + Q_k^2}{U_k^2} R; \\ F_3 &= \Delta P(Q_n^{ти}, Q_k^{ти}) = \frac{Q_n - Q_k}{X} R; \\ F_4 &= \Delta P(P_n^{ти}, P_k^{ти}) = P_n - P_k; \\ F_5 &= \Delta P(U_n^{ти}, U_k^{ти}, \delta^{ти}) = \frac{U_n^2 + U_k^2 - 2U_n U_k \cos \delta^{ти}}{Z^2} R. \end{aligned} \quad (1)$$

Каждое используемое ТИ в формулах (1) встречается при вычислении только двух значений F_i из пяти. Далее необходимо определить, какие значения F_i наиболее сильно отклоняются от среднего значения потерь. Если одно и то же ТИ входит в оба этих уравнения, то с большой вероятностью можно утверждать, что этот замер ошибочен. Такой подход достаточно эффективен в случаях наличия только одного плохого ТИ. В случае взаимосвязанных плохих данных результат работы фильтра становится неопределенным. К другим недостаткам этого метода относится необходимость наличия всех измеряемых параметров, что встречается обычно только в сетях высокого напряжения от 500 кВ и выше.

3. Контроль соотношений взаимосвязанных ТИ

На участке сети имеет смысл отдельно контролировать соотношения (3, 4). Небаланс, превышающий значения входящих в его уравнение замеров, свидетельствует об ошибке направления (знака) одного из ТИ. Отрицательное значение может быть следствием простых ошибок в ТИ, что наиболее вероятно для небольших значений перетоков мощности, где погрешность измерения сопоставима с самим замером. Иногда это может быть вызвано одновременно перепутанными номерами и знаками измерений мощности начала и конца линии. В любом случае эти замеры стоит

признать подозрительными и обратить на них отдельное внимание при изучении их ретроспективы.

4. Контроль соотношений взаимосвязанных ТИ и ТС

Одной из наиболее часто встречающихся проблем при выявлении ошибок в поступающей телеметрии является несоответствие сигналов ТИ и ТС. Так на условно отключенной по ТС линии замер мощности может существенно отличаться от нулевого значения. Или, наоборот, на условно включенной линии замер перетока мощности имеет значение, близкое к нулевому. На практике принимается главенствование ТС, однако такое упрощение является следствием отсутствия разработанных и реализованных отечественных механизмов топологической оценки. Следует отметить, что методы топологической оценки хорошо развиты за рубежом [2–4].

Статический фильтр, реализованный в ПК RastrWin3, позволяет выявлять описанные нарушения в автоматическом режиме и отображать их пользователю. Вид фильтра показан на рис. 1.

2. Динамический фильтр

В основе работы динамического фильтра лежит анализ статистической информации, рассчитанной для всей телеметрии. Анализ статистики позволяет выявить выбросы значений ТИ во времени, нехарактерное поведение графиков ТИ, различные колебания и пропадания сигналов. Для видов замеров ТИ и ТС используются разные показатели статистики. Показатели статистики сведены в таблицы со встроенными возможностями фильтрации, группировки и сортировки данных. В этих же таблицах имеется возможность отметить выбранные ТИ для построения их графиков. Вся статистика рассчитывается после заполнения локальной базы данных (ЛБД) ТИ. Значения ТИ берутся непосредственно из ОИК за указанный интервал с заданной дискретностью. Эта информация позволяет провести следующие виды анализа:

1. Статистический анализ ТИ

Для всех ТИ рассчитываются показатели статистики:

- минимальное значение;
- максимальное значение;
- среднее значение;
- дисперсия;
- среднеквадратичное отклонение σ ;
- признак наличия отклонений $> 3 \sigma$.

Наибольший интерес представляет значение σ . Анализ графиков с наибольшими его значениями позволяет выявить замеры с нехарактерным поведением графика и возможными ошибками в типе привязки. Пропадания сигнала также будут отражены большими значениями σ . Нарушения показателя 3σ , в особенности в сочетании с большими значениями среднеквадратического отклонения

