

УДК 615.47-681.5.08

А.В. Кычкин¹, К.А. Борковец¹, Н.А. Ежова²

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

²Производственное отделение «Березниковские электрические сети»
филиала «Пермэнерго» ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая
компания Урала», Березники, Россия

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УЧЕТА И СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ КРУПНОГО ОФИСНОГО ЗДАНИЯ

Рассматриваются современные автоматические системы коммерческого и технического учета энергоресурсов. Представлена типовая модель структурной организации автоматических систем коммерческого учета энергопотребления (АСКУЭ). Рассмотрены наиболее популярные на рынке системы автоматического учета, составлена сравнительная таблица и произведено ранжирование систем по сумме полученных баллов. Сравнительный анализ проведен по набору критериев, включая уникальные возможности, отличающие эти системы друг от друга. По результатам ранжирования выбрана лучшая модель, выявлены ее достоинства и недостатки. Составлен упрощенный список требований и необходимого функционала для системы, требуемой для построения эффективного энергомониторинга. Используя существующее энергоучетное оборудование, проведен мониторинг суточного электропотребления крупного офисного здания общей площадью более 6000 м² и произведен статистический анализ полученных данных. Рассчитано среднее значение, значение моды и медианы, показатели вариации, такие как размах вариации, среднее линейное отклонение и коэффициент вариации. Эти данные позволили определить неоднородность ряда данных. Также был рассчитан коэффициент асимметрии, что позволило сделать вывод о наличии правосторонней асимметрии. Исходя из полученных результатов, сделан вывод о том, что из-за специфичности имеющихся данных статистические методы дают низкую интерпретируемость результатов. Для более адекватного анализа были выбраны основные факторы, влияющие на электропотребление, и произведен их мониторинг в период, равный одному году. Для полученных данных было построено уравнение множественной регрессии, позволяющее учесть каждый фактор, влияющий на электропотребление, и степень его влияния. Качество полученного уравнения было оценено посредством расчетов и сравнения полученных результатов с фактическим потреблением.

Ключевые слова: автоматическая система коммерческого учета энергоресурсов, мониторинг электропотребления, энергомониторинг, суточное электропотребление, статистический анализ.

A.V. Kychkin¹, K.A. Borkovets¹, N.A. Ezhova²

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

²Production department "Berezniki Electric Networks"
Permenergo branch OJSC Interregional Distribution Grid Company
of the Urals, Berezniki, Russian Federation

SELECTION OF AUTOMATIC ACCOUNTING SYSTEM AND ANALYSIS OF OWN ELECTRIC CONSUMPTION OF ELECTRIC NETWORK

The article deals with modern automatic systems for commercial accounting of energy resources. A typical model of the device of automatic systems for commercial metering of energy consumption is presented. For consideration, the 10 most popular automatic accounting systems on the market are taken. A comparative table is made and the ranking of the systems is made by the sum of the points obtained. As criteria in the table are made unique opportunities that distinguish these systems from others. Based on the ranking results, the best model is chosen, its advantages and disadvantages are revealed. A simplified list of requirements and necessary functionality for the required system is made. The daily energy consumption was monitored and a statistical analysis of the data was carried out. The mean value, the mode and median values, as well as the variation indices, such as the range of variation, the mean linear deviation and the coefficient of variation, were found. All this made it possible to determine the heterogeneity of a number of data. Also, the asymmetry coefficient was calculated, which led to the conclusion about right-sided asymmetry. Based on the obtained results, it is concluded that because of the specificity of the available data, statistical methods are not suitable for their analysis. For more accurate analysis, the main factors influencing the power consumption were selected and monitored in a period equal to one year. For the data obtained, the multiple regression equation was constructed, allowing to take into account each factor influencing the power consumption and the degree of its influence. The quality of the equation obtained was estimated by means of calculations and comparison of the results obtained with actual consumption. As a result, the equation was obtained with an error of 3.68 percent.

Keywords: Automatic system for commercial accounting of energy resources, monitoring of power consumption, daily power consumption, statistical analysis, multiple regression equation.

Введение. Современные крупные офисные здания используют большое количество ресурсов, таких как тепло, холодная и горячая вода, а также электрическая энергия, которая является основным затрачиваемым энергоресурсом и используется на освещение, работу оргтехники, систем вентиляции и кондиционирования. Встроенные системы учета потребления электрической энергии таких зданий имеют достаточно простую структурную организацию, включающую в себя аналоговые и цифровые счетчики различных производителей, установленные на укрупненных группах потребителей [5]. Такая система учета не позволяет производить качественный анализ энергопотребления, а также производить мероприятия по его снижению [4].

Для повышения энергоэффективности офисных зданий необходимо внедрение системы автоматического учета энергоресурсов [1], спо-

собной работать с большим количеством производителей учетного оборудования, имеющей возможность ручного ввода данных и экспорта из смежных систем. Внедрение такой системы позволит производить более внутренний биллинг и качественный анализ потребления, которые способствуют оперативному принятию решений по оптимизации. Обладая большим объемом данных и результатов его анализа, предприятие может более точно прогнозировать расход электроэнергии [3].

