

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.398; 004.67

DOI 10.21685/2307-5538-2019-3-1

*А. В. Левенец, Д. И. Неведьев, С. Р. Симаков*АЛГОРИТМ КОРРЕКЦИИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ
ИЗМЕРЕНИЙ ПО ДАННЫМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ УЧЕТА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ*A. V. Levenets, D. I. Nefedyev, S. R. Simakov*THE CORRECTION ALGORITHM OF TELEMETRY
DATA ACCORDING TO THE DATA OF AUTOMATED
INFORMATION AND MEASURING SYSTEMS
OF ELECTRIC POWER ACCOUNTING

А н н о т а ц и я. *Актуальность и цели.* Целью работы является экспериментальная проверка возможности применения коррекции данных телеметрии по данным автоматизированных систем учета электроэнергии для уменьшения отклонения значений этих источников данных, что позволит повысить эффективность управления энергетическими системами. *Материалы и методы.* Для коррекции данных предлагается использовать алгоритм, в основе которого лежит построение зависимости «отклонение – значение автоматизированной системы учета» с последующей ее аппроксимацией ступенчатой функцией и дальнейшей корректировкой данных телеметрии. Проверка работоспособности алгоритма проводилась на данных, полученных по ряду подключений энергетических объектов Дальнего Востока России. *Результаты.* Показано, что величины отклонений для различных подключений и различных временных участков в случае применения алгоритма коррекции существенно снижаются. Это наблюдается при работе с данными, имеющими как стационарный, так и нестационарный характер. Также снижаются величины математического ожидания и дисперсии откорректированного потока данных телеметрии. *Выводы.* Применение предложенного алгоритма коррекции данных телеметрии приводит в большинстве случаев к существенному снижению (в два-три раза) погрешности оценки мощности. Однако для корректной работы алгоритма необходимо обеспечивать приемлемое качество данных, полученных по линии телеметрии, в противном случае погрешность будет снижаться незначительно, не более чем на несколько процентов.

A b s t r a c t. *Background.* The aim of the work is to experimentally testing of the possibility of telemetry data correction based on the data of automated electricity metering systems to reduce the deviation of the values of these data sources, which will improve the efficiency of energy systems management. *Materials and methods.* To correct the data an algorithm based on the construction of the dependence «deviation – value of the automated accounting system»

with its subsequent approximation by a step function and further correction of telemetry values, it is proposed to use. Verification of the algorithm performance was carried out on the data obtained for a number of connections of power facilities of the Far East of Russia. **Results.** It is shown that the values of deviations for different connections and different time zones, in the case of the correction algorithm are significantly reduced. This is observed when working with data having both stationary and non-stationary character. The values of expectation and variance of corrected telemetry data flow are also reduced. **Conclusions.** Application of the proposed algorithm of telemetry data correction leads in most cases to a significant reduction (two to three times) of the power estimation error. However, for the correct operation of the algorithm, it is necessary to ensure the acceptable quality of the data obtained through telemetry, otherwise the error will be reduced slightly, not more than a few percent.

К л ю ч е в ы е с л о в а: отклонение, телеметрические данные, коррекция, алгоритм, система учета электроэнергии.

К e y w o r d s: deviation, telemetry data, correction, algorithm, electricity metering systems.

Введение

Управление современными промышленными объектами, например электрическими сетями, является достаточно сложной задачей в силу как пространственного распределения элементов объекта управления, так и сложности основных технологических процессов. Одной из важных проблем является обеспечение приемлемого уровня достоверности данных информационно-измерительных систем, использующихся для обоснования принятия решения [1–3]. Следует отметить, что проблеме верификации и достоверизации данных, несмотря на ее очевидную актуальность, уделяется существенно меньше внимания, чем такой задаче, как диагностика состояния технических средств [3].

