

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАТРАТ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

А.М. КУМАРИТОВ, А.Э. ДЗГОЕВ, О.Р. БАБОЧИЕВ, И.М. ХУЗМИЕВ

Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(Государственный технологический университет) СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ

С использованием метода планирования эксперимента получена полезная адекватная модель, связывающая финансовые затраты по передаче данных о потреблении электроэнергии с количеством опросов разных категорий измерительных приборов учета электроэнергии. Определены категории измерительных приборов учета расхода электроэнергии и выявлена категория, которая имеет большую зависимость затрат от количества опросов.

Ключевые слова: математическая статистика, планирование эксперимента, оптимизация затрат на передачу данных электропотребления, настройка схемы опроса измерительных приборов.

Введение

Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) широко применяется в электроустановках промышленных и электросетевых предприятий, а также в жилищно-коммунальном хозяйстве – там, где необходим точный и своевременный учет перетоков и потребления электроэнергии. Применение АСКУЭ увеличивает эффективность процесса коммерческого и технического учета электроэнергии, повышая финансовые показатели эксплуатирующего субъекта.

Степень финансовой эффективности применения внедренных систем автоматизации напрямую зависит от затрат на их использование. Так, при оценке затрат на эксплуатацию АСКУЭ, в случаях использования дорогостоящего оборудования, каналов связи и неоптимальных тарифов на передачу данных о потреблении электроэнергии, констатируется превышение эксплуатационных затрат над финансовыми издержками процесса учета в условиях отсутствия АСКУЭ, что, соответственно, делает использование системы экономически нецелесообразным. Поэтому одно из направлений развития АСКУЭ – это минимизация стоимости внедрения и эксплуатации системы без ухудшения функциональных характеристик.

Одна из основных затратных составляющих применения АСКУЭ – это использование платных каналов связи сторонних провайдеров телекоммуникационных услуг. Особенно это актуально для горных территорий, где в ряде случаев отсутствует инфраструктура дешёвых и быстрых сетей связи, и единственным приемлемым вариантом остается сотовая связь.

Расходы на связь в АСКУЭ зависят от многих факторов. Основным фактором является количественно-временная характеристика использования каналов связи, определяющая величину объемов передаваемых данных и длительность интервалов времени передачи данных. Задача АСКУЭ – сбор информации с измерительных приборов учета. От того, насколько эффективно будет настроена схема опроса объектов учета, зависит как объем собранной информации (собираемость данных), с одной стороны, так и количественно-временная характеристика использования каналов

связи, с другой стороны. Для улучшения собираемости данных с измерительных приборов эксплуатирующие субъекты вынуждены наращивать технические и материальные ресурсы (число обслуживаемых серверов, пропускную способность каналов связи, посредством которых осуществляется передача данных и т.д.), что связано с существенными финансовыми затратами.

Деятельность подобного рода систем осуществляется в соответствии с требованиями к их функционированию, предъявляемыми законодательством РФ и нормативными документами в электроэнергетической отрасли: в пункте 6 «Организация сбора и использования коммерческой информации от АСКУЭ для расчетов на оптовом рынке» положения «Об организации коммерческого учета электроэнергии и мощности на оптовом рынке и приложениях»; в пункте 9 «Общие технические требования к системе учета электроэнергии» типовой инструкции по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении РД34.09.101-94; в пункте «Организация системы измерений и сбора информации о фактическом производстве электрической энергии и мощности и об их потреблении на оптовом рынке» 3 статьи 33 Федерального закона «Об электроэнергетике» от 30.12.2012 N 291-ФЗ.

Другой важный фактор – это ценовая политика провайдеров (операторов), гибкость тарифной системы и т.п.

Указанные два фактора могут быть взаимосвязаны путем проведения системного анализа и принятия по его результату эффективных управленческих решений с конечной целью оптимизации технико-экономических показателей использования АСКУЭ.

Таким образом, важной и актуальной прикладной задачей для электросетевых организаций и иных субъектов, использующих АСКУЭ, является нахождение баланса между увеличением собираемости данных о потреблении электроэнергии и допустимыми финансовыми затратами с целью максимизации экономической эффективности применения систем автоматизации учета.