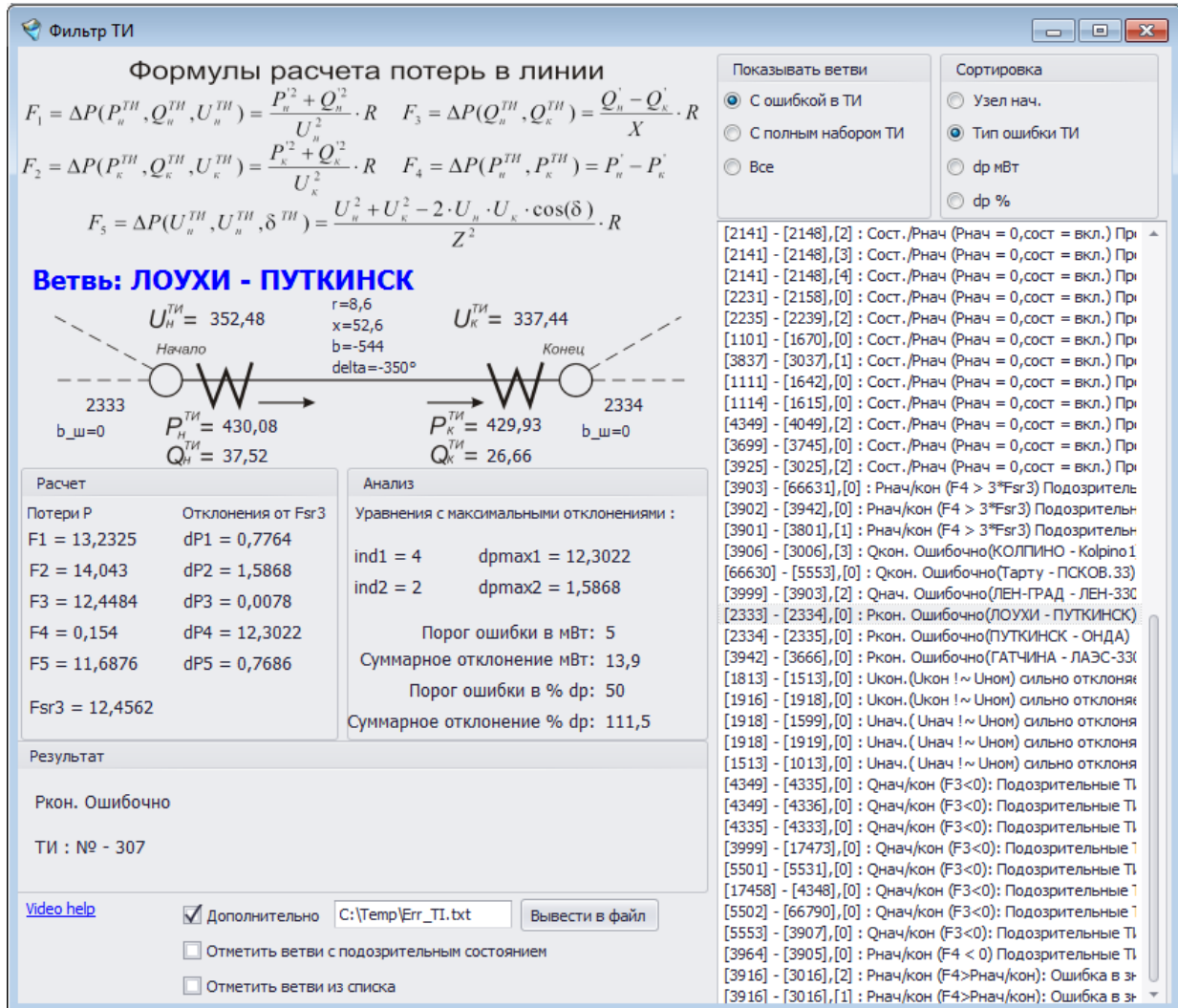


Рис. 1. Общий вид статического фильтра

(относительно среднего), помогут выявить резко скачущие ТИ. Здесь следует не забывать про выбранный интервал чтения данных ТИ – при больших интервалах актуальность этих данных статистики может снижаться.

2. Корреляционный анализ ТИ

Для всех ТИ рассчитываются коэффициенты корреляции. Матрица представляется пользователю в ленточной форме записи. Из-за большого количества коэффициентов для анализа в отображаемую матрицу попадают отфильтрованные значения, превышающие по модулю значение 0,9. Корреляционный анализ позволяет выявить одинаковые значения ТИ в разных каналах. Это может быть потенциальной ошибкой в обвязывании схемы каналами ТИ. Большие значения коэффициентов корреляции для ТИ с разными типами привязок, например мощности по линии и напряжения в узле, также представляют интерес для подробного изучения графиков ретроспективы таких ТИ. Возможно, эти данные могут пригодиться и для некоторых исследовательских целей, например, полу-

чения аналога коэффициентов влияния электрических параметров друг на друга.

