

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.43>**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**

Научная статья

Тымчук А.И.^{1,*}¹ ORCID : 0009-0003-2341-9103;¹ Кубанский Государственный Технологический Университет, Краснодар, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (alextimchuck[at]gmail.com)

Аннотация

Актуальность данного исследования обусловлена активным развитием технологий в сфере автоматизации процессов и производства. Автоматизация сбора, передачи и хранения данных электропотребления осуществляется АИИС КУЭ (автоматизированными информационно-измерительными системами контроля и учёта электроэнергии), одной из важнейших задач которых является контроль достоверности данных, получаемых от приборов учёта. На данный момент контроль достоверности данных потребления электроэнергии в АИИС КУЭ в большинстве случаев полагается на защищённость приборов учёта от несанкционированного вмешательства в их работу и оперативность передачи ими данных потребления. Также применяются методы контроля достоверности, основанные на увеличении частоты передачи данных потребления электроэнергии и избыточности приборов учёта. Отсутствуют значимые способы контроля достоверности данных потребления электроэнергии на основе математических методов и моделей. Научная новизна данной работы заключается в проведении сравнительной оценки разработанной методики, использующей для контроля достоверности данных приборов учёта в АИИС КУЭ множество ARIMA (autoregressive integrated moving average) моделей электропотребления, с существующими методами «кластеризация» и «увеличение частоты опроса приборов учёта». Целью разработки методики является повышение экономической эффективности контроля достоверности данных электропотребления в АИИС КУЭ, при минимизации потери его качества. Для проведения сравнительной оценки был представлен составной критерий, а также приведены статистически значимые данные, необходимые для её проведения. Разработанная методика, согласно представленному критерию, по экономической эффективности на 25-30% превосходит методы «кластеризация» и «увеличение частоты опроса приборов учёта». Также было установлено, что использование разработанной методики совместно с вышперечисленными методами увеличивает эффективность их контроля достоверности данных на 1-2,5%, а её применение с комбинацией данных методов – на 9,1%.

Ключевые слова: arima, аиис куэ, контроль достоверности данных.**A COMPARATIVE EVALUATION OF A METHODOLOGY USING MULTIPLE AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE MODELS TO CONTROL THE RELIABILITY OF METERING DATA IN AUTOMATED MEASURING AND INFORMATION SYSTEM FOR ELECTRIC POWER FISCAL METERING**

Research article

Timchuk A.I.^{1,*}¹ ORCID : 0009-0003-2341-9103;¹ Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation

* Corresponding author (alextimchuck[at]gmail.com)

Abstract

The relevance of this study is due to the active development of technologies in the field of process and production automation. Automation of the collection, transmission and storage of electricity consumption data is carried out by automated measuring and information system for electric power fiscal metering of electricity, one of the most important tasks of which is to control the reliability of data received from metering devices. At the moment, control over the reliability of electricity consumption data in AIMS is mostly based on the security of metering devices against unauthorized interference in their operation and the promptness of their transmission of consumption data. Reliability control methods based on increasing the frequency of transmission of electricity consumption data and redundancy of metering devices are also used. There are no significant ways to control the reliability of electricity consumption data based on mathematical methods and models. The scientific novelty of this work consists in the comparative evaluation of the developed methodology, which uses a set of ARIMA (autoregressive integrated moving average) models of electricity consumption to control the reliability of metering data in AIMS with the existing methods of "clustering" and "increasing the frequency of interrogation of metering devices". The aim of the methodology development is to increase the economic efficiency of control over the reliability of electricity consumption data in AIMS, while minimizing the loss of its quality. For the comparative assessment, a composite criterion was presented and statistically significant data required for its implementation were given. According to the presented criterion, the developed method exceeds the methods "clustering" and "increasing the frequency of metering devices interrogation" by 25-30% in terms of economic efficiency. It was also found that the use of the developed methodology together with the above

methods increases the efficiency of their data reliability control by 1-2.5%, and its use with a combination of these methods – by 9.1%.

Keywords: arima, automated measuring and information system for electric power fiscal metering, data validity control.