Методика исследования

Данная задача решена в результате использования метода планирования эксперимента [1, 2]. Для этой цели был использован план Бокса (B_3), обладающий D -оптимальностью и являющийся наиболее мощным критерием оптимальности [3].

Выбор плана Бокса, в отличие от критериев A -оптимальных, E -оптимальных, G -оптимальных, Q -оптимальных, связан с тем, что он относится к разряду D -оптимальных критериев, имеющих максимальное значение определителя матрицы M или минимальное значение M^{-1} [2].

Используемый программный продукт

Все необходимые формулы для расчётов приведены в терминах программного продукта «*Mathcad*».

Для расчёта коэффициентов уравнения регрессии был использован МНК (Метод Наименьших Квадратов) с учётом линеаризации независимых переменных в квадратичной форме. Коэффициенты регрессии рассчитаны по формуле

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (1)$$

где B – коэффициенты регрессионной модели; X – матрица независимых переменных; Y – матрица-столбец зависимой переменной; $(X^T X)$ – левая часть системы нормальных уравнений.

Основные результаты исследования и их обсуждение

Для составления матрицы планирования эксперимента решено было разделить общее количество измерительных приборов учёта электропотребления на три категории: в безразмерном масштабе – $X1, X2, X3$; в размерном масштабе – A, B, C .

Безразмерный масштаб

$X1$ (Категория $X1$) – критические измерительные приборы учёта электропотребления, опрашиваемые каждый час или каждые 30 минут.

К ним относятся точки учёта, преимущественно расположенные на крупных объектах, подстанциях, информация о потреблении электроэнергии с которых имеет чрезвычайно важное значение как для измерения и оперативного контроля за потреблением электроэнергии, так и для надежного функционирования оптового рынка электроэнергии.

$X2$ (Категория $X2$) – измерительные приборы учёта электропотребления, опрашиваемые один раз в сутки.

Точки учёта, опрос которых осуществляется раз в сутки, можно отнести к так называемому мелкомоторному сектору потребителей электроэнергии. В данную категорию входят трансформаторные подстанции (ТП), малые и средние промышленные предприятия и т.д.

$X3$ (Категория $X3$) – измерительные приборы учёта, опрашиваемые один раз в трое суток.

К точкам учёта, опрашиваемым один раз в трое суток, относятся приборы учёта, принадлежащие потребителям частного сектора (многоквартирные дома, частные хозяйства и т.д.).

Размерный масштаб

A – интервал опроса измерительных приборов учёта электропотребления от 0 до 60 мин, с частотой 1 час или 30 минут.

B – интервал измерительных приборов учёта электропотребления от 0 до 24 часов, с частотой 1 раз в сутки.

C – интервал опроса измерительных приборов учёта от 0 до 3 суток.

$X1, X2, X3$ – независимые переменные в безразмерном масштабе,

A, B, C – независимые переменные в размерном масштабе,

AS, BS, CS – средние значения,

Y – финансовые затраты (руб.) на установление связи точек учёта с сервером АСКУЭ посредством применяемых каналов связи.

Используя план Бокса, в матрице планирования проведено 14 опытов.

Так как $N = 2^k + 2 \cdot k$, то $N = 2^3 + 2 \cdot 3 = 14$ опытов, где k – число независимых переменных X .

Матрица планирования и результаты эксперимента в размерном и безразмерном масштабах представлены в табл. 1.