1. Обзор автоматических систем коммерческого учета энергопотребления. Рассмотрим упрощенную схему структурной организации типовой системы автоматического учета энергопотребления. Основой системы является сервер, позволяющий собирать, хранить и обрабатывать данные [30–31]. К данному серверу через маршрутизаторы посредством различных проводных и беспроводных технологий связи подключаются концентраторы, установленные на объектах и объединяющие в группы устройства сбора данных [6]. Также к серверу подключаются рабочие станции, представляющие из себя персональные компьютеры с установленным программным обеспечением используемой АСКУЭ. Для малых предприятий, использующих всего одну рабочую станцию, эта же станция может являться сервером [2].

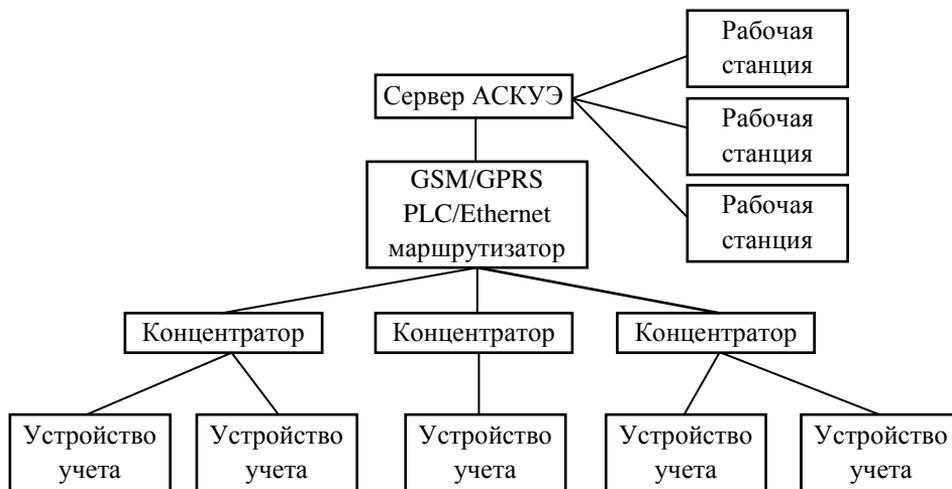


Рис. 1. Упрощенная схема структурной организации АСКУЭ

Большинство существующих систем автоматического учета энергопотребления организовано согласно приведенной структуре [7]. Рассмотрим наиболее распространенные продукты, представленные на рынке, и сравним их, используя данные экспертных оценок. Просуммировав

полученные от экспертов баллы, проведем ранжирование систем и выберем наиболее подходящую для реализации энергомониторинга офисного здания. Результаты сравнения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ систем АСКУЭ

Параметры	Наименование									
	ГИС ТБН «Энерго»	ЕАСДКиУ	RDM	Энерго-контроль	I-ems	Simatic	1С Каскад АСКУЭ	Энергоучет	Марсел	Энергия
Тип ПО	1	1	1	1	2	0	0	1	1	1
Необходимость стороннего ПО	2	2	2	2	1	1	0	2	2	1
Поддерживаемые производители	2	1	0	2	2	2	2	2	1	1
Стандарты связи	2	2	2	1	1	1	1	1	2	0
Учитываемые энергоресурсы	2	0	0	2	2	2	1	0	0	0
Учитываемые параметры	2	2	2	0	0	2	2	0	0	0
Ручной ввод	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0
Многотарифный учет	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0
Прогноз	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Вывод данных в отчеты	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1
Диагностика устройств учета	2	1	2	1	0	2	0	0	0	1
Удаленное управление	2	2	2	2	0	2	0	0	0	0
Фиксация действий персонала	2	1	1	1	1	0	1	0	0	0
Автоматический расчет	1	2	2	1	2	0	1	0	2	0
Система документооборота	1	0	0	0	1	0	2	1	0	0
Автоматическая рассылка	0	2	1	0	1	0	1	0	1	0
Открытость кода	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1
Сумма баллов	21	20	17	17	17	16	16	14	11	6

Баллы в данной таблице расставлялись следующим образом: 2 балла – функция выполняется в полной мере, 1 балл – выполняется лишь часть функции и 0 баллов – если функция не выполняется совсем или выполняется незначительная ее часть. При выставлении баллов по типу программного обеспечения 2 балла выставлялись модульным и блочным ПО, поскольку именно эти типы являются наиболее прогрессивными на данный момент благодаря тому, что позволяют производить постепенную интеграцию, подбирать комплект необходимых функций для каждого конкретного предприятия и расширять функционал по мере необходимости [29]. Один балл ставился самостоятельным ПО, не требующим базового программного обеспечения для установки. И ноль баллов ставилось интегрируемым системам, требующим стороннего ПО для установки и работы.

