

# СРАВНИТЕЛЬНАЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В АИС КУЭ

## COMPARATIVE MULTI-CRITERIA ASSESSMENT OF EXISTING DATA RELIABILITY OF POWER CONSUMPTION MONITORING METHODS IN AIIS KUE

*A. Timchuk  
Yu. Dubenko*

**Summary.** The article provides a comparative multi-criteria assessment of two currently existing methods for monitoring data reliability in AIIS KUE, conventionally called «clusterization» and «increase of meter surveys frequency». Many different indicators related to the cost of methods implementation and the quality of monitoring the metering data reliability were chosen as the estimated parameters, and a set of criteria consisting of multiplicative, additive, and ideal point distance criteria with different weights was chosen for their evaluation. As a result of the compared methods evaluation, conclusions were made about their shortcomings and effectiveness.

**Keywords:** AIIS KUE, data reliability control, comparative assessment, criteria set.

**Тымчук Алексей Игоревич**  
Ассистент, Кубанский государственный технологический университет (Краснодар)  
*alextimchuck@gmail.com*  
**Дубенко Юрий Владимирович**  
Доктор технических наук, доцент,  
Кубанский государственный технологический университет (Краснодар)  
*scorpioncool1@yandex.ru*

**Аннотация.** В статье проведена сравнительная многокритериальная оценка двух существующих в настоящее время методов контроля достоверности данных электропотребления в автоматизированных информационно-измерительных системах контроля и учёта электроэнергии, условно названных «кластеризация» и «увеличение частоты опроса приборов учёта». В качестве оцениваемых параметров было выбрано множество различных показателей, связанных со стоимостью реализации методов и обеспечиваемым ими качеством контроля достоверности данных приборов учёта. В качестве критериев оценки методов взято множество, состоящее из мультипликативного, аддитивных и расстояния до идеальной точки критериев с различными весами. В результате проведённой оценки сравниваемых методов были сделаны выводы об их эффективности и имеющихся у них недостатках.

**Ключевые слова:** АИС КУЭ, контроль достоверности данных, сравнительная оценка, множество критериев.

**В** настоящее время в автоматизированных информационно-измерительных системах контроля и учёта электроэнергии (АИС КУЭ) существуют два метода автоматизированного контроля достоверности данных потребления электроэнергии [1]. Первый метод — кластеризация принадлежащих АИС КУЭ приборов учёта, суть которого заключается в сужения круга поиска приборов учёта, передающих недостоверные данные, посредством разбиения множества всех принадлежащих АИС КУЭ приборов учёта на кластеры с контрольными точками [2]. Второй метод автоматизированного контроля достоверности данных потребления электроэнергии — увеличение частоты опроса приборов учёта. Суть данного метода заключается в переводе прибора учёта на режим работы с уменьшенным интервалом передачи данных, при наличии потерь электроэнергии в системе.

Был проведён сравнительный анализ методов «кластеризация» (M1) и «увеличение частоты опроса приборов учёта» (M2) по множеству нормализованных

параметров, имеющему древовидную структуру, представленную на рисунке 1. Нормализация параметров была произведена посредством вычисления отношения их текущего значения к максимально возможному.

Приведённые на рисунке 1 параметры далее в тексте имеют следующие сокращённые обозначения:

*E* — эффективность метода по используемому критерию.

*Q* — качество контроля достоверности данных электропотребления.

*C* — стоимость реализации метода.

*A* — точность идентификации приборов учёта.

*S* — скорость определения приборов учёта, передающих недостоверные данные (единица измерения — ус-