Далее представлены расчеты соответствующих значений опытов (с 1-го по 14-ый), результаты которых внесены в табл. 1.

$$A_{\min} := 1 \quad A_{\max} := 60 \quad AS := \frac{A_{\min} + A_{\max}}{2} = 30,5 \quad \Delta A := A_{\max} - AS = 29,5$$

$$X1_{\min} := \frac{A_{\min} - AS}{\Delta A} = -1 \quad X1_{\max} := \frac{A_{\max} - AS}{\Delta A} = 1$$

$$B_{\min} := 1 \quad B_{\max} := 24 \quad BS := \frac{B_{\min} + B_{\max}}{2} = 12,5 \quad \Delta B := B_{\max} - BS = 11,5$$

$$X2_{\min} := \frac{B_{\min} - BS}{\Delta B} = -1 \quad X2_{\max} := \frac{B_{\max} - BS}{\Delta B} = 1$$

$$C_{\min} := 1 \quad C_{\max} := 72 \quad CS := \frac{C_{\min} + C_{\max}}{2} = 36,5 \quad \Delta C := C_{\max} - CS = 35,5$$

$$X3_{\min} := \frac{C_{\min} - CS}{\Delta C} = -1 \quad X3_{\max} := \frac{C_{\max} - CS}{\Delta C} = 1$$

Таблица 1

Матрица планирования и результаты эксперимента в размерном и безразмерном масштабах

№ опыта	Размерный масштаб			Безразмерный масштаб			Затраты Y, руб.	Функциональная роль матрицы
	A, мин.	B, час.	C, сут.	X1	X2	X3		
1	1	1	1	-1	-1	-1	163.3	линейная часть матрицы
2	60	1	1	+1	-1	-1	176.3	
3	1	24	1	-1	+1	-1	191.4	
4	60	24	1	+1	+1	-1	352.0	
5	1	1	72	-1	-1	+1	135.2	
6	60	1	72	+1	-1	+1	195.0	
7	1	24	72	-1	+1	+1	278.2	
8	60	24	72	+1	+1	+1	266.2	
9	1	1	36,5	-1	0	0	135.2	нелинейная часть матрицы
10	60	1	36,5	+1	0	0	127.4	
11	30,5	12,5	36,5	0	-1	0	113.9	
12	30,5	12,5	36,5	0	+1	0	117.5	
13	30,5	12,5	1	0	0	-1	112.0	
14	30,5	12,5	72	0	0	+1	115.2	

Безразмерный масштаб

Проведен расчет коэффициентов регрессионной модели в безразмерном масштабе.

$N := 14$ – число опытов,

$k := 10$ – число коэффициентов регрессии, так как решено было использовать нелинейный полином второй степени с тремя независимыми переменными $X1$, $X2$, $X3$.

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{X0} := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{X1} := \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{X2} := \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{X3} := \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{Y} := \begin{pmatrix} 163.3 \\ 176.3 \\ 191.4 \\ 352.0 \\ 135.2 \\ 195.0 \\ 278.2 \\ 266.2 \\ 135.2 \\ 127.4 \\ 113.9 \\ 117.5 \\ 112.0 \\ 115.2 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

где $X0$ – фиктивная переменная (для формирования свободного члена коэффициента регрессии B_0);

$X1, X2, X3$ (независимые переменные в безразмерном масштабе) и Y (зависимая переменная) указаны выше в тексте данной статьи.

Для формирования матрицы независимых переменных (X) в программном продукте *MathCad* была использована функция *augment*.

$$\mathbf{X} := \text{augment} \left[\mathbf{X0}, \mathbf{X1}, \mathbf{X2}, \mathbf{X3}, \overrightarrow{\mathbf{X1}^2}, \overrightarrow{\mathbf{X2}^2}, \overrightarrow{\mathbf{X3}^2}, \overrightarrow{(\mathbf{X1} \cdot \mathbf{X2})}, \overrightarrow{(\mathbf{X1} \cdot \mathbf{X3})}, \overrightarrow{(\mathbf{X2} \cdot \mathbf{X3})} \right]$$

Далее проведен расчет коэффициентов регрессионной модели по формуле (1).

$$\mathbf{B} := (\mathbf{X}^T \cdot \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \cdot \mathbf{Y} =$$

	0
0	70.45
1	21.36
2	42.16
3	-0.52
4	60.85
5	45.25
6	43.15
7	9.475
8	-15.725
9	1.3

Коэффициенты регрессионной модели

Ранги независимых переменных (по модулю)

Определены ранги независимых переменных по силе их влияния на зависимую переменную уравнения регрессии нелинейного полинома второй степени с тремя независимыми переменными.