В результате сравнения систем автоматического учета с использованием метода «ранжирование» было выявлено, что наиболее функциональной системой на данный момент на рынке является ГИС ТБН «Энерго», однако и она, несмотря на большой функционал, не способна в полной мере удовлетворить потребности отдельных предприятий [28]. Так, система не позволяет производить ручной ввод данных, что исключает возможность постепенной интеграции. Система не способна организовать потарифный расчет, что не позволяет снизить затраты на электропотребление без изменения его количества. Также система не обладает никаким функционалом по прогнозированию электропотребления и не способна осуществлять автоматическое уведомление заинтересованных лиц.

Рассмотрев наиболее популярные АСКУЭ на рынке, можно заключить, что каждая из систем имеет ряд недостатков и подходит ограниченному количеству предприятий [27]. Компании-разработчики, хотя и стараются унифицировать свои системы и расширить функционал, пока не могут обеспечить всех потребностей большинства предприятий.

Для решения этого вопроса система должна быть модульной, что не только сделает ее более доступной и позволит производить внедрение постепенно, но и даст возможность предприятиям подбирать необходимый функционал под конкретные нужды [8]. Наиболее удобным будет разделить функционал по категориям, таким как прогностический модуль, модуль учета, модуль удаленного управления, модуль документооборота, модуль контроля качества и т.д. По итогу модульная система должна быть способна формировать единое информационное пространство [9].

Помимо этого необходимы максимальное расширение доступных для считывания и управления устройств, а также реализация функционала по ручному внесению данных для конкретных устройств, что позволит предприятиям производить постепенную интеграцию АСКУЭ [10]. Система должна быть легко масштабируема и способна получать данные, как по проводным, так и по беспроводным технологиям без потери качества получаемых данных.

Система должна давать возможности получать данные, автоматически их анализировать и выдавать прогнозы, а также оптимизировать потребление энергоресурсов [11].

Необходимо наличие модуля контроля качества потребляемых ресурсов, а также уведомлять о нештатных ситуациях, как оператора, так и определенный круг лиц предприятия не только по электронной почте, но и помощью СМС либо автоинформатора [12]. Это позволит повысить надёжность системы и оперативность реагирования. При этом должен быть реализован функционал в области документооборота и контроля за действиями сотрудников [13]. Это значительно упростит движение документов как внутри, так и за пределами предприятия [14]. На данный момент рынок не располагает системой, отвечающей этим требованиям.

2. Статистический анализ данных электропотребления. В результате суточного мониторинга имеем данные о потреблении за сутки, собранные с интервалом в 30 минут. Полученные данные представим в виде ряда распределения и проранжируем, отсортировав по возрастанию для удобства расчетов (рис. 2).

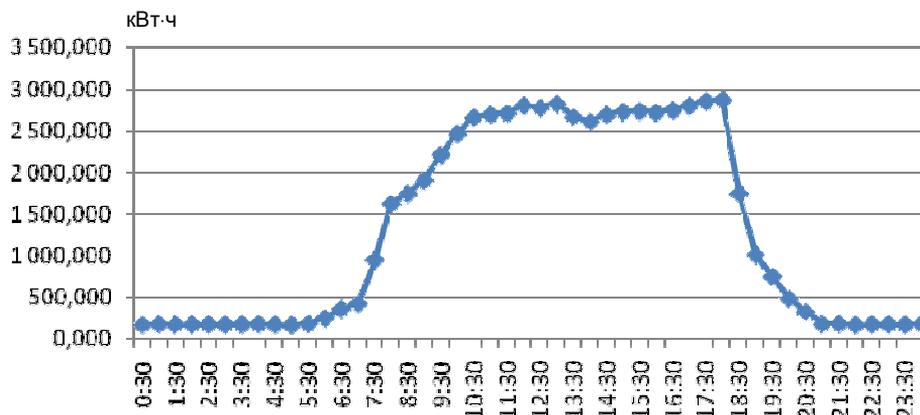


Рис. 2. График суточного электропотребления офисного здания

Найдем показатели центра распределения, такие как простое среднее, мода и медиана [15]. Для начала найдем простое среднее арифметическое, для этого просуммируем значения и разделим на их количество:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{63326,55}{48} = 1319,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Далее найдем моду нашего ряда. В результате оценки получаем два значения, встречающиеся с одинаковой наибольшей частотой [26]. Исходя из полученных результатов, можно заключить, что ряд являет-

ся мультимодальным и не подчиняется закону нормального распределения [16]. Медиана служит хорошей характеристикой при асимметричном распределении данных, так как даже при наличии «выбросов» данных медиана более устойчива к воздействию отклоняющихся данных. Поскольку количество значений ряда является четным, необходимо взять два центральных значения проранжированного ряда и найти их среднее значение: $(750,400 + 950,300)/2 = 850,35$ кВт·ч.

Также необходимо найти показатели вариации, такие как размах вариации, дисперсия, среднее линейное отклонение и т.д. [25].