Существенную актуальность проблема достоверизации принимает для такой важной области, как электроэнергетика [4–6]. В настоящее время для систем электроэнергетики выработка управляющих решений на стадии ведения режима, как правило, производится по показаниям оперативного информационного комплекса (ОИК), источником данных для которого являются системы телемеханики (ТМ) [2]. Следует отметить, что кроме аппаратуры ТМ на объектах электроэнергетики устанавливают оборудование автоматизированных информационно-измерительных систем учета электроэнергии (АИИС УЭ). При этом относительная погрешность средних получасовых значений мощности, полученных по данным ТМ, часто существенно превышает соответствующую погрешность АИИС УЭ и может достигать 5 % и более, что приводит к неправильному определению инициатив отклонений субъектов рынка.

Кардинальным решением приближения значений оперативных данных к данным коммерческого УЭ является массовое внедрение современных средств ТМ и последующее их постоянное обновление. Также возможна организация оперативной передачи данных АИИС УЭ в ОИК, что однако требует больших затрат времени и средств. В качестве паллиативного решения вышеуказанной проблемы при соответствующем изменении нормативной базы может быть применение коррекции данных ТМ на основании ранее проведенных измерений АИИС УЭ.

Исходные положения для процедуры коррекции

Одним из возможных технических вариантов повышения точности измерений средних значений мощности в ОИК является определение калибровочной функции, описывающей систематическое отклонение средних получасовых значений ТМ от данных АИИС УЭ за предыдущие периоды времени с последующей калибровкой текущих значений ТМ в ОИК. Такой подход основывается на следующих предположениях:

- измерения АИИС УЭ считаются образцовыми;
- погрешности ТМ и АИИС УЭ являются в основном систематическими с характерным временем изменения большим нескольких суток;
- зависимость погрешностей от мощности является плавной;

- за характерное время 30 мин не происходит значительных изменений мощности, существенно влияющих на среднее значение;
- долями погрешности, связанными с расхождением начала времени интегрирования в ОИК и АИИС УЭ, сбоями в каналах связи ТМ, разрядностью ТМ в ОИК можно пренебречь;
- погрешности ТМ могут незначительно выходить за границы допустимых погрешностей.

Таким образом, предполагается стационарность поведения получаемых погрешностей на достаточно больших промежутках времени – до нескольких суток.

Наиболее простым алгоритмом компенсации отклонения является вычитание среднего отклонения из текущего значения ТИ. Однако систематические погрешности ТМ и АИИС УЭ зависят от мощности, что может привести к появлению существенных отклонений. Для оценки влияния данного фактора были проведены исследования повторяемости режимов переток по присоединениям.

В качестве критерия оценки степени повторяемости использовались коэффициенты автокорреляции $R(k)$, вычисляемые по данным за сутки (48 получасовых значений) следующим образом:

$$R(k) = \frac{1}{\sigma_0 \sigma_k} \sum_{i=0}^{47} P_0(i) P_k(i),$$

где $P_0()$ – функция мощности за сутки, соответствующей началу отсчета, $P_k()$ – функция мощности за k -е сутки после начала отсчета, σ_0 – среднеквадратическое отклонение функции мощности за сутки – начало отсчета, σ_k – среднеквадратическое отклонение функции мощности за k -е сутки.

Такого рода исследование было проведено на данных, полученных по девяти присоединениям. Анализ полученных результатов показал, что для большинства присоединений при величине параметра не выше трех коэффициент корреляции принимает значение не менее чем 0,75 [7]. Другими словами, можно констатировать сильную временную зависимость режимов, проявляющуюся на временном интервале до трех суток. Таким образом, можно предположить, что величина среднего отклонения слабо зависит от нелинейности измерительных систем на указанных интервалах времени.

Алгоритм коррекции значений телемеханики

Таким образом, для обеспечения компенсации данных ТМ следует выполнить следующую последовательность действий:

1. Вычисляется функция отклонения как разность полученных за предыдущие сутки данных телеизмерений, усредненных по каждому получасу и соответствующих им получасовых данных АИИС УЭ.

