

УДК 621.398:681.51

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛА ПРЯМЫХ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЙ SCADA-СИСТЕМ

Баин А.М., Каунг Сан, Портнов Е.М., Слюсарь В.В., Чжо Зин Лин

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, Россия (124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1), e-mail: evgen\_uis@mail.ru*

В современных системах управления и контроля параметров распределенных энергообъектов существует необходимость реализации канала «прямых» измерений, то есть ухода от использования вторичных преобразователей. Разработанный способ для прямых измерений электрических параметров распределенных энергообъектов обеспечивает не только прямые измерения, но и позволяет расширить функциональные возможности систем SCADA за счёт снижения избыточности при передаче аварийной информации, которое обеспечивается за счет исключения из информационного сообщения отсчётов сигналов от датчиков, от которых не получен аварийный сигнал. В передаваемом сообщении содержатся данные, позволяющие определить временные сдвиги между выбегам сигналов для разных датчиков. Предложен алгоритм ввода телеизмерений в обрабатывающий центр, позволяющий уменьшить его загрузку указанным потоком в 1,5 раза, при этом вероятность отсутствия очереди при обработке потока канала прямых телеизмерений составляет 95% и среднее время ожидания обработки одного сообщения около 0,3 с.

Ключевые слова: система управления и контроля, телеизмерения, канал связи, пропускная способность, алгоритм.

## BY THE ISSUE OF INCREASING THROUGHPUT OF THE CHANNEL DIRECT TELEMETRY SCADA-SYSTEMS

Bain A.M., Kaung San, Portnov E.M., Slyusar V.V., Kyaw Zin Lin

*National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia (124498, Moscow, Zelenograd, Shokin square, 1), e-mail: evgen\_uis@mail.ru*

In modern systems, control and monitoring of distributed energy facilities there need to implement channel "direct" measurements, ie, avoiding the use of secondary transducers. The developed method for direct measurement of electrical parameters of the distribution of power provides not only direct measurements, but also allows you to extend the functionality of SCADA systems by reducing redundancy in the transmission of emergency information is provided by the exclusion from the information message readout signals from sensors that are not received emergency signal. The transmitted message contains the data to determine the time shift between coasting signals for different sensors. The algorithm input telemetry processing center, allowing it to reduce the loading of these flow by 1.5 times, while the probability of no queue when handling the flow channel direct telemetry is 95% and the average waiting time for processing a single message about 0.3 seconds.

Keywords: management and control system, telemetry, communication channel, throughput, algorithm.

Специфика управления и контроля распределенных энергообъектов и производств связана со все возрастающей сложностью реализующих ее систем сбора, передачи, обработки, отображения информации и формирования управляющих сигналов, выполняющих функции SCADA-систем (аббр. от англ. supervisory control and data acquisition, диспетчерское управление и сбор данных) [4; 6].

SCADA-системы для распределенных энергообъектов и производств впервые стали использоваться в электроэнергетике для решения задач достоверной передачи информации и команд управления по каналам связи от удаленных контролируемых пунктов (КП) на центральный пункт управления, реализуемый в виде центральной приемо-передающей

станции (ЦППС). Уже на первых этапах развития SCADA-системы одной из главных задач было обеспечение высокой достоверности передаваемой информации и команд управления [6].

Кроме того, расширение круга выполняемых функций за счет передачи метрологической информации, данных об аварийных процессах и диагностической информации сделало первоочередной задачей обеспечения максимального использования пропускной способности каналов связи и аппаратуры SCADA-системы. В данной статье рассматривается проблема эффективного использования каналов текущих измерений (ТИ) электрических параметров контролируемых энергообъектов.

В большинстве современных SCADA канал ТИ воспринимает информацию не непосредственно от первичных датчиков измеряемых параметров, а от промежуточных преобразователей, нормализующих сигналы с датчиков до стандартных значений, определяемых ГОСТом [7; 8]. Естественно, что при использовании промежуточных преобразователей часть «интеллекта» канала ТИ выносится за пределы SCADA, а обработка и форматирование информационных сообщений производится по данным, полученным от промежуточных преобразователей.

Устройства, реагирующие на мгновенные значения контролируемых сигналов, устанавливаются в специализированные информационные комплексы - регистраторы аварийной информации (РАИ). При этом необходимо обеспечить сохранение динамических составляющих текущих значений сигналов, поэтому в РАИ принципиально невозможно использование промежуточных преобразователей сигналов с датчиков в сигналы постоянного тока.