Размах вариации находится как разность между максимальным и минимальным значениями ряда:

$$R = x_{\max} - x_{\min} = 2872,800 - 167,300 = 2705,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Среднее линейное отклонение вычисляют для того, чтобы учесть различия всех единиц исследуемой совокупности:

$$d = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{f} = \frac{53274,26}{48} = 1109,88 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Следовательно, каждое значение ряда отличается от другого в среднем на 1109,88 кВт·ч.

Дисперсия характеризует меру отклонения от среднего значения. Расчет будем производить методом моментов:

$$D = \frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2 = \frac{147930839,04}{48} - 1319,3^2 = 1\,341\,331,74.$$

В таком случае среднее квадратическое отклонение определяется как

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{1341331,744} = 1158,16 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Из чего следует, что каждое значение ряда отличается от среднего значения 1319,3 кВт·ч в среднем на 1158,16 кВт·ч.

Коэффициент вариации является мерой относительного разброса значений совокупности, показывая, какую долю среднего значения этой величины составляет ее средний разброс [24]:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{1158,16}{1319,3} 100 \% = 87,79 \%$$

Поскольку $v > 70 \%$, то совокупность приближается к грани неоднородности, а вариация сильная [23].

Коэффициент вариации значительно больше 33 %. Следовательно, рассмотренная совокупность неоднородна и средняя для нее недостаточна типична.

Линейный коэффициент вариации или относительное линейное отклонение характеризует долю усредненного значения признака абсолютных отклонений от средней величины:

$$Kd = \frac{d}{\bar{x}} = \frac{1109,88}{1319,3} 100 \% = 84,13 \%$$

Наиболее точным и распространенным показателем асимметрии является моментный коэффициент асимметрии: $As = M_3/s^3$, где M_3 – центральный момент третьего порядка, s – среднеквадратическое отклонение,

$$M_3 = 187644929197,4/48 = 3909269358,28,$$

$$As = \frac{3909269358,28}{1158,16^3} = 2,52.$$

Получившееся значение является положительным, что указывает на наличие правосторонней асимметрии [22].

Оценка существенности показателя асимметрии дается с помощью средней квадратической ошибки коэффициента асимметрии:

$$S_{As} = \sqrt{\frac{6(48-2)}{(48+1)(48+3)}} = 7,58.$$

Исходя из полученных результатов, можем сделать вывод, что в ряду наблюдается существенная асимметрия, поскольку полученное значение значительно больше 3.

3. Оценка влияния факторов на электропотребление. В результате проведения статистического анализа данных удалось выяснить, что данные электропотребления не подчиняются закону нормального распределения, следовательно, нет возможности произвести качественную оценку и построить точный прогноз электропотребления [17]. Для более качественного анализа были выделены основные факторы, влияющие на электропотребление.

Организация имеет нерегулируемое центральное отопление, системы индивидуального кондиционирования, а также центрального и ин-

дивидуального освещения [18]. В связи с этим нами были выбраны следующие основные факторы: средняя температура воздуха на улице, средняя продолжительность светового дня, отопительный период, а также среднее количество человек, работающих в день, в течение месяца [19]. По итогам мониторинга, длящегося в течение года, получили следующие данные, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Данные, полученные в результате мониторинга

Параметр	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Электропотребление, кВт·ч	186808	160339	141634	97250	56985	35941	22192	43904	58684	122035	173193	211063
Отопительный период, дни	31	29	31	28	0	0	0	0	5	31	30	31
Персонал, чел	425,1	427,5	426,8	427,2	427	425	422	424	418,3	421,2	423,5	427
Средняя температура воздуха, °С	-12,92	-6,84	-2,24	-6,23	13,09	16	18,3	20,5	11,4	-1,2	-9,15	-12,71
Средняя продолжительность светового дня, ч	7,16	9,2	11,47	14,2	16,41	18,03	17,24	15,2	12,52	10,21	8	6,36

Для оценки влияния каждого фактора на электропотребление построим уравнение множественной регрессии, поскольку 4 фактора. Линейное уравнение множественной регрессии имеет следующий вид:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon,$$

где β_0 – свободный член, β_n – значения коэффициентов влияния каждого конкретного фактора на конечный результат, X_n – количественное значение фактора.

В результате получаем уравнение регрессии:

$$Y = -1341024,7002 + 110,5904X_1 + 3638,9134X_2 - 2518,0966X_3 - 7304,7214X_4.$$

Для оценки качества получившегося уравнения произведем расчеты для каждого месяца, вычислим отклонение в процентах. Результаты расчета представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчетов

Месяц	Фактическое электропотребление, кВт·ч	Расчетное электропотребление, кВт·ч	Отклонение, кВт·ч	Отклонение, %
Январь	186808	189573,69	2729,69	1,46
Февраль	160339	167838,34	7499,24	4,67
Март	141634	137347,22	4286,77	3,02
Апрель	97250	97200,84	49,15	0,05
Май	56985	59958,95	2973,95	5,21
Июнь	35941	33519,82	2421,17	6,73
Июль	22192	22582,19	390,19	1,76
Август	43904	39211,83	4682,16	7,79
Сентябрь	58684	61524,31	2840,31	4,84
Октябрь	122035	123554,43	1519,44	1,24
Ноябрь	173193	167975,65	5217,35	3,01
Декабрь	211063	201766,60	9296,39	4,40

Данные фактического и расчетного электропотребления также представлены в виде графика на рис. 3.