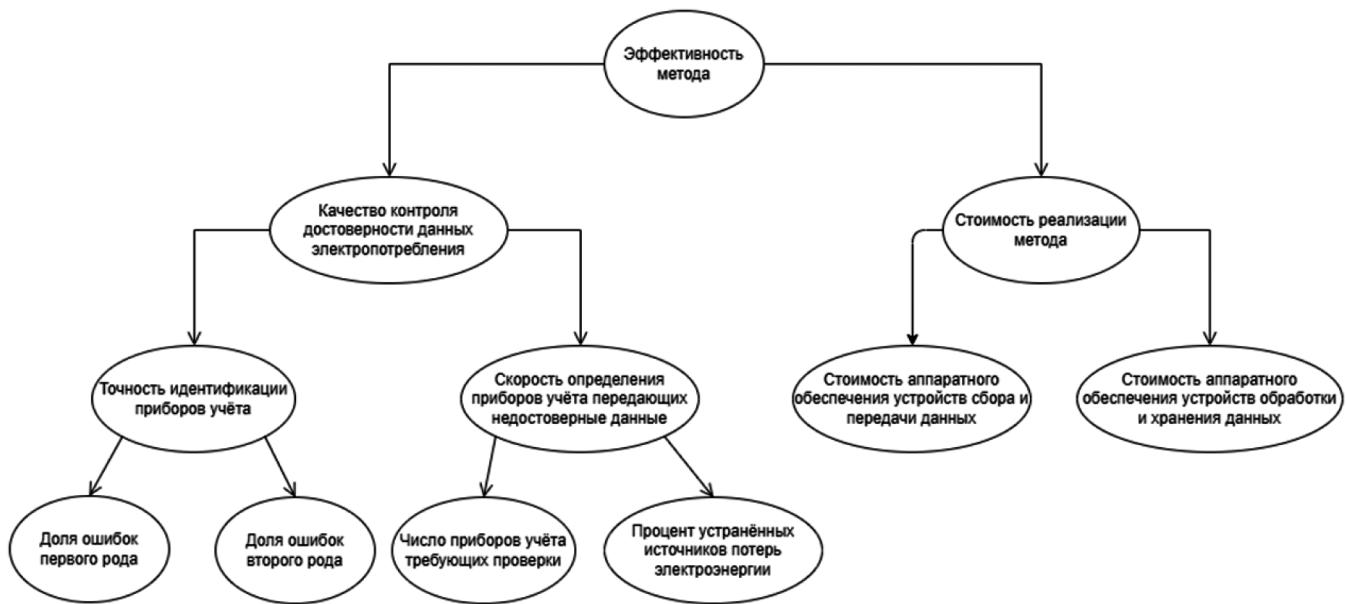


Рис. 1. Структура множества параметров оценки эффективности контроля достоверности данных электропотребления в АИИС КУЭ

реднённое время, требуемое для проведения проверки одного прибора учёта).

$CL$  — стоимость аппаратного обеспечения устройств сбора и передачи данных.

$CH$  — стоимость аппаратного обеспечения устройств обработки и хранения данных (единица измерения — усреднённое значение стоимости вычислительных мощностей, требуемых для хранения и обработки 1 Гб.).

$ER1$  — доля ошибок первого рода [3] (отношение количества правильно идентифицированных недостоверных приборов учёта электроэнергии к общему количеству недостоверных приборов учёта в выборке).

$ER2$  — доля ошибок второго рода [3] (отношение количества правильно идентифицированных достоверных приборов учёта электроэнергии к общему количеству достоверных приборов учёта в выборке).

$D$  — число приборов учёта, требующих проверки.

$PL$  — процент устранимых источников потерь электроэнергии.

Так как множество параметров на рисунке 1 имеет структуру в виде двоичного дерева, то в качестве критериев для оценки тех из них, что имеют потомков, было выбрано множество, состоящее из следующих двухпараметрических критериев [4]:

1. Аддитивный критерий с весовыми параметрами 1:1 (1).
2. Аддитивный критерий с весовыми параметрами 2:1 (2).

3. Аддитивный критерий с весовыми параметрами 1:2 (3).
4. Обратный критерий идеальной точки с координатами (1;1) (4).
5. Обратный критерий идеальной точки с координатами (2;1) (5).
6. Обратный критерий идеальной точки с координатами (1;2) (6).

$$K_1 = \frac{1}{2}P_1 + \frac{1}{2}P_2, \quad (1)$$

$$K_2 = \frac{2}{3}P_1 + \frac{1}{3}P_2, \quad (2)$$

$$K_3 = \frac{1}{3}P_1 + \frac{2}{3}P_2, \quad (3)$$

$$K_4 = 1 - \sqrt{\frac{(1 - P_1)^2 + (1 - P_2)^2}{2}}, \quad (4)$$

$$K_5 = 1 - \sqrt{\frac{(2 - 2P_1)^2 + (1 - P_2)^2}{5}}, \quad (5)$$

$$K_6 = 1 - \sqrt{\frac{(1 - P_1)^2 + (2 - 2P_2)^2}{5}}, \quad (6)$$

$$K_7 = P_1 * P_2, \quad (7)$$

где:  $K_1, \dots, K_7$  — значение параметра по соответствующему критерию;  $P_1$  — значение первого параметра;  $P_2$  — значение второго параметра.