В результате существенно разнящихся подходов к организации каналов телеизмерений для различного класса систем на одном контролируемом энергообъекте зачастую используются несколько типов устройств от разных изготовителей и, естественно, требующих специфического обслуживания. Как следствие, большие информационные массивы, накопленные РАИ в короткие промежутки времени возникновения нештатных ситуаций, остаются в месте сбора и не могут быть использованы для оперативного поставарийного анализа [1].

Очевидно, что в современных системах SCADA, ориентированных на измерения параметров электрических сетей распределенных энергообъектов, существует необходимость реализации канала прямых измерений, т.е. ухода от использования вторичных преобразователей [2; 3].

В качестве входных должны использоваться сигналы переменного тока ( $I_{ex}$ ) и напряжения ( $U_{ex}$ ) от измерительных трансформаторов:

$$I_{ex}=I_m \sin (\omega t \pm \varphi), \quad (1)$$

$$U_{ex} = U_m \sin \omega t, \quad (2)$$

где  $U_m$ ,  $I_m$ ,  $\omega$  и  $\varphi$  - амплитудные значения напряжения и тока; круговая частота и фазовый сдвиг между напряжением и током, соответственно.

Переход к сигналам переменного тока не только исключает необходимость использования буферных преобразователей, которые увеличивают стоимость оборудования, уменьшают надежность, увеличивают погрешность измерений, но и позволяет более оперативно, объективно и эффективно фиксировать аварийные события [1-3]. Положительные свойства «прямых» измерений достигаются благодаря отсутствию в измерительной цепи инерционных преобразователей сигналов переменного тока в постоянный, которые подавляют гармонические составляющие измеряемого сигнала с частотами выше  $f_{гр\_ТИТ} = 5 \div 10$  Гц. Учитывая известное положение теоремы Котельникова, функцию  $x(f)$  с граничной частотой спектра  $f_{ТИ}$  можно восстановить по значениям дискретных ординат с интервалом дискретизации  $T_{ТИ} = 1/(2 f_{ТИ})$ .

Приведем основные условия для реализации «прямых» измерений в многофункциональных системах SCADA: высокое быстродействие для получения за один период напряжения питающей сети нескольких сотен отсчетов измеряемых параметров при работе в режиме регистрации аварийных событий или нескольких десятков отсчетов - для вычисления среднеквадратичного значения тока и напряжения по мгновенным значениям; сокращение избыточности данных при передаче сообщений; снижение основной приведенной погрешности до  $\pm (0,1 \div 0,5)\%$ .

Использование прямых измерений параметров электрических сетей позволит: существенно уменьшить суммарную стоимость измерительного канала; освободить площадь, занимаемую преобразователями на энергообъектах; упростить и удешевить метрологическую поддержку измерительных каналов; повысить надежность измерительного тракта; повысить достоверность информации, так как для общих блоков можно использовать более мощные диагностические операции без заметного ущерба для других параметров [2; 4].

Авторами предлагается новый способ реализации канала прямых измерений, в котором обеспечивается снижение избыточности при передаче аварийной информации за счет исключения из информационного сообщения отсчетов сигналов от датчиков, от которых не получен аварийный сигнал. В передаваемом сообщении содержатся данные, позволяющие определить временные сдвиги между «выбегам» сигналов для разных датчиков [4].

Проанализируем интенсивность информационного потока канала ТИ при использовании «прямых» измерений параметров электрических сетей распределенных

энергообъектов. При анализе будем учитывать следующие параметры одного трехфазного присоединения -  $U, I, P, Q$  - сигналы, характеризующие, соответственно, измеряемые за один период частоты питающей сети значения напряжения, тока, активной и реактивной мощности. Рабочий цикл канала ТИ ограничивается допустимым временем задержки ввода сигналов тока и напряжения  $U, I$  в обрабатывающий центр (ОЦ), равным  $T_{зad\_U,I}$ . Исходя из этого, определим предельное число трехфазных присоединений ( $M_{прис}$ ), информация от которых может быть воспринята каналом ТИ без возникновения очередей на обработку информации в ОЦ [3]:

$$M_{прис} = T_{зad\_U,I} f_c, \quad (3)$$

где  $f_c$  – частота питающей сети. При  $T_{зad\_U,I} = 1$ с и  $f_c = 50$  Гц получим  $M_{прис} = 50$ . Принимая во внимание, что в контуре типового энергообъекта обычно значится 128 каналов ТИ, полученное число  $M_{прис}$  эквивалентно значительно большему числу каналов, поскольку включает по 50 каналов измерения тока, напряжения, активной и реактивной мощности. Авторами получено выражение для расчета средней загрузки ОЦ потоком канала ТИ ( $\eta_{мод\_ст\_ТИТ}$ ):

$$\eta_{мод\_ст\_ТИТ} = \frac{k_2 k_3 M_{прис}}{T_{опр\_ОЦ} k_{ОЦ}} T_m [m_1 m_{2\_i} + 0.5 p_{обр} (m_3 + m_4 + m_5 + 0.5 m_j) + m_6], \quad (4)$$