3. Статистический анализ ТС

Значения ТС характеризуют 2 основных параметра – количество переключений и среднее значение. Здесь наибольший интерес представляет сопоставление графиков ТС, имеющих переключения состояний, с графиками замеров мощностей по этим линиям. Несоответствия в графиках укажут на вероятные ошибки привязки телеметрии к схеме. Такую проверку необходимо делать для всех случаев несоответствия ТИ и ТС, выявленных в статическом фильтре.

4. График балансов мощности в узлах

Построение графиков балансов и замеров мощностей, составляющих этот баланс, зачастую позволяет наглядно определить ошибочное ТИ, отклоняющее значения баланса мощности от нулевого значения.

5. Статистический анализ оцененных ТИ

Итогом настройки схемы для оценивания состояния и проведения расчета является получен-

ный установившийся режим и оцененные значения замеров. Качество оценки в общем случае можно охарактеризовать через отклонения оцененных значений ТИ от их измеренных значений. В плохо настроенной схеме эти отклонения будут довольно существенны. Ключевым показателем статистики ОС является среднеквадратичное отклонение оцененного значения ТИ от измеренного. Для ОС в ПК RastrWin3 важной характеристикой является еще и среднее значение множителя Лагранжа. Наибольшие отклонения этих параметров от нулевых значений часто свидетельствуют об ошибках в ТИ. В хорошо настроенной схеме оцененные значения параметров мало отличаются от их измерений, а множители Лагранжа не имеют резко выделяющихся больших значений.

Динамическая фильтрация в ПК RastrWin3, по сути, осуществляется за счет анализа показателей статистики динамики изменения данных. Показатели статистики позволяют осуществить быструю выборку подозрительных ТИ, а графический анализ – установить наличие ошибок в привязке или качестве сигнала выбранных каналов ТИ. Задачей динамической фильтрации в описанном контексте является обработка большого объема данных телеметрии, ранжирование по различным статистическим данным и ото-

бражение в удобном для восприятия виде. Общий вид представлен на рис. 2.

3. Практическое применение

Отладка описанного механизма производилась на «живой» оперативной схеме СМЗУ (Система мониторинга запасов устойчивости) ОДУ Северо-Запада. Отладка статических фильтров выполнялась также на схемах Тюменского РДУ, Смоленского РДУ, ОДУ Урала. Практика показывает, что наиболее критичной и часто возникающей ошибкой является несоответствие данных ТИ и ТС по активной мощности. Ошибки в замерах реактивной мощности часто выявляются при анализе отдельных участков сети и связаны с низким качеством замеров этого типа.

В текущей реализации механизма фильтрации требуется участие технолога, а сам механизм, по сути, является инструментом, выполняющим большую часть работы, связанной с первичным анализом данных ТИ, конечное же решение о корректности привязки ТИ при анализе схемы в каждом выявленном случае должен в общем случае принимать технолог. Статический фильтр может работать и в оперативном цикле ОС, отключая явно ошибочные ТИ или снижая весовой коэффициент подозрительных ТИ. Фильтр имеет свои