Введение

Проведённый анализ организации контроля достоверности данных потребления электроэнергии в АИИС КУЭ (автоматизированных информационно-измерительных системах контроля и учёта электроэнергии) [1], [2], [3], [4] и др. показал, что, в настоящее время отсутствуют значимые способы контроля достоверности данных потребления электроэнергии на основе математических методов и моделей, а контроль достоверности данных потребления электроэнергии в АИИС КУЭ в большинстве случаев полагается на защищённость приборов учёта от несанкционированного вмешательства в их работу и оперативность передачи ими данных потребления. Также применяются методы контроля достоверности, основанные на увеличении частоты передачи данных потребления электроэнергии и избыточности приборов учёта. На основе проведённого анализа был сделан вывод, что автоматизированный контроль достоверности данных потребления электроэнергии может быть усовершенствован за счёт использования методов на основе статистического анализа данных потребления электроэнергии. Для решения данной задачи была разработана и реализована в информационной системе, методика [8], [9], использующая для контроля достоверности данных приборов учёта в АИИС КУЭ множество ARIMA (autoregressive integrated moving average) [10] моделей электропотребления, представленных в [11]. Целью разработки методики является повышение экономической эффективности контроля достоверности данных электропотребления в АИИС КУЭ методов, при минимизации потери его качества. В данной статье было проведено сравнение разработанной методики с основными методами автоматизированного контроля, а также их сочетаниями с целью.

Методы и принципы исследования

В настоящее время в АИИС КУЭ используются два метода автоматизированного контроля достоверности данных приборов учёта электроэнергии. Первый метод – «кластеризация принадлежащих АИИС КУЭ приборов учёта» (М2). Суть метода заключается в сужения круга поиска приборов учёта, передающих недостоверные данные, путём разделения множества всех принадлежащих АИИС КУЭ приборов учёта на кластеры и выделения контрольных точек. Второй метод – «увеличение частоты опроса приборов учёта» (М3). Суть данного метода заключается в том, что оператор или алгоритмы системы АИИС КУЭ при наличии потерь электроэнергии в системе переводят приборы учёта на режим работы с уменьшенным интервалом передачи данных.

Разработанная методика (М1) использует для автоматизированного контроля достоверности данных приборов учёта методы статистического анализа данных электропотребления с использованием множества ARIMA моделей, описанных в [11] и была реализована в информационной системе с использованием нейронных сетей [12], обученных методом обратного распространения ошибки [13], [14].

Для проведения сравнительной оценки, с учётом цели разработки методики, был выбран составной критерий эффективности (1), представляющий собой сумму отдельных критериев, к которым относятся – «эффективность контроля достоверности данных электропотребления», – «стоимость системы» и – «объём передаваемых данных». Поскольку основной задачей АИИС КУЭ является контроль и учёт данных электропотребления, то коэффициенты значимости отдельных критериев были выбраны в соотношении 3:1:1 в пользу критерия «эффективность контроля достоверности данных электропотребления».

$$E = 0,6K + 0,2S + 0,2N \quad (1)$$

Критерий эффективности контроля достоверности данных потребления электроэнергии K был определён как среднее между скоростью (K_1) и качеством (K_2) поиска приборов учёта, передающих недостоверные данные и имеет вид (2)

$$K = 0,5K_1 + 0,5K_2 \quad (2)$$

Критерий качества определения приборов учёта, передающих недостоверные данные, K_1 также был разбит на два подкритерия: доля ошибок первого рода и доля ошибок второго рода. В контексте задачи контроля достоверности данных приборов учёта ошибка первого рода – прибор учёта, который передаёт недостоверные данные, но был отмечен как передающий достоверные данные. Ошибка второго рода – прибор учёта электроэнергии, передающий достоверные данные, который был ошибочно отмечен как передающий недостоверные данные. Таким образом, критерий качества определения приборов учёта, передающих недостоверные данные состоит из двух компонентов, которые имеют равную значимость и может быть определён в виде (3).

$$K_1 = F_2/2F_1 + T_2/2T_1 \quad (3)$$

Где: F_1 – количество приборов учёта электроэнергии в выборке, которые передают недостоверные данные;

F_2 – количество приборов учёта электроэнергии в выборке, передающих недостоверные данные, которые были обнаружены;

T_1 – количество приборов учёта электроэнергии в выборке, передающих достоверные данные;

T_2 – количество приборов учёта электроэнергии в выборке, передающих достоверные данные, которые были отмечены правильно.

Критерий скорости определения приборов учёта, передающих недостоверные данные имеет вид (4).

$$K_2 = (M_1 - M_2) / M_1P \quad (4)$$

Где: M_1 – число единиц времени, затрачиваемых на проверку всех приборов учёта электроэнергии;

M_2 – число единиц времени, затрачиваемых на проверку приборов учёта, которые необходимо проверить;

P – процент устранённых источников потерь электроэнергии.