где  $T_m$  - длительность одного рабочего такта ОЦ;  $m_1$  - среднее число тактов, затрачиваемых на реализацию одной команды процедуры ввода и обработки информации;  $m_{2\_i}$  - среднее число команд, затрачиваемых ОЦ для обработки информации  $i$ -го вида, содержащейся в одной «сгруппированной» посылке, введенной в ОЦ,  $m_3$ ;  $m_4$ ;  $m_5$ ;  $m_6$  - среднее число тактов, затрачиваемых на выполнение команд приостановки, подготовки, анализа и ввода информационного сообщения, соответственно;  $m_j$  - число команд программы обработки информации  $j$ -го вида;  $p_{обр}$  - вероятность того, что ОЦ занят обработкой какой-либо задачи в любом временном сечении;  $k_2$  - число разрядов представления информации в канале ТИ;  $k_3$  - число параметров тока и напряжения, вводимых в ОЦ;  $T_{опр\_ОЦ}$  - принятое время периода между вводами информации в ОЦ.

При подстановке в (5)  $k_2=16$ ,  $T_{опр\_ОЦ}= 1$ с,  $k_3=6$  (три фазных тока и три фазных напряжения);  $m_{2\_i}=10^3 \xi_1 + 10^2(1-\xi_1)$ , где  $\xi_1$  - доля данных ТИ в общем информационном потоке, получим с учетом ранее принятых значений:

$$\eta_{ТИ} = 0.54 \xi_1 + 0.24. \quad (5)$$

Из (5) видно, что загрузка ОЦ становится неприемлемо большой, если  $\xi_1 > 0.15$ , т.е. если доля данных ТИ составляет более 15% суммарного информационного потока, вводимого в ОЦ. Следовательно, для реализации многофункциональной SCADA, включающей модифицированный канал ввода ТИ, ориентированный на «прямые измерения»

параметров электрической сети, необходимо принять дополнительные меры для снижения средней загруженности ОЦ. Авторами был предложен алгоритм ввода информации ТИ в ОЦ, реализация которого позволяет уменьшить его загрузку указанным потоком. Суть разработанного алгоритма состоит в следующем [5]:

- возникающий запрос - требование канала ТИ, распространяется на весь массив данных, который необходимо ввести в ОЦ;
- запрос воспринимается ОЦ при отсутствии запрета на прерывание, когда ОЦ не обслуживает программную секцию ранее поступившего требования, для которой предусмотрена процедура запрета прерывания;
- для поступившего запроса обязательно выполняются процедуры определения вида запроса и его приоритета;
- ОЦ возвращается к обслуживанию прерванного запроса или переходит к обслуживанию нового в зависимости от уровней их приоритетов;
- ОЦ, начавший ввод информации по запросу от канала ТИ, не прекращает его до появления прерывания или автоматически возвращаются к вводу оставшейся части информации по ранее принятому запросу от канала ТИ, если ввод информации был прерван;
- обработка информации производится после завершения ввода всего массива данных;
- при генерации рабочей версии программы работы ОЦ задается число циклов для ввода всего объема данных по одному запросу от канала ТИ.

Блок-схема разработанного алгоритма представлена на рисунке 1. В соответствии с алгоритмом время обработки ОЦ поступившего потока состоит из трех временных компонентов: ввода сигнала прерывания; ввода информационного массива; обработки введенного массива данных. Определим с учетом разработанного алгоритма среднюю относительную загрузку ОЦ потоком канала ТИ -  $\eta_{ТИ}$ .

$$\eta_{ТИ} = \frac{T_m}{T_{опр\_ОЦ} k_{ОЦ}} [0.5 p_{обр}(m_3 + m_4 + m_5 + 0.5 m_j) + \frac{T_m}{T_{опр\_ОЦ} k_{ОЦ}} M_{нриск} k_2 k_3 m_6 + + \frac{m_1 T_m}{T_{опр\_ОЦ} k_{ОЦ}} M_{нриск} k_2 k_3 m_{2\_i} )] = \frac{T_m}{T_{опр\_ОЦ} k_{ОЦ}} [0.5 p_{обр}(m_3 + m_4 + m_5 + 0.5 m_j) + + M_{нриск} k_2 k_3 (m_6 + m_1 m_{2\_i})]. \quad (6)$$

Подставляя числовые значение в (6), получаем:  $\eta_{ТИ} = 0.54 \xi_1 + 0.12$ .