2. Строится зависимость «отклонение – значение АИИС УЭ», что позволит поставить в соответствие величины отклонения и значения мощности. Можно предположить, что в самом общем случае эта зависимость будет иметь приблизительно линейный характер. Следует отметить, что на данном этапе необходимо провести фильтрацию аномальных отклонений, т.е. отклонений, величины которых превышают заданное допустимое значение, оцениваемое как сумма максимальных допустимых отклонений средних получасовых значений мощности АИИС УЭ и ТМ.

3. Исходя из предположения о том, что максимальные отклонения соответствуют максимальным возможным значениям мощности, полученная зависимость аппроксимируется ступенчатой функцией, так как ее наклон будет незначительным. При этом, разбивая полученную зависимость на достаточно большое количество ступеней, можно с достаточно высокой долей уверенности утверждать, что модули величин отклонений в пределах одной ступени будут описываться следующим неравенством:

$$|\varepsilon_{ст}| \leq \varepsilon_{доп} / N,$$

где $|\varepsilon_{ст}|$ – модуль отклонения на ступени; $\varepsilon_{доп}$ – максимально допустимое отклонение для данной точки измерения; N – число ступеней.

4. Вычисляется среднее значение отклонения на каждой ступени. В том случае, если для некоторых ступеней отсутствуют соответствующие им значения, но в соседних (с обеих сто-

рон) ступенях данные имеются, значение отклонения для такой ступени вычисляется с помощью линейной аппроксимации по значениям соседних ступеней. Для крайних ступеней с отсутствующими данными корректировочное значение принимается равным нулю. Полученные таким образом N корректировочных значений будут использоваться для коррекции текущих значений телемеханики в последующие сутки следующим образом: при попадании значений телеизмерения в диапазон некоторой ступени из этого значения происходит вычитание корректирующей величины, соответствующей этой ступени.

Проверка качества данных

Для определения корректности проведения предложенной процедуры коррекции данных телеизмерений предлагается оценивать качество данных, по которым находятся корректирующие величины. Здесь под термином «качество данных» будет пониматься число получасовых значений отклонений K , не превышающих заданное допустимое значение за сутки. На рис. 1 приведены примеры графиков качества данных, полученных для двух различных присоединений.