В качестве единицы времени была принята величина равная средней продолжительности проверки одного прибора учёта электроэнергии

Критерий стоимости реализации метода имеет вид (5). В качестве единицы его измерения была выбрана усреднённая цена одного прибора учёта.

$$S = (S_{\max} - S_1) / S_{\max} \quad (5)$$

Где: S_{\max} – максимальная дополнительная стоимость реализации метода, в качестве которой была взята стоимость реализации метода «кластеризация» с размером кластера равным двум;

S_1 – дополнительная стоимость реализации метода.

Критерий нагрузки на базу данных (БД) и каналы связи АИИС КУЭ имеет вид (6). В качестве единицы его измерения был выбран усреднённый объём данных, одновременно передаваемых прибором учёта в БД АИИС КУЭ.

$$N = (N_{\max} - N_1) / N_{\max} \quad (6)$$

Где: N_{\max} – максимальная дополнительная нагрузки на БД и каналы связи АИИС КУЭ, в качестве которой была взята нагрузка, создаваемая методом «увеличение частоты опроса приборов учёта» с частотой передачи двенадцать раз в сутки;

N_1 – дополнительная нагрузки на БД и каналы связи АИИС КУЭ, создаваемая рассматриваемым методом.

Для проведения сравнения по выбранному критерию (2) были использованы выборка данных потребления электроэнергии, представленная в табл. 1 и результаты испытаний методов контроля достоверности, проведённых с её использованием, представленные в табл. 2.

Выборка в табл. 1 представляет собой данные потребления электроэнергии для пятидесяти приборов учёта. В столбце «Данные электропотребления» содержатся ряды, являющиеся достоверными данными электропотребления, в столбце «Z» содержатся данные электропотребления достоверность которых необходимо проверить. Столбец «D» содержит информацию о том, являются ли данные из столбца «Z» достоверными, а столбец «I» содержит информацию о типе искажения данных: 0 – нет искажения, 1 – равномерное искажение (процент отклонения от достоверных данных постоянен), 2 – неравномерное искажение (процент отклонения от достоверных данных непостоянен). Размер выборки из табл. 1, согласно методу оценки [15], обеспечивает её репрезентативность относительно всех объектов энергопотребления, подпадающих под условия для множества ARIMA моделей [11] при мощности критерия 70% и уровне статистической значимости 5%.

Таблица 1 - Тестируемые данные приборов учёта

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.43.1>

№	Данные электропотребления, кВт	Z, кВт	D, кВт	I, кВт
1	332;307;306;266; 275;316;275;329; 337;297;352;287; 282	359	да	0
2	73;68;67;59;60;70 ;60;72;74;65;77;6 3;62	79	да	0
3	282;261;260;226; 234;269;234;280; 286;252;299;244; 240	275	нет	1
4	113;104;104;90;9 3;107;93;112;115; 101;120;98;96	122	да	0
5	1319;1240;1053;9 56;870;854;544;4 33;448;482;1201; 932;1029	1112	да	0
6	791;744;632;579; 522;512;326;260; 269;289;721;559; 617	667	да	0
7	462;434;369;338; 304;299;190;152; 157;169;420;326;	389	да	0

	360			
8	1174;1104;937;85 9;774;760;484;38 5;399;429;1069;8 29;910	990	да	0
9	54;51;48;53;51;46 ;64;85;57;77;65;4 7;47	52	нет	2
10	139;130;124;135; 130;119;165;218; 147;197;166;121; 120	133	да	0
11	47;44;42;46;44;40 ;56;74;50;67;56;4 1;41	45	да	0
12	72;68;64;70;68;62 ;86;113;76;102;86 ;63;62	69	да	0
13	236;274;34;118;1 31;125;218;195;2 05;114;134;129;1 39	130	да	0
14	217;252;31;109;1 21;115;201;179;1 89;105;123;119;1 28	116	нет	1
15	172;200;25;86;96; 91;159;142;150;8 3;98;94;101	95	да	0
16	139;162;20;70;77; 74;129;115;121;6 7;79;76;82	77	да	0
17	88;89;85;87;112;1 40;95;97;98;76;81 ;82;236	274	да	0
18	51;52;49;50;65;81 ;55;56;57;44;47;4 8;137	159	да	0
19	62;63;60;62;80;99 ;67;69;70;54;58;5 8;168	182	нет	1
20	46;46;44;45;58;73 ;49;50;51;40;42;4 3;123	142	да	0
21	148;119;118;138; 123;126;173;159; 108;238;70;117;8 8	88	да	0
22	138;111;110;128; 114;117;161;148; 100;221;65;109;8 2	82	да	0
23	70;56;55;65;58;59 ;81;75;51;112;33; 55;42	40	нет	2
24	93;75;74;87;77;79 ;109;100;68;150;4 4;74;55	55	да	0
25	190;185;169;190; 187;257;569;662;	195	да	0