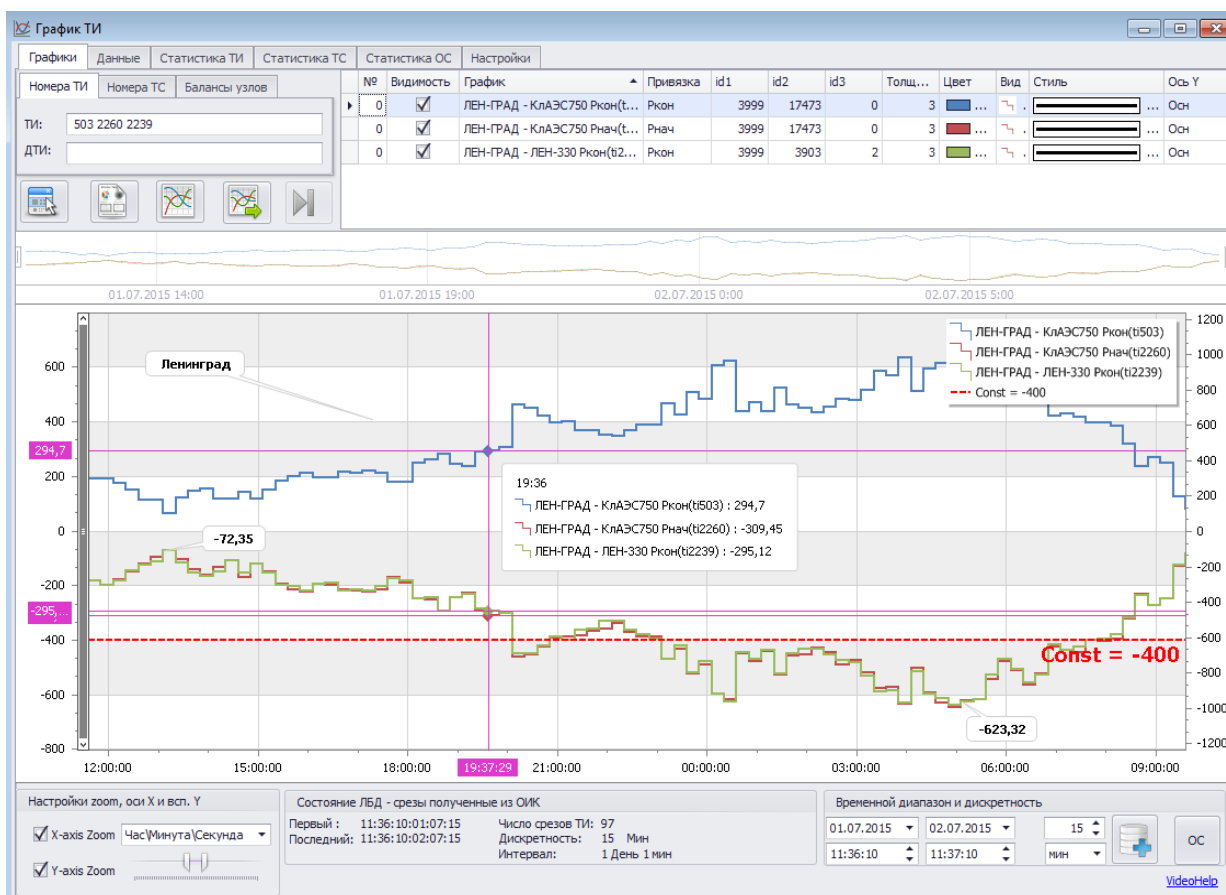


Рис. 2. Общий вид динамического фильтра

настройки для ранжирования ошибочных / подозрительных ТИ.

Выводы

Совместное применение методов статической и динамической фильтрации обеспечивает эффективный механизм поиска грубых ошибок в схеме привязки телеметрии. Встроенный в ПК RastWin3 конвертер Космос-Rastr позволяет получать существующие схемы, предназначенные для ОС, сразу с данными телеметрии и их привязкой. Возможность интеграции с любым существующим ОИК обеспечивает широкий диапазон применения описанных фильтров. Текущую реализацию фильтров можно расценивать как первый этап, необходимый для отбраковки некачественных ТИ, поступающих в ОС. Именно ошибки привязки телеметрии к схеме, обусловленные зачастую человеческим фактором, вносят постоянные существенные искажения в результаты ОС. Такие ошибки должны быть исключены в первую очередь. Следующим этапом проверки должна стать оценка топологии сети на основании данных ТС. Для полноценного решения этой задачи необходимо использование коммутационного слоя для представления крупных подстанций. И, наконец, на заключительном этапе должна выполняться фильтрация данных телеметрии в оперативном режиме на основании алгоритмов с использованием контрольных уравнений для оперативного выявления сбоев ТИ [5–7].

Неуймин Владимир Геннадьевич, канд. техн. наук, директор, филиал НИО-9 ОАО «Научно-технический центр Единой энергетической системы», г. Екатеринбург; vlad@niipt-ems.ru.

Ерохин Петр Михайлович, д-р техн. наук, советник председателя правления, ОАО «Системный оператор Единой энергетической системы», г. Екатеринбург; erp@ural.so-ups.ru.

Максименко Дмитрий Михайлович, аспирант, программист, филиал НИО-9 ОАО «Научно-технический центр Единой энергетической системы», г. Екатеринбург; maksimenko@niipt-ems.ru.

Литература

1. Бартоломей, П.И. Трехуровневое повышение достоверности измерительной информации о режимах работы электроэнергетических систем / П.И. Бартоломей, Е.Н. Бегалова, А.В. Паздерин. – Томск: Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308, № 5. – С. 152–154.

2. Generalized state estimation / O. Alsac, N. Vempati, B. Stott, A. Monticelli // IEEE. – 1998. – Vol. 13, no. 3. – P. 1069–1071.