Сопоставляя выражения (6) и (5), получим коэффициент снижения загрузки ОЦ потоком ТИ при использовании разработанного алгоритма ввода информации в ОЦ ( $k_{сн\_инт}$ ).

$$k_{сн\_инт} = \eta_{ТИ} / \eta_{ТИ1} = (0.54 \xi_1 + 0.24) / (0.54 \xi_1 + 0.12). \quad (7)$$

Среднестатистическая для данного типа сигналов величина  $\xi_1 = 0.15$ , тогда, подставляя  $\xi_1 = 0.15$  в полученные ранее выражения, получаем  $k_{сн\_инт} \approx 1.51$  и  $\eta_{ТИ1} \approx 0.2$ . Следовательно,

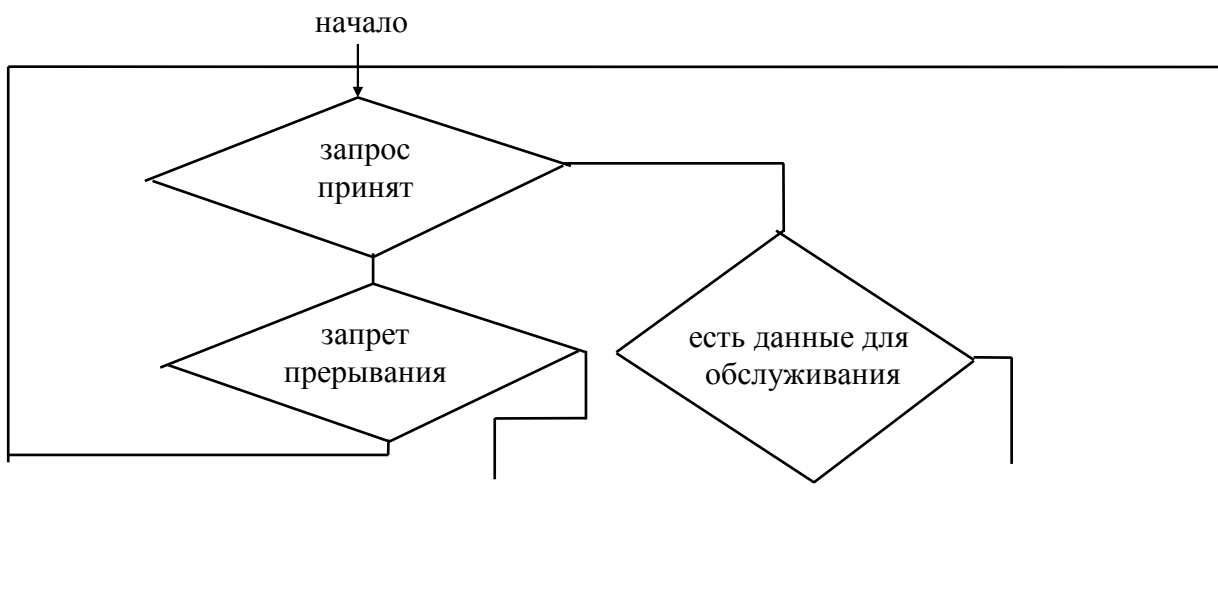
благодаря разработанным принципам ввода информации в ОЦ, его загрузка потоком ТИ снижается почти в 1.5 раза.