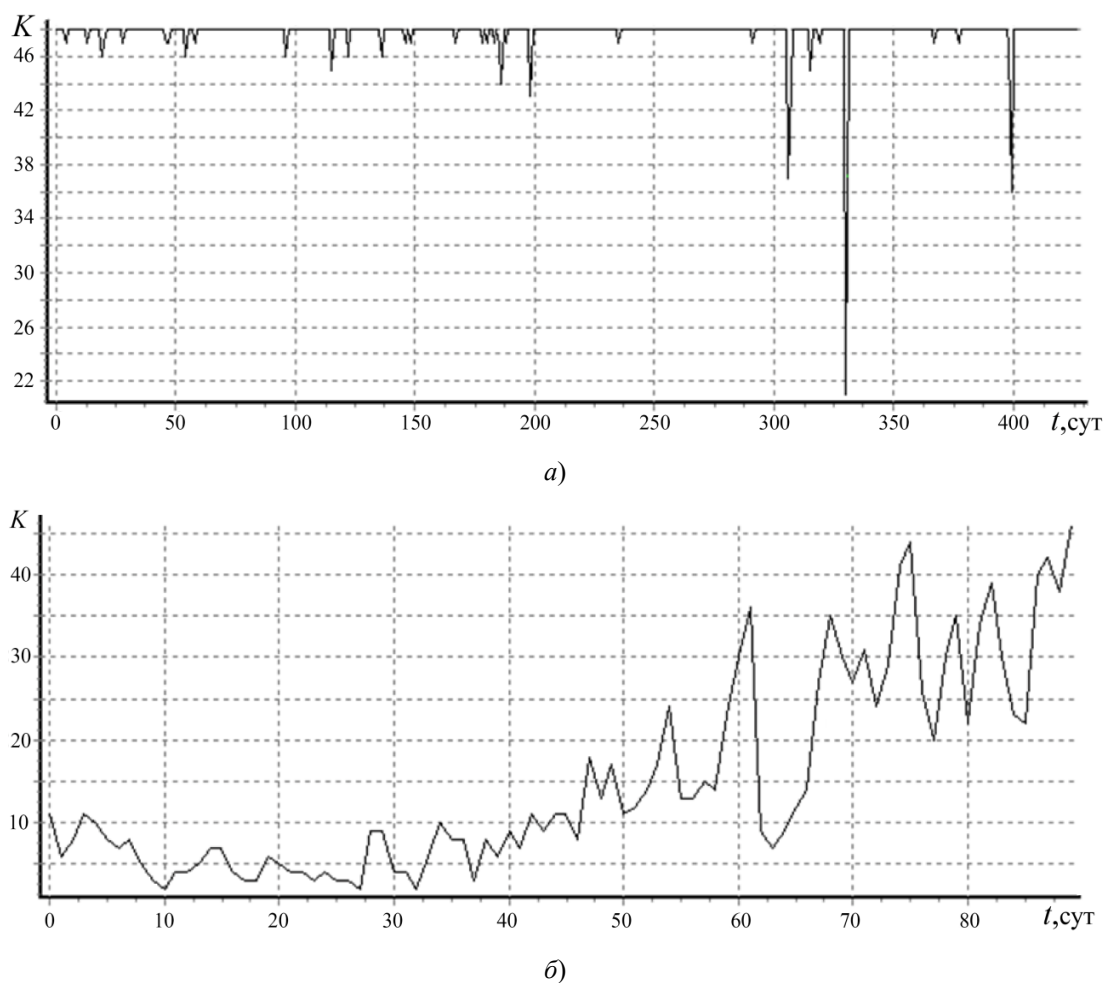


Рис. 1. Качество данных для присоединений 220кВ АТ1 ПС 500 кВ «Хабаровская» (а) и Л220 кВ «ПримГРЭС-Чугуевка» (б)

Следует отметить, что, судя по полученным данным, для некоторых присоединений метрологические свойства измерительной аппаратуры не соответствуют заявленным значениям. При этом можно предположить, что отсутствие корректных данных приведет к низкой эффективности компенсирующей процедуры, поэтому для проведения исследований по данным таких точек измерений следует искусственно повышать величину допустимого отклонения или отключать процедуру аномальной фильтрации.

Одним из основных предположений, легших в основу предлагаемой процедуры компенсации, является допущение плавности кривой зависимости «отклонение – данные АИИС УЭ». Для проверки этой гипотезы были построены такие зависимости для ряда точек измерений.

Наиболее характерные графики таких зависимостей представлены на рис. 2, где цифры 1 и 2 обозначены предельно допустимые положительное и отрицательное отклонения соответственно. Следует отметить хорошую аппроксимацию экспериментальных кривых кусочно-линейными функциями. Форма кривой на рис. 2,б объясняется нелинейной временной зависимостью отклонения для данного присоединения. Таким образом, согласно полученным данным можно сделать вывод о приемлемости допущений, положенный в основу предлагаемого способа компенсации.