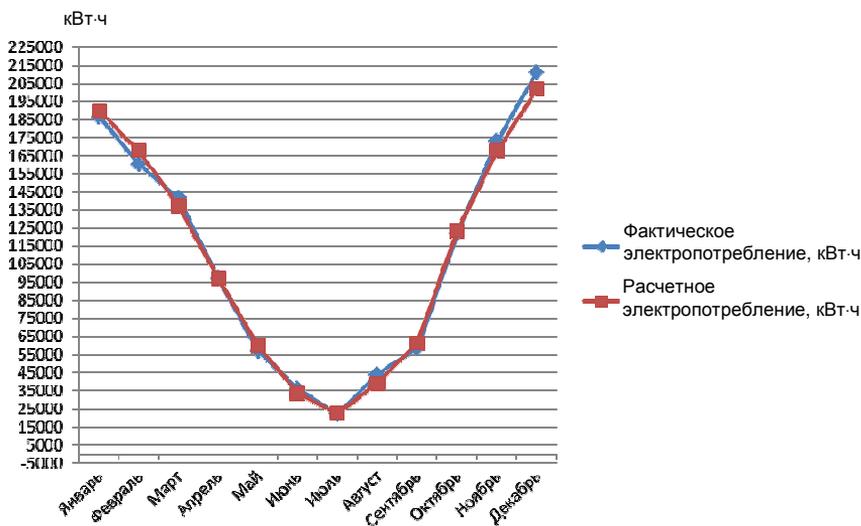


Рис. 3. График фактического и расчетного электропотребления

В результате оценки видно, что отклонение расчетного электропотребления от фактического в пиковых значениях не превышает 7,8 %, а среднее отклонение равно 3,68 %, что является хорошим показателем

точности модели. Благодаря высокой точности модели, зная значения коэффициентов, можно построить достаточно точный прогноз [20].

Выводы. Электропотребление представляет собой специфическую функцию, не подчиняющуюся законам нормального распределения и обладающую значительной асимметрией, что свидетельствует о невозможности применения стандартных статистических методов для оценки и прогнозирования электропотребления.

Электропотребление зависит от многих факторов, учесть влияние которых позволяет уравнение множественной регрессии. Благодаря полученному уравнению мы можем строить прогноз с точностью 3,68 %.

Современный рынок предлагает значительное количество систем автоматического учета энергоресурсов. Существующие системы обладают большим функционалом не только в области учета, но и в области оценки качества потребляемого ресурса, SCADA-систем, а также в области электронного документооборота и прогнозирования [21]. На сегодняшний день рынок хотя и располагает перспективными системами учета, однако не способен удовлетворить все индивидуальные потребности предприятия.

Библиографический список

1. АСКУЭ. Комплекс технических и программных средств «Энергомера». Прозрачные решения / ЗАО «Энергомера». – Ставрополь, 2013. – 8 с.
2. Краснопевцева И.В., Краснопевцева Е.А., Козина Л.Н. Инновационные подходы к экономии энергетических ресурсов // Вестник НГИЭИ. – 2014. – № 12(43). – С. 48–53.
3. Кычкин А.В. Синтез системы удаленного энергетического мониторинга производства // Металлург. – 2015. – № 9. – С. 20–27.
4. Булякин Н.С., Валиуллина В.Н., Козина Л.Н. Энергосбережение в химическом производстве. Увеличение эффективности использования энергоресурсов // YOUNG ELPIT 2013: междунар. инновац. форум молодых ученых, 2014. – С. 54–59.
5. Суровцев И.С. Инженерные системы и сооружения ВГАСУ // Инженерные системы. – СПб., 2009. – 167 с.
6. Кычкин А.В. Программно-аппаратное обеспечение сетевого энергоучетного комплекса // Датчики и системы. – 2016. – № 7(205). – С. 24–32.

7. Compendium on Science & Research Cooperation between the European Union and the Russian Federation / European Communities, 2009. – 136 с.

8. Черкасова Н.И. Моделирование, анализ и оптимизация потерь в распределительных электрических сетях 10–0,4 кВ: моногр. – Рубцовск: Изд-во НГТУ, 2008. – 96 с.

9. Егоров В., Кужеков С. Интеллектуальные технологии в распределительном электросетевом комплексе // ЭнергоРынок. – 2010. – № 6. – С. 26–28.

10. Франк Т., Кычкин А.В., Мусихина К.Г. Государственное управление проектами в области энергосбережения как база для эффективного внедрения «лучших практик» // Менеджмент в России и за рубежом. – 2014. – № 3. – С. 98–104.