	333;256201;186;1 73			
26	93;91;83;93;92;12 6;279;324;163;12 5;98;91;85	96	да	0
27	172;124;80;78;11 1;115;134;214;24 2;246;339;143;18 9	137	да	0
28	53;38;25;24;34;36 ;42;66;75;76;105; 44;59	39	нет	2
29	115;83;54;52;74;7 7;90;143;162;165; 227;96;127	87	нет	2
30	707;805;755;638; 688;638;360;283; 273;340;533;824; 882	750	да	0
31	573;652;612;517; 557;517;292;229; 221;275;432;667; 714;667;714	607	да	0
32	410;467;438;370; 399;370;209;164; 158;197;309;478; 512	435	да	0
33	993;955;955;1223 ;886;779;857;883; 1133;1120;1168;1 078;912	877	да	0
34	387;372;372;477; 346;304;334;344; 442;437;456;420; 356	342	да	0
35	834;802;802;1027 ;744;654;720;742; 952;941;981;906; 766	737	да	0
36	675;649;649;832; 602;530;583;600; 770;762;794;733; 620	543	нет	1
37	754;678;734;889; 915;877;815;784; 833;804;811;838; 771	693	да	0
38	279;251;272;329; 339;324;302;290; 308;297;300;310; 285	256	да	0
39	324;292;316;282; 393;377;350;337; 358;346;349;360; 332	274	нет	2
40	211;190;206;249; 256;246;228;220; 233;225;227;235; 216	194	да	0
41	255;777;1754;187 6;1905;1920;1878	725	да	0

	;1871;1951;1955; 2049;24;238			
42	76;233;526;563;5 71;576;563;561;5 85;586;615;7;71	217	да	0
43	212;645;1456;155 7;1581;1594;1559 ;1619;1623;1701; 20;198	602	да	0
44	148;451;1017;108 8;1105;1114;1089 ;1085;1132;1134; 1188;14;138	420	да	0
45	1139;1095;1138;4 697;8348;2129;47 02;4683;24;24;33 03;24;2689	2585	да	0
46	706;679;706;2912 ;5176;1320;2915; 2903;15;15;2048; 15;1667	1603	да	0
47	866;832;865;3570 ;6344;1618;3574; 3559;18;18;2510; 18;2044	1965	да	0
48	752;723;751;3100 ;5510;1405;3103; 3091;16;16;2180; 16;1775	1587	нет	1
49	240;168;108;268; 307;162;272;214; 290;201;248;227; 257	180	да	0
50	72;50;32;80;92;49 ;82;64;87;60;74;6 8;77	54	да	0

Таблица 2 - Качество определения приборов учёта из таблицы 1 различными методами

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.43.2>

№	D	M1	M2	M3	M1+M2	M1+M3	M2+M3	M1+M2 +M3
1	да	да	нет **	да	да	да	нет **	да
2	да	да	нет **	да	да	да	нет **	да
3	нет	нет	нет	да *	нет	нет	нет	нет
4	да	да	нет **	да	да	да	нет **	да
5	да	да	нет **	да	да	да	нет **	да
6	да	да	нет **	да	нет **	да	да	да
7	да	да	нет **	да	нет **	да	да	да
8	да	да	нет **	да	нет **	да	да	да
9	нет	да *	нет	нет	нет	нет	нет	нет
10	да	да	нет **	да	нет **	да	да	да
11	да	да	нет **	да	да	да	нет **	да
12	да	да	нет **	да	да	да	нет **	да
13	да	нет **	нет **	да	нет **	нет **	нет **	нет **
14	нет	нет	нет	да *	нет	нет	нет	нет