Ранги независимых переменных (X_1, X_2, X_3) рассчитаны для того, чтобы понять силу их влияния на зависимую переменную (Y). Результат представлен в табл. 2.

$$B_2 = 42,16 \qquad B_1 = 21,36 \qquad B_3 = -0,52$$

Таблица 2

Ранги независимых переменных

Ранг	Сила влияния	Безразмерный масштаб
I	42,16	X_2
II	21,36	X_1
III	-0,52	X_3

По силе влияния на затраты по передаче данных независимые переменные ранжируются следующим образом: X_2, X_1, X_3 .

Далее была применена формула для расчетных значений зависимой переменной:

$$YR := X \cdot B. \quad (2)$$

Для определения тесноты связи между зависимыми переменными (Y) и расчетными значениями зависимой переменной (YR) рассчитан коэффициент корреляции [4]:

$r := \text{corr}(YR, Y) = 0,914$ – коэффициент корреляции между расчетными и экспериментальными данными

Полная модель в безразмерном масштабе независимых переменных

Разработана полная регрессионная модель в безразмерном масштабе переменных:

$$Y := B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_3 + B_4 \cdot X_1^2 + B_5 \cdot X_2^2 + B_6 \cdot X_3^2 + B_7 \cdot X_1 \cdot X_2 + B_8 \cdot X_1 \cdot X_3 + B_9 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (3)$$

Оценка значимости коэффициента корреляции была произведена с помощью критерия Стьюдента.

$$tr := |r| \cdot \sqrt{\frac{N-2}{1-r^2}} = 7,805 \quad \text{– расчетное значение критерия Стьюдента,}$$

$$t := qt(0,975, N-2) = 2,179 \quad \text{– табличное значение критерия Стьюдента.}$$

В связи с тем, что $tr > t$, коэффициент корреляции признан статистически значимым с 95% надежностью. На этом же основании уравнение регрессии может быть признано адекватным экспериментальным данным.

Оценка адекватности модели с помощью коэффициента детерминации R^2 (RR)

Одной из эффективных оценок адекватности регрессионной модели, мерой качества уравнения регрессии, характеристикой прогностической силы анализируемой

регрессионной модели является коэффициент детерминации (R^2). Величина R^2 показывает, какая часть (доля) вариации зависимой переменной обусловлена вариацией объясняющей переменной. Чем ближе R^2 к единице, тем лучше регрессионная модель аппроксимирует эмпирические данные [5].

$$YSR := \frac{\sum Y}{N} = 177,057 \quad \text{– среднее значение зависимой переменной,}$$

$$RR := \frac{\sum (YR - YSR)^2}{(Y - YSR)^2} = 0,835 \quad \text{– коэффициент детерминации (определенности),}$$

$$\sqrt{RR} = 0,914 \quad \text{– коэффициент корреляции.}$$

В связи с тем, что $\sqrt{RR} = 0,914$ равняется коэффициенту корреляции между векторами Y и YR ($r := \text{corr}(YR, Y) = 0,914$), принимается гипотеза об адекватности регрессионной модели экспериментальным данным как по t-критерию Стьюдента, так и по коэффициенту детерминации.

Размерный масштаб

Далее представлены расчеты разработки регрессионной модели в размерном масштабе независимых переменных.

Таблица 3

Матрица планирования и результаты эксперимента в размерном и безразмерном масштабах

№ опыта	Размерный масштаб			Безразмерный масштаб			Затраты Y, руб.	Функциональная роль матрицы
	A, мин.	B, час.	C, сут.	X1	X2	X3		
1	1	1	1	-1	-1	-1	163.3	линейная часть матрицы
2	60	1	1	+1	-1	-1	176.3	
3	1	24	1	-1	+1	-1	191.4	
4	60	24	1	+1	+1	-1	352.0	
5	1	1	72	-1	-1	+1	135.2	
6	60	1	72	+1	-1	+1	195.0	
7	1	24	72	-1	+1	+1	278.2	
8	60	24	72	+1	+1	+1	266.2	
9	1	1	36,5	-1	0	0	135.2	нелинейная часть матрицы
10	60	1	36,5	+1	0	0	127.4	
11	30,5	12,5	36,5	0	-1	0	113.9	
12	30,5	12,5	36,5	0	+1	0	117.5	
13	30,5	12,5	1	0	0	-1	112.0	
14	30,5	12,5	72	0	0	+1	115.2	