11. Тумаков А.В., Лондер М.И., Единое информационное пространство как основа создания интегрированной системы управления электрическими сетями России // Естественные и технические науки. – 2010. – № 4(49). – С. 378–383.

12. Электробезопасность. Теория и практика: учеб. пособие для вузов / П.А. Долин, В.Т. Медведев, В.В. Крючков, А.Ф. Монахов; под ред. В.Т. Медведева. – М.: Изд. дом МЭИ, 2012. – 280 с.

13. Кычкин А.В. Протокол беспроводного сбора энергоданных для систем мониторинга реального времени // Вестник Южно-Урал. гос. ун-та. Сер. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2014. – Т. 14. – № 4. – С. 126–132.

14. Аюев Б.И. Методы и модели эффективного управления режимами единой электроэнергетической системы России: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2008.

15. Бойцов Ю.А., Васильев А.П. Решение задачи рациональной организации системы оперативного обслуживания электрических сетей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2008. – № 1–2. – С. 56–63.

16. Программно-аппаратный комплекс удаленного мониторинга и анализа энергетических параметров / А.В. Ляхомский, Е.Н. Перфильева, А.В. Кычкин, Н. Генрих // Электротехника. – 2015. – № 6. – С. 13–19.

17. Васильев А.П., Папков Б.В., Карабанов А.А. Оптимизация структуры и оценка эффективности системы эксплуатации оборудова-

ния электрической сети // Задачи надежности систем энергетики для субъектов отношений в энергетических рынках: сб. статей. – Киев: Знания Украины, 2007. – Вып. 57. – С. 204–211.

18. Кычкин А.В. Модель синтеза структуры автоматизированной системы сбора и обработки данных на базе беспроводных датчиков // Автоматизация и современные технологии. – 2009. – № 1. – С. 15–20.

19. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Smart Grid – Концептуальные положения // Энергорынок. – 2010. – № 3(75). – С. 67–72.

20. Костыгов А.М., Кычкин А.В. Структуризация удаленного мониторинга группы интеллектуальных подвижных платформ в реальном времени // Датчики и системы. – 2013. – № 9. – С. 65–69.

21. Анализ эксплуатационной надежности оборудования электрических сетей / М.Ш. Мисриханов, А.Н. Назарычев, А.И. Таджибаев [и др.] // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: сб. науч. тр. – М.; Н. Новгород, 2010. – Вып. 58. – С. 75–84.

22. Кычкин А.В., Микрюков Г.П. Метод обработки результатов мониторинга группы энергопотребителей // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2016. – № 6. – С. 9–14.

23. Пилипенко Г.В. Выбор оптимальной системы оперативно-диспетчерского управления электростанции // Энергетик. – 2008. – № 10. – С. 34–35.

24. Немцев А.Г., Немцев Г.А. Качество электроэнергии и режимы её потребления в системах электроснабжения. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. гос. ун-та им. И.Н. Ульянова, 2010. – 440 с.

25. Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита. – М.: Машиностроение–1, 2006. – 256 с.

26. Kychkin A.V., Mikriukov G.P. Applied data analysis in energy monitoring system // Problems of regional energy. – 2016. – № 2(31). – С. 84–92.

27. Сумзина Л.В., Максимов А.В., Литвиненко А.А. Анализ распределения энергетических ресурсов предприятий сервиса // Вестник Хмельниц. нац. ун-та. – 2013. – № 3. – С. 249–254.

28. К вопросу измерения и оценки показателей качества электрической энергии / А.В. Праховник, Н.А. Денисенко, А.В. Волошко, А.Л. Харчук // Энергетика и электрификация. – 2012. – № 3. – С. 21–27.

29. Кузнецов Н.М., Семенов А.С. Разработка системы мониторинга для измерения показателей качества электроэнергии на горных предприятиях // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 4 (Ч. 2). – С. 295–299.

30. Кычкин А.В. Долгосрочный энергомониторинг на базе программной платформы OpenJEVis // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. – 2014. – № 1(9). – С. 5–15.

31. ARM and DSP Based Device for Power Quality Monitoring / Genghuang Yang, Feifei Wang, Shigang Cui, Li Zhao // *Advances in Electronic Engineering, Communication and Management*. Vol. 2: Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2012. – Vol. 140. – P. 163–168.

References

1. Avtomatizirovannaja sistema kommercheskogo uchjota jenergii i moshhnosti. Kompleks tehniceskikh i programmnyh sredstv "Jenergomera". Prozrachnye reshenija [Automated system of control and accounting of electricity. Complex of technical and software means "Energomera". Transparent solutions]. Stavropol': ZAO "Jenergomera", 2013. 8 p.

2. Krasnopevtseva I.V., Krasnopevtseva E.A., Kozina L.N. Innovatsionnye podkhody k ekonomii energeticheskikh resursov [Innovative approaches to saving energy resources]. *Vestnik Nizhegorodskogo gosudarstvennogo inzhenerno-ekonomicheskogo instituta*, 2014, no. 12(43), pp. 48-53.