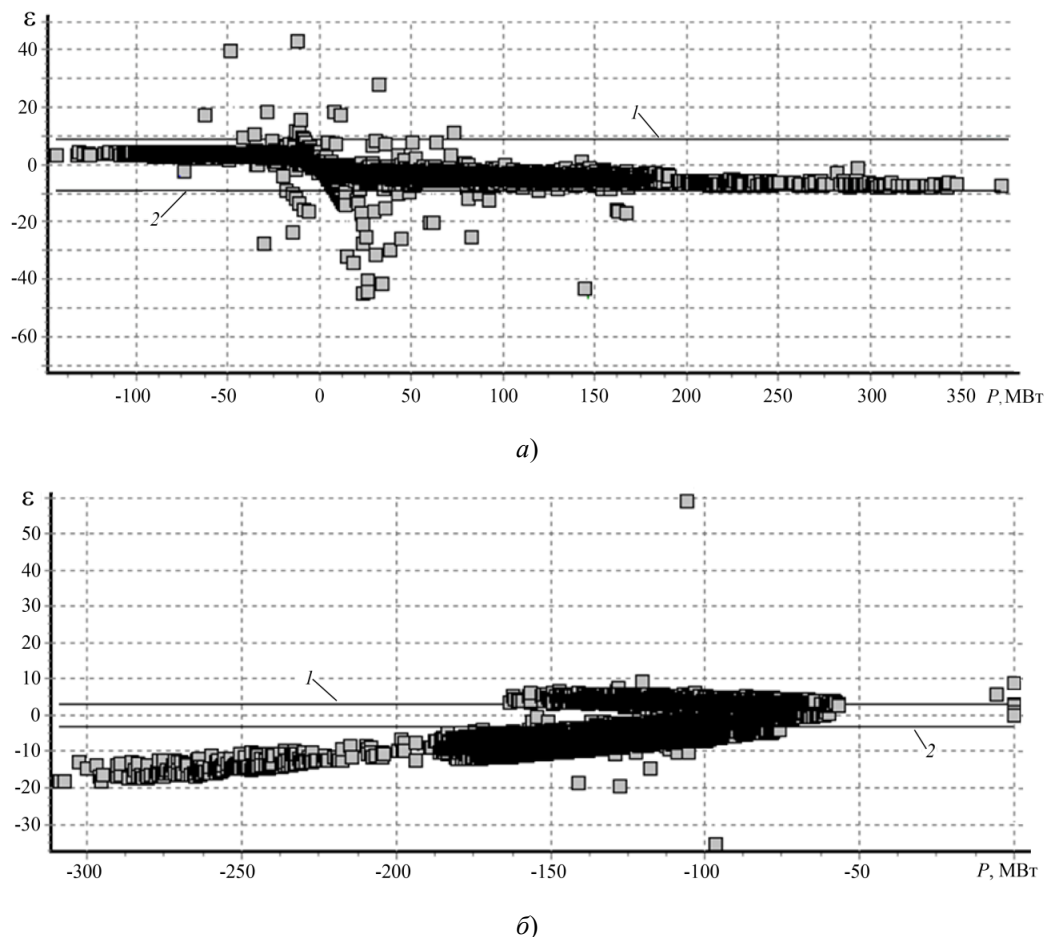


Рис. 2. Графики зависимостей «отклонение ТИ – данные АИС КУЭ и АСТУЭ» для присоединений ПС 500 кВ «Хабаровская» 220кВ АТ1 (а) и Л220 кВ «ПримГРЭС – Чугуевка» (б)

Оценка эффективности процедуры компенсации

Исследование эффективности алгоритма компенсации было проведено на данных, полученных по ряду присоединений. Для оценки эффективности было предложено использовать два критерия: на основе оценки величины отклонения энергии и на основе оценки величины модуля средней ошибки, вычисленной за исследуемый период.

Первый критерий рассчитывается по следующей формуле:

$$L_1 = \frac{\sum_{i=1}^N P_A(i) - \sum_{j=1}^N P_T(j)}{P_{\max}} \cdot 100\%,$$

где $P_A(i)$ – мощность за i -й получас по данным АИИС УЭ; $P_T(i)$ – мощность за i -й получас по телемеханическим данным; $P_{\max}$ – максимальная мощность по исследуемому присоединению; N – число получасовых значений в исследуемом периоде.

Второй критерий определяется следующим образом:

$$L_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_A(i) - P_T(i)|.$$

Используя предложенные критерии, можно оценить как вероятную величину погрешности, так и общую погрешность за некоторый период.