15	да	нет **	нет **	да	нет **	нет **	нет **	нет **
16	да	нет **	нет **	да	нет **	нет **	нет **	нет **
17	да	да	нет **	да	да	да	нет **	да
18	да	да	нет **	да	да	да	нет **	да
19	нет	да *	нет	да *	да *	да *	нет	да *
20	да	да	нет **	да	да	да	нет **	да
21	да	нет **	нет **	да	да	нет **	да	нет **
22	да	нет **	нет **	да	да	нет **	да	нет **
23	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
24	да	нет **	нет **	да	нет **	нет **	да	нет **
25	да	да	нет **	да	да	да	да	нет **
26	да	да	нет **	да	да	да	нет **	да
27	да	нет **	нет **	да	нет **	нет **	нет **	нет **
28	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
29	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
30	да	да	нет **	да	да	да	нет **	да
31	да	да	да	да	да	да	да	да
32	да	да	да	да	да	да	да	да
33	да	нет **	да	да	да	нет **	да	да
34	да	нет **	да	да	да	нет **	да	да
35	да	нет **	да	да	да	нет **	да	да
36	нет	нет	нет	да *	нет	нет	нет	нет
37	да	нет **	нет **	да	нет **	нет	нет **	нет **
38	да	нет **	нет **	да	нет **	нет	нет **	нет **
39	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
40	да	нет **	нет **	да	нет **	нет	нет **	нет **
41	да	да	да	да	да	да	да	да
42	да	да	да	да	да	да	да	да
43	да	да	да	да	да	да	да	да
44	да	да	да	да	да	да	да	да
45	да	нет **	да	да	да	нет **	да	да
46	да	нет **	нет **	да	нет **	нет **	нет **	нет **
47	да	нет **	нет **	да	нет **	нет **	нет **	нет **
48	нет	нет	нет	да *	нет	нет	нет	нет
49	да	да	нет **	да	да	да	нет **	да
50	да	да	нет **	да	да	да	нет **	да

Примечание: знаком «*» отмечены ошибки первого рода, а знаком «**» – ошибки второго рода

Результаты сравнительной оценки

Анализ данных из табл. 2 позволил провести сравнительную оценку методов по критериям (2), (3) и (4) результаты которой, представлены в табл. 3, 4 и 5. Он показал, что при использовании метода М2 невозможно точно определить приборы учёта передающие недостоверные данные, можно только установить содержащие их кластеры. Это влечёт за собой значительное увеличение числа ошибок второго рода, поскольку наличие в кластере хотя бы одного прибора учёта, передающего недостоверные данные, приводит к тому, что все приборы учёта кластера отмечаются как передающие недостоверные данные. Данная особенность метода М2 снижает его эффективность по критерию (3).

Качество определения приборов учёта, передающих недостоверные данные, методом М3, зависит от вида отклонения недостоверных данных от истинных значений. В случае неравномерного отклонения, недостоверность легко определяется данным методом, однако, в случае равномерного отклонения, обнаружить недостоверность данных не представляется возможным, что приводит к возникновению при использовании метода М3 ошибок первого рода, что снижает его эффективность по критерию (3).

Из табл.4 видно, что комбинация методов М2+М3 позволяет несколько сгладить недостатки обоих методов, однако, её эффективность по критерию (3) остаётся сравнимой с методами М2 и М3. Разработанная методика М1 по критерию (3) уступает методам М2 и М3, однако её использование совместно с данными методами увеличивает их

эффективность, а применение совместно с комбинацией М2+М3 даёт наилучший показатель эффективности по критерию (3).

Таблица 3 - Сравнительная оценка методов по критерию (3)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.43.3>

Метод	F_2/F_1	T_2/T_1	Кр. (3)
М1	0,8	0,6	0,6
М2	1	0,25	0,625
М3	0,5	1	0,75
М1+М2	0,9	0,65	0,775
М1+М3	0,9	0,675	0,787
М2+М3	1	0,55	0,775
М1+М2+М3	0,9	0,7	0,8

Сравнительная оценка по критерию (4), приведённая в табл. 4, показала, что Наибольшим процентом устранения источников потерь электроэнергии P обладают метод М2 и комбинация методов М2+М3, однако, данное их преимущество нивелируется необходимостью проверки большого числа приборов учёта, давая достаточно низкие значения относительно критерия (4). В то же время методы М1 и М3, обладая не столь высоким показателем переменной P , имеют более высокое значение критерия (4) за счёт меньшего числа требующих проверки приборов учёта. Наилучшим же результатом по критерию (4) обладает комбинация методов М1+М2+М3.

Таблица 4 - Сравнительная оценка методов по критерию (4)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.43.4>

Метод	M_1	M_2	P	Кр. (4)
М1	50	24	80	0,416
М2	50	40	100	0,2
М3	50	4	50	0,46
М1+М2	50	23	90	0,486
М1+М3	50	25	90	0,45
М2+М3	50	31	100	0,38
М1+М2+М3	50	21	90	0,522

Поскольку критерий эффективности контроля достоверности данных приборов учёта (2) является средним значением критериев (3) и (4), а наибольшей эффективностью по критериям (3) и (4) обладает комбинация всех трёх методов, то наибольшей эффективностью, по критерию (2), также обладает комбинация методов М1+М2+М3.