3. Kychkin A.V. Sintez sistemy udalennogo energeticheskogo monitoringa proizvodstva [Synthesis of the system of remote energy production monitoring]. *Metallurg*, 2015, no. 9, pp. 20-27.

4. Buliakin N.S., Valiullina V.N., Kozina L.N. Energoberezhenie v khimicheskom proizvodstve. Uvelichenie effektivnosti ispol'zovaniia energoresursov [Energy saving in chemical production. Increase the efficiency of energy resources]. *Mezhdunarodnyi innovatsionnyi forum molodykh uchenykh "YOUNG ELPIT 2013"*, 2014, pp. 54-59.

5. Surovtsev I.S. Inzhenernye sistemy i sooruzheniia VGASU [Engineering systems and constructions of VGASU]. *Inzhenernye sistemy*. Saint Petersburg, 2009. 167 p.

6. Kychkin A.V. Programmno-apparatnoe obespechenie setevogo energouchetnogo kompleksa [Software and hardware of network energy-accounting complex]. *Datchiki i sistemy*, 2016, no. 7(205), pp. 24-32.

7. Compendium on Science & Research Cooperation between the European Union and the Russian Federation. *European Communities*, 2009. 136 p.

8. Cherkasova N.I. Modelirovanie, analiz i optimizatsiia poter' v raspredelitel'nykh elektricheskikh setiakh 10–0,4 kV [Modeling, the analysis and optimization of losses in distributive electric networks of 10–0,4 kV]. Rubtsovsk: Nizhegorodskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni R.E. Alekseeva, 2008. 96 p.

9. Egorov V., Kuzhekov S. Intellektual'nye tekhnologii v raspredelitel'nom elektrosetevom komplekse [Intellectual technologies in the distribution grid complex]. *EnergoRynok*, 2010, no. 6, pp. 26-28.

10. Frank T., Kychkin A.V., Musikhina K.G. Gosudarstvennoe upravlenie proektami v oblasti energosberezheniia kak baza dlia effektivnogo vnedreniia "luchshikh praktik" [State management of energy saving projects as a basis for effective implementation of "best practices"]. *Menedzhment v Rossii i za rubezhom*, 2014, no. 3, pp. 98-104.

11. Tumakov A.V., Londer M.I., Edinoe informatsionnoe prostranstvo kak osnova sozdaniia integrirovannoi sistemy upravleniia elektricheskimi setiami Rossii [Single Information Space as the Basis for the Creation of an Integrated Management System for Russia's Electrical Networks]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2010, no. 4(49), pp. 378-383.

12. Dolin P.A., Medvedev V.T., Kriuchkov V.V., Monakhov A.F. Elektrobezopasnost'. Teoriia i praktika [Electrical safety. Theory and practice]. Ed. V.T. Medvedev. Moscow: Moskovskii energeticheskii institut, 2012. 280 p.

13. Kychkin A.V. Protokol besprovodnogo sbora energodannykh dlia sistem monitoringa real'nogo vremeni [Protocol of wireless data collection for real-time monitoring systems]. *Vestnik Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Komp'iuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*, 2014, vol. 14, no. 4, pp. 126-132.

14. Aiuev B.I. Metody i modeli effektivnogo upravleniia rezhimami edinoi elektroenergeticheskoi sistemy Rossii [Methods and models for effective management of the regimes of the unified electric power system of Russia]. Abstract of Doctor's degree dissertation. Moscow, 2008.

15. Boitsov Iu.A., Vasil'ev A.P. Reshenie zadachi ratsional'noi organizatsii sistemy operativnogo obsluzhivaniia elektricheskikh setei [Solution of the problem of rational organization of the system of operative maintenance of electric networks]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki*, 2008, no. 1-2, pp. 56-63.

16. Liakhomskii A.V., Perfil'eva E.N., Kychkin A.V., Genrikh N. Programmno-apparatnyi kompleks udalennogo monitoringa i analiza energeticheskikh parametrov [Software and hardware complex for remote monitoring and analysis of energy parameters]. *Elektrotehnika*, 2015, no. 6, pp. 13-19.

17. Vasil'ev A.P., Papkov B.V., Karabanov A.A. Optimizatsiia struktury i otsenka effektivnosti sistemy ekspluatatsii oborudovaniia elektricheskoi seti [Optimization of the structure and evaluation of the efficiency of the electrical network equipment operation system]. *Zadachi nadezhnosti sistem energetiki dlia sub"ektov otnoshenii v energeticheskikh ryunkakh*. Kiev: Znaniia Ukrainy, 2007, iss. 57, pp. 204-211.

18. Kychkin A.V. Model' sinteza struktury avtomatizirovannoi sistemy sbora i obrabotki dannykh na baze besprovodnykh datchikov [A model for the synthesis of the structure of an automated data acquisition and processing system based on wireless sensors]. *Avtomatizatsiia i sovremennye tekhnologii*, 2009, no. 1, pp. 15-20.