3. Clements, K. Topology Error Identification Using Normalized Lagrange Multipliers / K. Clements, A. Costa // IEEE. – 1998. – Vol. 13, no. 2. – P. 347–353.

4. A robust estimation method for topology error identification / L. Mili, G. Steeno, F. Dobraca, D. French // IEEE. – 1999. – Vol. 14, no. 4. – P. 1469–1476.

5. Гамм, А.З. Обнаружение грубых ошибок телеизмерений в электроэнергетических системах / А.З. Гамм, И.Н. Колосок. – Новосибирск: Наука, 2000. – 152 с.

6. Новые информационные технологии в задачах оперативного управления электроэнергетическими системами / Н.А. Манов, Ю.Я. Чукреев, М.И. Успенский и др. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 205 с.

7. Колосок, И.Н. Достоверизация телеизмерений в ЭЭС с помощью искусственных нейронных сетей / И.Н. Колосок, А.М. Глазунова // Электричество, 2000. – № 10. – С. 18–24.

Поступила в редакцию 27 октября 2015 г

TELEMETRY BINDING MODEL VALIDATION AND ROUGH ERRORS IDENTIFICATION IN “RastrWin3”

V.G. Neymin¹, vlad@niipt-ems.ru,
P.M. Erohin², epm@ural.so-ups.ru,
D.M. Maksimenko¹, maksimenko@niipt-ems.ru

¹ JSC “Scientific and Technical Center of Unified Power System” NIO-9 branch, Ekaterinburg, Russian Federation,

² JSC “System Operator of Unified Power System”, Ekaterinburg, Russian Federation

This paper addresses the issue of sorting rough errors of remote measurements. Available programs for processing and evaluation of incoming telemetry data do not provide a full capacity to identify the simplest, but often rough telemetry data errors with due regard to its binding to the circuit diagram. That is a main cause of unreliable results at condition estimation and related further calculations.

The paper proposes to combine a simple check of measurement conformity at certain time sections with analysis of statistical remote measurement data for the time interval specified. Functional relations to be checked include: power balance control based on raw telemetry data, power loss analysis calculated with various measurements on the line as well as control of interconnected measurements. Measurement reliability is estimated by means of statistical and correlation analysis of telemetry data.

Keywords: condition estimation, sorting rough telemetry errors, telemetry binding.

References

1. Bartalomey P.I., Begalova E.N., Pazderin A.V. [Three-Level Increase in the Reliability of the Measurement Information about States of Electric Power Systems]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [News of The Tomsk Polytechnic University], 2005, vol. 308, no. 5, pp. 152–154. (in Russ.)
2. Alsac O., Vempati N., Stott B., Monticelli A. Generalized State Estimation. *IEEE*, 1998, vol. 13, no. 3, pp. 1069–1071.
3. Clements K., Costa A. Topology Error Identification Using Normalized Lagrange Multipliers. *IEEE*, 1998, vol. 13, no. 2, pp. 347–353.
4. Mili L., Steeno G., Dobraca F., French D. A Robust Estimation Method for Topology Error Identification. *IEEE*, 1999, vol. 14, no. 4, pp. 1469–1476.
5. Gamm A.Z., Kolosok I.N. *Obnaruzhenie grubyykh oshibok teleizmereniy v elektroenergeticheskikh sistemakh* [Detecting Gross Errors in Power Systems Telemetry]. Novosibirsk, Nauka, 2000. 152 p.
6. Manov N.A., Chukreev Yu.Ya., Uspenskiy M.I. et al. *Novye informatsionnye tekhnologii v zadachakh operativnogo upravleniya elektroenergeticheskimi sistemami* [New Information Technologies in the Tasks of Operational Management of Power Systems]. Ekaterinburg, Uro RAN, 2002, 205 p.
7. Kolosok I.N., Glazunova A.M. [EPS Telemetry Validation Using Artificial Neural Networks]. *Electrical Technology Russia*, 2000, no. 10, pp. 18–24. (in Russ.)

Received 27 October 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Неуймин, В.Г. Верификация модели обвязки схемы и идентификация грубых ошибок данных телеметрии в ПК «RastrWin3» / В.Г. Неуймин, П.М. Ерохин, Д.М. Максименко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 24–29. DOI: 10.14529/power160104

FOR CITATION

Neymin V.G., Erohin P.M., Maksimenko D.M. Telemetry Binding Model Validation and Rough Errors Identification in “RastrWin3”. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2016, vol. 16, no. 1, pp. 24–29. (in Russ.) DOI: 10.14529/power160104