Таблица 5 - Сравнительная оценка методов по критерию (2)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.43.5>

Метод	Кр. (3)	Кр. (4)	Кр. (2)
М1	0,7	0,416	0,558
М2	0,625	0,2	0,412
М3	0,75	0,46	0,605
М1+М2	0,775	0,486	0,63
М1+М3	0,787	0,45	0,618
М2+М3	0,775	0,38	0,577
М1+М2+М3	0,8	0,522	0,661

Для проведения оценки стоимости реализации методов по критерию (5) в качестве значения S_{\max} была взята стоимость метода М2 с размером кластера два, а для метода М2 – размер кластера равный пяти. Результаты оценки приведены в табл.6 из которой видно, что на стоимость реализации метода влияет исключительно наличие или отсутствие кластеризации приборов учёта. Поскольку кластеризация – это метод М2, то он и его комбинации имеет повышенную стоимость реализации и сниженную эффективность по критерию (5).

Таблица 6 - Сравнительная оценка эффективности согласно критерию (5)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.43.6>

№	Макс. доп. ПУ	Доп. ПУ	Кр. (5)
М1	25	0	1
М2	25	10	0,6
М3	25	0	1
М1+М2	25	10	0,6
М1+М3	25	0	1
М2+М3	25	10	0,6
М1+М2 +М3	25	10	0,6

Для проведения оценки по критерию (6), в качестве N_{max} была взята нагрузка, создаваемая методом М3 с частотой передачи данных один раз в час, а в качестве N_1 – нагрузка, создаваемая при передаче данных два раза сутки. Для метода М3 и его комбинаций по критерию (6) была взята дополнительная нагрузка, создаваемая методом при передаче данных один раз в два часа. Результаты оценки приведены в табл. 7, из которой видно, что наилучшее значение по критерию (6) имеет метод М1 (разработанная методика), поскольку в отличие от методов М2 и М3, а также комбинаций, содержащих данные методы, не требует наличия избыточности приборов учёта (М2) и избыточности передаваемых данных (М3).

Таблица 7 - Сравнительная оценка эффективности согласно критерию (6)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.43.7>

№	N_{max}	N_1	Кр. (6)
М1	22	0	1
М2	22	0,2	0,99
М3	22	10	0,545
М1+М2	22	0,2	0,99
М1+М3	22	10	0,545
М2+М3	22	12	0,454
М1+М2+М3	22	12	0,454

В табл. 8 приведены результаты оценки методов по составному критерию (1). Из неё видно, что наибольшим показателем эффективности обладает метод М1 – разработанная методика. Он на 25-30% превосходит методы контроля достоверности М2 и М3 по сумме критериев (5) и (6), однако на 7,8% уступает по критерию эффективности контроля достоверности данных методу М3 и на 3,3% его комбинации с методом М2. Также можно заметить, что использование разработанной методики совместно с методами М2 и М3 незначительно (на 2,2% и 1,3% соответственно) увеличивает показатель эффективности последних, а её использование с комбинацией данных методов увеличивает их эффективность на 9,1% по критерию оценки эффективности (1).

Таблица 8 - Сравнительная оценка методов по критерию (1)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.43.8>

Метод	Кр. (2)	Кр. (5)	Кр. (6)	Кр. (1)
М1	0,558	1	1	0,735
М2	0,412	0,6	0,99	0,681
М3	0,605	1	0,545	0,671
М1+М2	0,63	0,6	0,99	0,696
М1+М3	0,618	1	0,545	0,680
М2+М3	0,577	0,6	0,454	0,557
М1+М2+М3	0,661	0,6	0,454	0,608

Заключение

В работе установлено, что при принятых критериях оценки разработанная методика, по критерию экономической эффективности на 25-30% превосходит методы «кластеризация» и «увеличение частоты опроса приборов учёта», при снижении точности на 3-8%, что в плане эффективности контроля достоверности данных приемлемо. Также было

установлено, что использование разработанной методики совместно с вышеперечисленными методами увеличивает эффективность их контроля достоверности данных на 1-2,5% совместно с каждой из используемых методик, а её применение с комбинацией всех рассмотренных методик происходит увеличение точности контроля на 9,1%.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Гибадуллин Р.Ф., Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.43.9>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Gibadullin R.F., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.43.9>