$$\mathbf{X0} := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \mathbf{A} := \begin{pmatrix} 1 \\ 60 \\ 1 \\ 60 \\ 1 \\ 60 \\ 1 \\ 60 \\ 1 \\ 60 \\ 1 \\ 30.5 \\ 1 \\ 30.5 \\ 1 \\ 30.5 \\ 1 \\ 30.5 \\ 1 \\ 30.5 \\ 1 \\ 30.5 \\ 1 \\ 30.5 \end{pmatrix} \quad \mathbf{B} := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 24 \\ 24 \\ 1 \\ 1 \\ 24 \\ 24 \\ 12.5 \\ 12.5 \\ 1 \\ 24 \\ 12.5 \\ 12.5 \\ 1 \\ 24 \\ 12.5 \\ 12.5 \\ 1 \\ 24 \\ 12.5 \\ 12.5 \end{pmatrix} \quad \mathbf{C} := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 72 \\ 72 \\ 72 \\ 72 \\ 36.5 \\ 36.5 \\ 36.5 \\ 36.5 \\ 36.5 \\ 36.5 \\ 1 \\ 72 \end{pmatrix} \quad \mathbf{Y} := \begin{pmatrix} 163.3 \\ 176.3 \\ 191.4 \\ 352.0 \\ 135.2 \\ 195.0 \\ 278.2 \\ 266.2 \\ 135.2 \\ 127.4 \\ 113.9 \\ 117.5 \\ 112.0 \\ 115.2 \end{pmatrix}$$

где A, B, C независимые переменные в размерном масштабе.

Для формирования матрицы независимых переменных (X) в программном продукте *MathCad* была использована функция *augment*.

$$\mathbf{X} := \text{augment}[\mathbf{X0}, \mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{A}^2, \mathbf{B}^2, \mathbf{C}^2, \overrightarrow{(\mathbf{A} \cdot \mathbf{B})}, \overrightarrow{(\mathbf{A} \cdot \mathbf{C})}, \overrightarrow{(\mathbf{B} \cdot \mathbf{C})}]$$

Далее по формуле (1) рассчитаны коэффициенты регрессионного уравнения (регрессионной модели)

$$\mathbf{B1} := (\mathbf{X}^T \cdot \mathbf{X})^{-1} \cdot \mathbf{X}^T \cdot \mathbf{Y} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 162.582 \\ \hline 1 & -3.342 \\ \hline 2 & -5.856 \\ \hline 3 & -2.096 \\ \hline 4 & 0.07 \\ \hline 5 & 0.342 \\ \hline 6 & 0.034 \\ \hline 7 & 0.028 \\ \hline 8 & -0.015 \\ \hline 9 & 3.184 \cdot 10^{-3} \\ \hline \end{array}$$

Коэффициенты регрессионной модели в размерном масштабе независимых переменных

Далее по формуле (2) проведен расчет значений зависимой переменной:

$$\mathbf{YR} := \mathbf{X} \cdot \mathbf{B1}.$$

Полная модель в размерном масштабе независимых переменных

Полная модель в размерном масштабе независимых переменных представлена формулой

$$Y := B_0 + B_1 \cdot A + B_2 \cdot B + B_3 \cdot C + B_4 \cdot A^2 + B_5 \cdot B^2 + B_6 \cdot C^2 + B_7 \cdot A \cdot B + B_8 \cdot A \cdot C + B_9 \cdot B \cdot C. \quad (4)$$

$r := \text{corr}(YR, Y) = 0,914$ – коэффициент корреляции между расчетными (YR) и экспериментальными данными (Y).