Характерный пример функционирования алгоритма коррекции приведен на рис. 3, где цифрами обозначено: 1 – математическое ожидание отклонения по корректированным данным ТМ, 2 – математическое ожидание отклонения по некорректированным данным ТМ, 3 – отклонение по корректированным данным ТМ, 4 – отклонение по некорректированным данным ТМ, 5 и 6 – положительное и отрицательное допустимые отклонения соответственно.

Результаты исследования

Полученные в ходе проведенного исследования результаты сведены в табл. 1, где приведены вычисленные значения предложенных критериев, а также величины математических ожиданий (МО) и среднеквадратических отклонений (СКО) для нескольких различных присоединений и их временных отрезков как для случая отсутствия (ТМ), так и в случае проведения (ТМк) коррекции.

Следует отметить, что как по первому, так и по второму критерию алгоритм компенсации работает с достаточной эффективностью – значение модуля средней погрешности (критерий L_2) уменьшается примерно в три раза, а значение погрешности определения мощности за период (критерий L_1) – примерно в пять раз.

Также важно отметить, что на нестационарных участках, а также для некоторых присоединений с нелинейными характеристиками измерительной системы, отклонения для откорректированных значений могут несколько увеличиваться, как это показано на рис. 3, б, где приведены результаты проведения компенсации для случая нелинейного поведения зависимости «отклонение – данные АИИС УЭ».

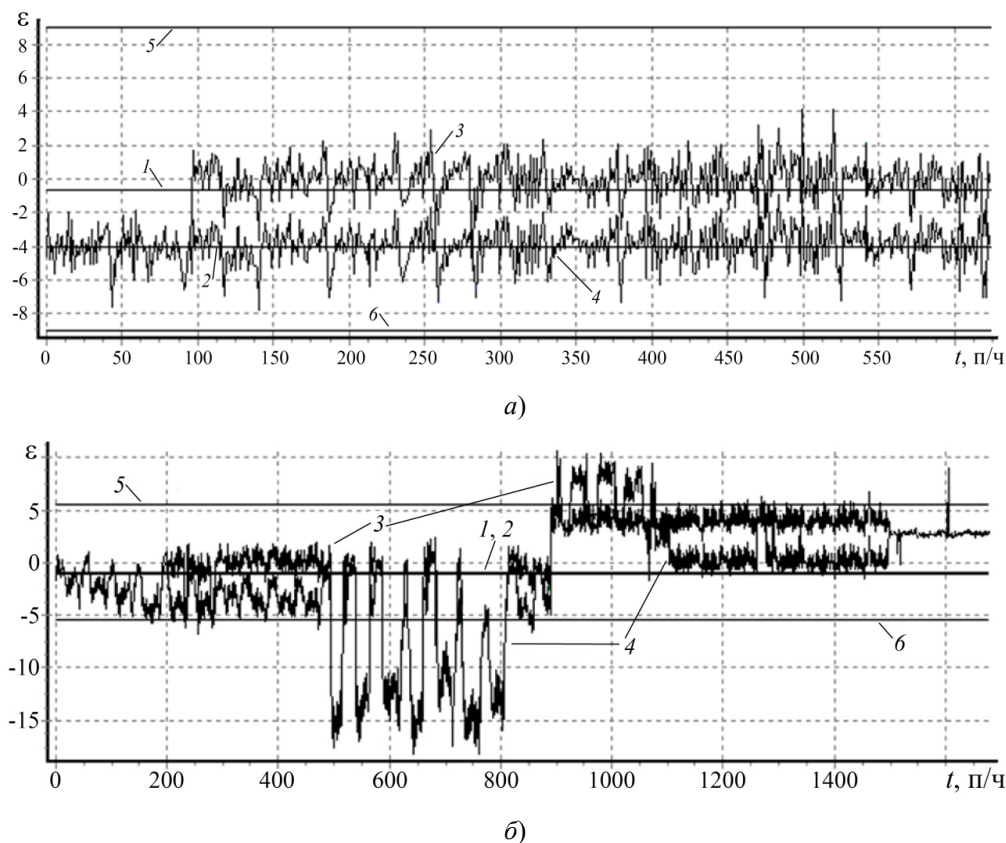


Рис. 3. Пример функционирования алгоритма компенсации на стационарном участке присоединения ПС «Хабаровская» 220 кВ АТ1 (а) и нестационарном участке присоединения Л1500 кВ «ПримГРЭС – Чугуевка» (б)