Список литературы / References

1. Забелло Е.П. Автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов: практикум / Е.П. Забелло, В.Г. Булах, А.С. Качалко. — Минск: БГАТУ, 2016. — 160 с.
2. Гбилимо У.У. Повышение производительности и оптимизация структуры локальных сетей АСКУЭ: дисс. канд. техн. Наук / У.У. Гбилимо. — Черкизово: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет сервиса", 2004.
3. Тутундаев М.Л. Мониторинг потерь и количества электроэнергии в распределительных электрических сетях на основе балансовых зон по данным АИИС КУЭ: дисс. канд. техн. наук / М.Л. Тутундаев. — Новосибирск, НГТУ, 2009.
4. Акимов А.А. Обеспечение безопасности сбора и передачи данных в автоматизированных системах контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) / А.А. Акимов, А. П. Ширяев // Актуальные проблемы современной науки. — 2018. — №2(99). — С. 36-38.
5. Титов Н.Н. Исследование достоверности результатов измерений АИИС КУЭ электрической энергии / Н.Н. Титов, В.Ю. Прохвятилов, О. Д. Мураховский [и др.] // Законодательная и прикладная метрология. — 2008. — №5. — С. 28-30.
6. Божков М.И. Эвристический анализ данных АИИС КУЭ для краткосрочного прогнозирования электропотребления предприятия / М.И. Божков, С.Л. Пуцин // Промышленная энергетика. — 2014. — №3. — С. 8 — 11.
7. Грицай А.С. Гибридный метод краткосрочного прогнозирования потребления электрической энергии для энергосбытового предприятия с учетом метеофакторов: дисс. канд. техн. Наук / А.С. Грицай. — Омск: ОГТУ, 2017.
8. Тымчук А.И. Методика контроля достоверности данных приборов учёта в АСКУЭ, на основе прогнозирующей модели электропотребления / А.И. Тымчук // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». — 2023. — № 2. — С. 1—5.
9. Тымчук А.И. Реализация множества ARIMA моделей электропотребления различных типов объектов с использованием нейронных сетей/ А.И. Тымчук // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". — 2023. — № 4. — С. 69—75.
10. Box G.E.P. Time Series Analysis, Forecasting and Control (4th ed.) / G.E.P. Box, G.M. Jenkins, G.C. Reinsel. — Hoboken, NJ: Wiley, 2008.
11. Атрощенко В.А. Множество ARIMA моделей для различных типов объектов энергопотребления / В.А. Атрощенко, А.И. Тымчук // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". 2023. — № 4. — С. 62—68.
12. Тымчук А.И. Реализация множества ARIMA моделей электропотребления различных типов объектов с использованием нейронных сетей / А.И. Тымчук // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". — 2023. — № 4. — С. 69—75.
13. Галушкин А.И. Синтез многослойных систем распознавания образов / А.И. Галушкин. — М.: «Энергия», 1974.
14. Snyman J. Practical Mathematical Optimization: An Introduction to Basic Optimization Theory and Classical and New Gradient-Based Algorithms / J. Snyman // Springer Science & Business Media. — 2005.
15. Отдельнова К.А. Определение необходимого числа наблюдений в социально-гигиенических исследованиях / К.А. Отдельнова // Сб. трудов 2-го ММИ. — 1980. — С. 18—22.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zabello E.P. Avtomatizirovannye sistemy kontrolya i ucheta energoresursov: praktikum [Automated systems for monitoring and accounting of energy resources: a practitioner] / E.P. Zabello, V.G. Bulah, A.S. Kachalko. — Minsk: BGATU, 2016. — 160 p. [in Russian]
2. Gbilimo U.U. Povyshenie proizvoditel'nosti i optimizaciya struktury lokal'nyh setej ASKUE [Performance improvement and optimization of the structure of local area networks of ASKUE]: dis. Cand. Tech. Sciences / U.U. Gbilimo. — SCherkizovo: State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State University of Service", 2004 [in Russian].
3. Tutundaev M.L. Monitoring poter' i kolichestva elektroenergii v raspredelitel'nyh elektricheskikh setyah na osnove balansovyh zon po dannym AIIS KUE [Monitoring of losses' and the amount of electricity in distribution electric networks

based on balance zones according to AIIS KUE]: diss. Candidate of Technical Sciences. / M.L. Tutundaev. — Novosibirsk, NSTU, 2009 [in Russian].

4. Akimov A.A. Obespechenie bezopasnosti sbora i peredachi dannyh v avtomatizirovannyh sistemah kontrolya i ucheta elektroenergii (ASKUE) [Ensuring the security of data collection and transmission in automated control systems and electricity metering (ASKUE)] / A.A. Akimov, A. P. SHiryayev // Aktual'nye problemy sovremennoj nauki [Current problems of modern science]. — 2018. — №2(99). — P. 36-38 [in Russian].