Выводы

По результатам планирования эксперимента и создания на его основе регрессионной модели была установлена зависимость затрат на опрос точек учета от количества опросов и категорий измерительных приборов учета электроэнергии.

В ходе ранжирования трех категорий точек учета ($X1$, $X2$, $X3$) были получены важные для дальнейшего исследования результаты.

Из них следует, что наиболее влияющими на затраты являются точки учета, принадлежащие к мелкомоторному сектору B (Категория $X2$), на втором месте расположились точки учета сектора A (Категория $X1$), являющиеся критичными точками учета, и замыкает тройку – точки учета частного сектора C (Категория $X3$). Из чего можно сделать вывод, что в первую очередь необходимо оптимизировать опрос точек учета мелкомоторного сектора (B).

Полученная зависимость затрат от типа точки опроса объясняется следующими причинами.

По группе «С» затраты наименьшие в связи с наиболее оптимальной схемой опроса, реализованной в АСКУЭ сектора населения. В процессе сбора данных задействованы механизмы сжатия и пакетирования информации. Данные передаются одновременно по большим совокупностям индивидуальных приборов учета, при этом применяется тарификация с оплатой исключительно объемов переданных данных без учета времени на передачу и количества попыток установления связи удаленной точки с сервером АСКУЭ. Также на снижении затрат сказывается низкая периодичность сбора данных. В результате, несмотря на наибольшее число точек учета, задействованных в данной группе, затраты на эксплуатацию каналов связи из расчета на одну точку учета минимальны относительно остальных групп.

По группе «А» основным фактором затрат является большая периодичность опроса – один час и чаще. При этом для повышения надежности сбора используется более дорогостоящий способ соединения по стандартному GSM каналу с повременной тарификацией вызова и с зависимостью затрат от количества попыток соединения. Относительные затраты из расчета на одну точку учета по данной группе максимальны, однако ввиду малого количества точек учета величина суммарных затрат группы «А» занимает промежуточную позицию.

По группе «В» суммарные затраты максимальны, основной причиной чего является значительное число точек учета, оборудованных индивидуальными терминалами связи с персональным абонентским номером. При этом часть терминалов, в связи с недостаточным качеством предоставления услуги доступа в Интернет, функционирует в стандартном режиме передачи данных. Необходимость ежесуточного обновления данных и неоптимальная конфигурация расписания опроса также способствуют увеличению затрат.

Summary

Using the experiment design method an useful adequate model connecting the financial expenditure on data transference in terms of the electric energy consumption with

the counting amount of various measuring devices was developed. The categories of the measuring devices registrating the energy expenditure were determined and the category having the greatest dependence of expenditure on the counting amount was revealed.

Keywords: mathematical statistics , experiment design , optimization of data transfer costs of electricity , setting up schemes measuring devices.

Литература

1. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. / М.: Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы. 1965.
2. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. 304 с.
3. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях./ «Техніка», 1975. 168 с.
4. Кумаритов А.М., Дзгоев А.Э., Бетров М.С., Бочкор Е.Н. Анализ малой выборки экспериментальных данных при управлении энергоснабжением и энергосбережением региона // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. № 9-10. 2013. С. 81-88.
5. Кремер Н.Ш., Путко Б.А. Эконометрика: Учебник для вузов / Под ред. проф. Н.Ш. Кремера. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. 311 с.

Поступила в редакцию

11 февраля 2016 г.

Кумаритов Алан Мелитонович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы в экономике» Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета) СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ. E-mail: Power74@yandex.ru.

Дзгоев Алан Эдуардович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Информационные системы в экономике» Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета) СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ. E-mail: Dzgoev_Alan@mail.ru.

Бабочиев Олег Рамазанович – аспирант кафедры «Информационные системы в экономике» Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета) СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ. E-mail: Babochiev_Oleg@mail.ru.

Хузмиев Игорь Маратович – канд. техн. наук, заместитель начальника службы реализации услуг и учета электроэнергии Северо-Осетинского филиала, ОАО "МРСК Северного Кавказа". Тел.: 8 (918) 820-23-24. E-mail: Oaskue2@vladi.elektra.ru.