Для проведения сравнительного анализа была использована выборка данных потребления электроэнергии, состоящая из 20 % реальных обезличенных данных

Таблица 1.

Оценка значений параметров первого уровня различных конфигураций кластера метода М1

Конфигурация	<i>ER1</i>	<i>ER2</i>	<i>D</i>	<i>PL</i>	<i>CH</i>	<i>CL</i>
1/1	1	1	1	1	0,5	0,5
2/1	0,75	1	0,75	1	0,66	0,66
3/1	0,575	1	0,575	1	0,75	0,75
4/1	0,25	1	0,25	1	0,8	0,8

электропотребления объектов различных типов и 80 % синтетических, полученных на основе реальных [5]. Размер выборки, согласно методу оценки Отдельновой [6], обеспечивает её презентативность относительно раз-

личных типов объектов энергопотребления, при мощности критерия  $\beta = 82\%$  и уровне значимости  $\alpha = 5\%$ .

Для оценки метода М1 относительно других, был предварительно проведен анализ его различных конфигураций (соотношение количества приборов учёта в кластере на один контрольный прибор учёта) для определения наилучшей из них, относительно множеств рассматриваемых параметров и применяемых критериев оценки. При применении различных конфигураций метода для анализа данных, принадлежащих исследуемой выборке, были получены результаты, приведенные в таблицах 1 и 2.

По результатам сравнительной оценки различных конфигураций метода М1, представленным в таблицах 1 и 2, были сделаны выводы:

Таблица 2.

Оценка значений параметров  $A, S, Q, C$  и  $E$  различных конфигураций кластера метода М1 по множеству критериев (1)–(7)

Конфигурация	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$
1/1	1	1	1	1	1	1	1
2/1	0,875	0,833	0,917	0,823	0,776	0,888	0,75
3/1	0,788	0,717	0,858	0,699	0,62	0,81	0,575
4/1	0,625	0,5	0,75	0,47	0,329	0,665	0,25
Конфигурация	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$
1/1	1	1	1	1	1	1	1
2/1	0,875	0,833	0,917	0,823	0,776	0,888	0,75
3/1	0,788	0,717	0,858	0,699	0,62	0,81	0,575
4/1	0,625	0,5	0,75	0,47	0,329	0,665	0,25
Конфигурация	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$	$Q_6$	$Q_7$
1/1	1	1	1	1	1	1	1
2/1	0,875	0,833	0,917	0,823	0,776	0,888	0,563
3/1	0,788	0,717	0,858	0,699	0,62	0,81	0,331
4/1	0,625	0,5	0,75	0,47	0,329	0,665	0,063
Конфигурация	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$
1/1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
2/1	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,436
3/1	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,563
4/1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,64
Конфигурация	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$
1/1	0,75	0,833	0,666	0,646	0,776	0,553	0,25
2/1	0,768	0,775	0,746	0,729	0,748	0,692	0,245
3/1	0,769	0,728	0,786	0,723	0,642	0,761	0,186
4/1	0,713	0,6	0,783	0,599	0,393	0,766	0,04

- С увеличением размера кластера в независимости от используемого критерия оценки идёт резкое падение значений параметров  $A$ ,  $S$  и  $Q$ , которое не может быть компенсировано за счёт параметра  $C$ , поэтому исследование конфигураций кластера размера больше четырёх не имеет смысла.
- Наилучшей по множеству критериев ( $K_1$ ) — ( $K_7$ ), является конфигурация кластера 2/1 — один контрольный прибор учёта на каждые два прибора учёта потребителей.