Таблица 1

Экспериментальные данные работы алгоритма коррекции

Точка измерения	L_1		L_2		МО		СКО	
	ТМ	ТМк	ТМ	ТМк	ТМ	ТМк	ТМ	ТМк
ПС Хабаровская (428 суток)	4,82	0,95	3,32	0,97	-1,37	-0,32	8,11	7,59
ПС Хабаровская (стационарный участок, 11 суток)	4,85	0,05	5,36	1,25	-4,45	-0,05	0,59	0,72
ПС Хабаровская (нестационарный участок, 23 суток)	-6,73	3,46	2,98	0,94	0,28	0,15	3,12	1,51
ПС Амурская (весь диапазон, 428 суток)	1,04	0,39	1,73	1,36	-0,83	-0,31	10,39	10,42
ПС Амурская (стационарный участок, 25 суток)	0,43	0,00	0,83	0,55	-0,44	0,00	0,35	0,3
ПС Амурская (нестационарный участок, 15 суток)	3,12	-0,73	1,39	0,54	-0,55	0,13	1,37	0,78
ПримГРЭС-Чугуевка (183 суток)	-2,96	-1,11	5,07	2,26	-4,07	-1,82	4,42	4,04
ПримГРЭС-Чугуевка (стационарный участок, 40 суток)	-4,02	-0,22	5,62	0,40	-5,96	-0,33	1,65	1,41
ПримГРЭС-Чугуевка (нестационарный участок, 35 суток)	1,84	1,75	3,35	1,01	-1,09	-1,18	5,9	5,14

Заключение

Для большинства исследованных присоединений предлагаемый алгоритм коррекции позволяет значительно (в два-три раза) снизить среднее значение отклонения для телемеханических данных. Тем не менее для некоторых присоединений даже после применения алгоритма коррекции отклонение снижается незначительно. Здесь следует отметить, что для таких присоединений характерно низкое качество входных данных, что, очевидно, оказывает значительное влияние на эффективность алгоритма компенсации. При этом даже полный отказ от фильтрации аномальных погрешностей приводит к незначительному снижению значений предложенных критериев оценки эффективности. В качестве объяснения такого факта можно предполагать нестационарное поведение отклонения для таких точек измерения, обусловленное метрологическими характеристиками аппаратуры измерения и/или связи.

Библиографический список

1. Современная телеметрия в теории и на практике : учеб. курс / А. В. Назаров, Г. И. Козырев, И. В. Шитов, В. П. Обрученков, А. В. Древин, В. Б. Краскин, С. Г. Кудряков, А. И. Петров, С. М. Соколов, В. Л. Якимов, А. И. Лоскутов. – Санкт-Петербург : Наука и Техника, 2007. – 672 с.
2. Занин, А. С. Достоверизация телеизмерений в системах управления сложными структурами на примере ОАО «СО ЕЭС» / А. С. Занин, К. И. Бушмелева // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2017. – Т. 2. – С. 7–8.
3. Вережкин, А. П. Диагностика, верификация и достоверизация данных для автоматизированных систем управления / А. П. Вережкин // Нефтегазовое дело. – 2016. – № 3. – С. 239–254.
4. Сухов, С. А. Мониторинг оперативных диспетчерских данных средствами Интернет / С. А. Сухов // Автоматизация и современные технологии. – 2007. – № 3. – С. 24–30.
5. Ухов, В. И. Контроль и оценка качества передачи оперативной информации в распределенной системе сбора данных / В. И. Ухов, А. В. Мандрик // Автоматизация и современные технологии. – 2008. – № 11. – С. 30–32.
6. Макоклюев, Б. И. Обработка данных коммерческого учета для формирования и планирования балансов энергокомпаний / Б. И. Макоклюев, А. В. Шалаев, А. А. Артемьев // Энергоэксперт. – 2012. – № 1. – С. 70–73.