19. Kobets B.B., Volkova I.O. SmartGrid – Kontseptual'nye polozheniia [Smart Grid – Conceptual provisions]. *Energorynok*, 2010, no. 3(75), pp. 67-72.

20. Kostygov A.M., Kychkin A.V. Strukturizatsiia udalennogo monitoringa gruppy intellektual'nykh podvizhnykh platform v real'nom vremeni [Structuring the remote monitoring of a group of intelligent mobile platforms in real time]. *Datchiki i sistemy*, 2013, no. 9, pp. 65-69.

21. Misrikhanov M.Sh., Nazarychev A.N., Tadzhibaev A.I. [et al.]. Analiz ekspluatatsionnoi nadezhnosti oborudovaniia elektricheskikh setei [Analysis of the operational reliability of electrical network equipment]. *Metodicheskie voprosy issledovaniia nadezhnosti bol'shikh sistem energetiki*. Moscow; Nizhny Novgorod, 2010, iss. 58, pp. 75-84.

22. Kychkin A.V., Mikriukov G.P. Metod obrabotki rezul'tatov monitoringa gruppy energopotrebitel'ei [Method of processing the results of monitoring the energy users group]. *Energobezopasnost' i energosberezhenie*, 2016, no. 6, pp. 9-14.

23. Pilipenko G.V. Vybor optimal'noi sistemy operativno-dispatcherskogo upravleniia elektrostantsii [The choice of the optimal system of operational dispatch control of the power plant]. *Energetik*, 2008, no. 10, pp. 34-35.

24. Nemtsev A.G., Nemtsev G.A. Kachestvo elektroenergii i rezhimy ee potrebleniia v sistemakh elektrosnabzheniia [The quality of electricity and the modes of its consumption in power supply system's]. Cheboksary: Chuvashskii gosudarstvennyi universitet imeni I.N. Ul'ianova, 2010. 440 p.

25. Fokin V.M. Osnovy energosberezheniia i energoaudita [Fundamentals of energy conservation and energy audit]. Moscow: Mashinostroenie-1, 2006. 256 p.

26. Kychkin A.V., Mikriukov G.P. Applied data analysis in energy monitoring system. *Problems of regional energy*, 2016, no. 2(31), pp. 84-92.

27. Sumzina L.V., Maksimov A.V., Litvinenko A.A. Analiz raspredeleniia energeticheskikh resursov predpriatii servisa [Analysis of the distribution of energy resources of service enterprises]. *Vestnik Khmel'nitskogo natsional'nogo universiteta*, 2013, no. 3, pp. 249-254.

28. Prakhovnik A.V., Denisenko N.A., Voloshko A.V., Kharchuk A.L. K voprosu izmereniia i otsenki pokazatelei kachestva elektricheskoi energii [To the question of measuring and estimating the quality indexes of electric energy]. *Energetika i elektrifikatsiia*, 2012, no. 3, pp. 21-27.

29. Kuznetsov N.M., Semenov A.S. Razrabotka sistemy monitoringa dlia izmereniia pokazatelei kachestva elektroenergii na gornyykh predpriatiiakh [Development of a monitoring system for measuring electricity quality at mining enterprises]. *Fundamental'nye issledovaniia*, 2013, no. 4 (part 2), pp. 295-299.

30. Kychkin A.V. Dolgosrochnyi energomonitoring na baze programmnoi platformy OpenJEVis [Long-term energy monitoring based on the OpenJEVis software platform]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotekhnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2014, no. 1(9), pp. 5-15.

31. Genghuang Yang, Feifei Wang, Shigang Cui, Li Zhao. ARM and DSP Based Device for Power Quality Monitoring. *Advances in Electronic Engineering, Communication and Management*. Vol. 2. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2012, vol. 140, pp. 163-168.

Сведения об авторах

Кычкин Алексей Владимирович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: aleksey.kychkin@gmail.com).

Борковец Кирилл Алексеевич (Пермь, Россия) – магистрант кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: borkovezkirill@mail.ru).

Ежова Наталья Александровна (Березники, Россия) – инженер 1-й категории производственно-технической службы ОАО «МРСК Урала» филиала «Пермэнерго», производственного отделения «Березниковские электрические сети» (618419, Пермский край, Березники, ул. Ломоносова, 71, e-mail: ezhova@beres.permenergo.ru).

About the authors

Kichkin Alexey Vladimirovich (Perm, Russian Federation) is a Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Automation Microprocessors Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: aleksey.kychkin@gmail.com).

Borkovets Kirill Alekseevich (Perm, Russian Federation) is a Master Student the Department of Automation Microprocessors Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: borkovezkirill@mail.ru).

Ezhova Natalia Aleksandrovna (Berezniki, Russian Federation) is an Engineer of the 1st category of the production and technical service of MRSK of Urals, the branch of Permenergo, the production department of Berezniki Electric Networks (618419, Perm Krai, Berezniki, 71, Lomonosov str., e-mail: ezhova@beres.permenergo.ru).

Получено 28.04.2017