Для оценки метода M2 относительно других, как и для метода M1, был предварительно проведен анализ его различных конфигураций для определения наилучшей из них, относительно множеств рассматриваемых параметров и применяемых критериев оценки. Применение различных конфигураций метода для анализа данных, принадлежащих исследуемой выборке, показало, что результат оценки достоверности данных электропотребления методом M2 не зависит от его конфигурации, поскольку в независимости от частоты передачи данных метод M2 находит все недостоверные приборы учёта с неравномерным искажением данных, однако не может определить аналогичные, имеющие равномерное искажение данных. Таким образом значение параметра  $Q$  метода M2 не зависит от его конфигурации и критерия оценки. При этом остальные параметры имеют следующие значения:

$$ER1 = 1; ER2 = 0,5; D = 0,875; PL = 0,5; CL = 1; CH = 1.$$

Относительно критериев оценки ( $K_1$ ) — ( $K_7$ ) метод M2 имеет значения параметров  $S$ ,  $A$ ,  $Q$ ,  $C$  и  $E$  приведённые в таблице 3. В таблице 4 приведено сравнение значений эффективности методов M1 и M2 по множеству критериев ( $K_1$ ) — ( $K_7$ ).

Как видно из таблицы 4 метод M2 превосходит по всем критериям из множества ( $K_1$ ) — ( $K_7$ ) метод M1 за счёт низкой стоимости реализации, однако значительно уступает ему в качестве контроля достоверности данных по причине большого числа ошибок второго

Таблица 3.  
Оценка параметров метода M2 по множеству критериев ( $K_1$ ) — ( $K_7$ )

Параметр	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$
$S$	0,688	0,75	0,625	0,636	0,75	0,549	0,438
$A$	0,75	0,833	0,667	0,646	0,776	0,553	0,5
$C$	1	1	1	1	1	1	1
$Q$	0,719	0,805	0,639	0,641	0,771	0,55	0,219
$E$	0,8595	0,87	0,88	0,746	0,795	0,799	0,219

Таблица 4.  
Сравнительная оценка эффективности методов M1 и M2 по множеству критериев ( $K_1$ ) — ( $K_7$ )

Параметр	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_{SR}$
$C$ (M1)	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,436	0,66
$C$ (M2)	1	1	1	1	1	1	1	1
$Q$ (M1)	0,875	0,833	0,917	0,823	0,776	0,888	0,563	0,875
$Q$ (M2)	0,719	0,805	0,639	0,641	0,771	0,55	0,219	0,719
$E$ (M1)	0,762	0,765	0,743	0,723	0,733	0,691	0,229	0,662
$E$ (M2)	0,8595	0,87	0,88	0,746	0,795	0,799	0,219	0,738

рода. Таким образом, проведённый анализ существующих методов контроля достоверности данных электропотребления в АИИС КУЭ позволяет сделать следующие выводы об имеющихся у них недостатках:

- Метод «кластеризация» (M1), помимо очевидного недостатка, связанного с избыточностью приборов учёта, имеет проблемы, связанные со значительным количеством ошибок первого рода.
- Метод «увеличение частоты опроса приборов учёта» (M2) имеет недостатки, связанные с большим количеством ошибок второго рода, что при прочих его достоинствах, требует для устранения источников потерь электроэнергии перепроверки почти всех приборов учёта.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Титов, Н.Н. Исследование достоверности результатов измерений АИИС КУЭ электрической энергии / Н.Н. Титов [и др.] // Законодательная и прикладная метрология. — 2008. — №5. — С. 28–30.
- Забелло, Е.П. Автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов: практикум / Е.П. Забелло, В.Г. Булах, А.С. Качалко. — Минск: БГАТУ, 2016. — 160 с.
- ГОСТ Р ИСО 3534-1-2019 Статистические методы. Словарь и условные обозначения. Часть 1. Общие статистические термины и термины, используемые в теории вероятностей. — М.: Стандартинформ, 2020. — 70 с.
- Анфилатов, В.С. Системный анализ в управлении: учебник для вузов / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин. — М.: Финансы и статистика, 2003. — 368 с.
- Тымчук, А.И. Сравнительная оценка методики, использующей множество авторегрессионных интегрированных моделей скользящего среднего для контроля достоверности данных приборов учёта в автоматизированных информационно-измерительных системах контроля и учёта электроэнергии / А.И. Тымчук // Международный научно-исследовательский журнал. — 2024. — № 7(145).
- Отдельнова, К.А. Определение необходимого числа наблюдений в социально-гигиенических исследованиях. / К.А. Отдельнова // Сб. трудов 2-го ММИ. — М.:1980. — 150(6). — С. 18–22.

© Тымчук Алексей Игоревич (alextimchuck@gmail.com); Дубенко Юрий Владимирович (scorpioncool1@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»