7. Симаков, С. Р. Исследование возможности коррекции телеметрических измерений по данным АИИС КУЭ и АСТУЭ / С. Р. Симаков, А. В. Левенец // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов : сб. тр. IV Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Благовещенск, 5–7 октября 2005 г.). – Благовещенск, 2005. – С. 142–146.

References

1. Nazarov A. V., Kozyrev G. I., Shitov I. V., Obruchenkov V. P., Drevin A. V., Kraskin V. B., Kudryakov S. G., Petrov A. I., Sokolov S. M., Yakimov V. L., Loskutov A. I. *Sovremennaya telemetriya v teorii i na praktike: ucheb. kurs* [Modern telemetry in theory and practice : studies. course]. Saint-Petersburg: Nauka i Tekhnika, 2007, 672 p. [In Russian]
2. Zanin A. S., Bushmeleva K. I. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality]. 2017, vol. 2, pp. 7–8. [In Russian]
3. Verevkin A. P. *Neftegazovoe delo* [Oil and gas business]. 2016, no. 3, pp. 239–254. [In Russian]
4. Sukhov S. A. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii* [Automation and modern technologies]. 2007, no. 3, pp. 24–30. [In Russian]
5. Ukhov V. I., Mandrik A. V. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii* [Automation and modern technologies]. 2008, no. 11, pp. 30–32. [In Russian]
6. Makoklyuev B. I., Shalaev A. V., Artem'ev A. A. *Energoekspert* [Energoekspert]. 2012, no. 1, pp. 70–73. [In Russian]
7. Simakov S. R., Levenets A. V. *Energetika: upravlenie, kachestvo i effektivnost' ispol'zovaniya energoresursov: sb. tr. IV Vseros. nauch.-tekhn. konf. s mezhdunar. uchastiem (Blagoveshchensk, 5–7 oktyabrya 2005 g.)* [Energy: management, quality and efficiency of energy resources: sat. Tr. IV Vseros. scientific-tekhn. conf. with intern. participation (Blagoveshchensk, 5–7 October 2005)]. Blagoveshchensk, 2005, pp. 142–146. [In Russian]

Левенец Алексей Викторович

доктор технических наук, профессор,
кафедра автоматизации и системотехники,
Тихоокеанский государственный университет
(Россия, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136)
E-mail: levalvi@bk.ru

Levenets Alexey Viktorovitch

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of automation
and systems engineering,
Pacific National University
(136, Tihookeanskaya street, Khabarovsk, Russia)

Нефедьев Дмитрий Иванович

доктор технических наук, профессор,
кафедра информационно-измерительной техники
и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: ndi200106@yandex.ru

Nefed'ev Dmitriy Ivanovich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of information-measuring
equipment and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Симаков Сергей Романович

кандидат физико-математических наук,
ИП «Симаков Сергей Романович»
(Россия, г. Хабаровск, ул. Ленина, 35)
E-mail: ssr3000@rambler.ru

Simakov Sergey Romanovitch

candidate of physical and mathematical sciences,
PE "Simakov Sergey Romanovitch"
(35, Lenina street, Khabarovsk, Russia)

Образец цитирования:

Левенец, А. В. Алгоритм коррекции телеметрических измерений по данным автоматизированных информационно-измерительных систем учета электроэнергии / А. В. Левенец, Д. И. Нефедьев, С. Р. Симаков // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2019. – № 3 (29). – С. 6–13. – DOI 10.21685/2307-5538-2019-3-1.