5. Titov N.N. Issledovanie dostovernosti rezul'tatov izmerenij AIIS KUE elektricheskoy energii [Investigation of the reliability of the measurement results of the AIIS KUE of electric energy] / N.N. Titov, V.YU. Prohvatilov, O. D. Murahovskij [et al.] // Zakonodatel'naya i prikladnaya metrologiya [Legislative and applied metrology]. — 2008. — №5. — P. 28-30 [in Russian].

6. Bozhkov M.I. Evristicheskij analiz dannyh AIIS KUE dlya kratkosrochnogo prognozirovaniya elektropotrebleniya predpriyatiya [Heuristic analysis of AIIS KUE data for short-term forecasting of electricity consumption by enterprises] / M.I. Bozhkov, S.L. Pushchin // Promyshlennaya energetika [Industrial energy]. — 2014. — №3. — P. 8 — 11 [in Russian].

7. Gricaj A.S. Gibridnyj metod kratkosrochnogo prognozirovaniya potrebleniya elektricheskoy energii dlya energosbytovogo predpriyatiya s uchetom meteofaktorov [Hybrid method of short-term forecasting of electric energy consumption for an energy marketing enterprise, taking into account meteorological factors]: diss.... Candidate of Technical Sciences / A.S. Gricaj. — Omsk: OSTU, 2017 [in Russian].

8. Tymchuk A.I. Metodika kontrolya dostovernosti dannyh priborov ucheta v ASKUE, na osnove prognoziryushchej modeli elektropotrebleniya [The methodology for monitoring the reliability of metering device data in the ASKUE, based on the predictive model of power consumption] / A.I. Tymchuk // Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya «Estestvennye i tekhnicheskie nauki» [Modern science: actual problems of theory and practice. The series "Natural and Technical Sciences"]. — 2023. — № 2. — P. 1—5 [in Russian].

9. Tymchuk A.I. Realizaciya mnozhestva ARIMA modelej elektropotrebleniya razlichnyh tipov ob'ektov s ispol'zovaniem nejronnyh setej [Implementation of multiple ARIMA models for consumption of various types of equipment using neural networks] / A.I. Tymchuk // Elektronnyj setevoy politematicheskij zhurnal "Nauchnye trudy KubGTU" [Electronic network polythematic journal "Scientific works of KubSTU"]. — 2023. — № 4. — P. 69—75 [in Russian].

10. Box G.E.P. Time Series Analysis, Forecasting and Control (4th ed.) / G.E.P. Box, G.M. Jenkins, G.C. Reinsel. — Hoboken, NJ: Wiley, 2008.

11. Atroshchenko V.A. Mnozhestvo ARIMA modelej dlya razlichnyh tipov ob'ektov energopotrebleniya [A variety of ARIMA models for various types of energy consumption objects] / V.A. Atroshchenko, A.I. Tymchuk // Elektronnyj setevoy politematicheskij zhurnal "Nauchnye trudy KubGTU" [Electronic network polythematic journal "Scientific works of KubSTU"]. 2023. — № 4. — P. 62—68 [in Russian].

12. Tymchuk A.I. Realizaciya mnozhestva ARIMA modelej elektropotrebleniya razlichnyh tipov ob'ektov s ispol'zovaniem nejronnyh setej [The implementation of a variety of ARIMA models of power consumption of various types of objects using neural networks] / A.I. Tymchuk // Elektronnyj setevoy politematicheskij zhurnal "Nauchnye trudy KubGTU" [Electronic network polythematic journal "Scientific works of KubSTU"]. — 2023. — № 4. — P. 69—75 [in Russian].

13. Galushkin A.I. Sintez mnogoslojnyh sistem raspoznavaniya obrazov [Synthesis of multilayer image recognition systems] / A.I. Galushkin. — M.: «Energiya», 1974 [in Russian].

14. Snyman J. Practical Mathematical Optimization: An Introduction to Basic Optimization Theory and Classical and New Gradient-Based Algorithms / J. Snyman // Springer Science & Business Media. — 2005.

15. Otdel'nova K.A. Opredelenie neobhodimogo chisla nablyudenij v social'no-gigienicheskikh issledovaniyah [Determination of the required number of observations in social and hygienic studies] / K.A. Otdel'nova // Sb. trudov 2-go MMI [Proceedings of the 2nd MMI]. — 1980. — P. 18—22 [in Russian].