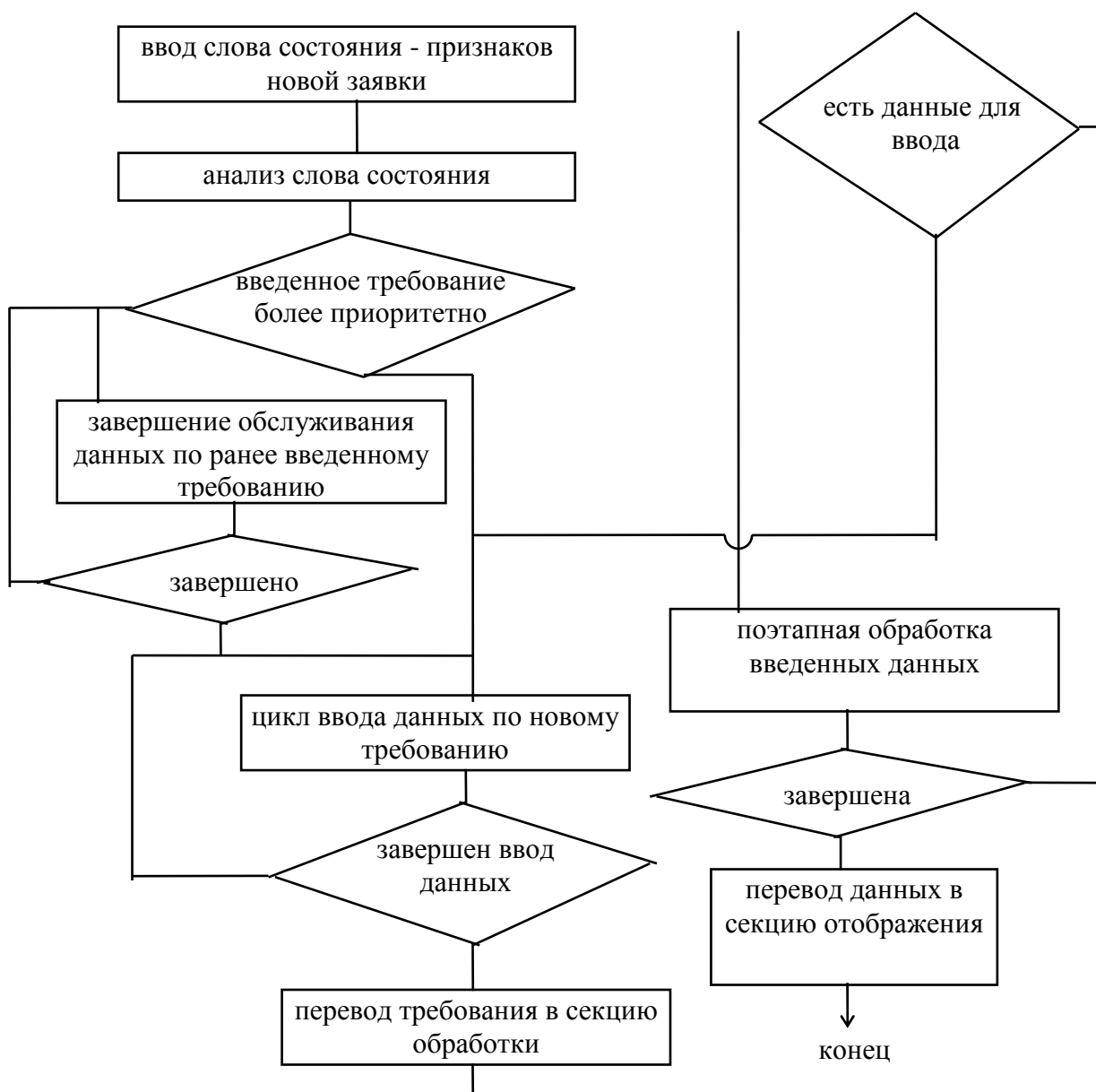
Оценим интенсивность потока канала ТИ. Будем считать, что информация, соответствующая действующим значениям тока и напряжения, передается в ОЦ только при отклонении текущих значений по сравнению с переданными ранее на величину, большую установленного предела. Такой спорадический подход к передаче вполне допустим, так как основная информация ТИ - значения активной и реактивной мощности, также определяются на КП, а не рассчитываются в ОЦ по полученным значениям  $I$ ,  $U$  и  $\cos\varphi$ . Рассчитанные данные значений  $P$  и  $Q$  необходимо передавать периодически при времени цикла, как правило, не более 3 мин (среднестатистическое значение), что обеспечивает возможность фиксации в ОЦ пиковых значений мощности. Периодические контрольные передачи данных значений  $U$  и  $I$  теряют смысл, т.к. работоспособность модифицированного канала ТИ определяется по периодически передаваемым значениям  $P$  и  $Q$ . С учетом сказанного, среднюю интенсивность передачи ТИ по каналам связи можно представить выражением:

$$\lambda_{\text{мод\_ТИ}} = \frac{2M_{\text{прис}}N_{\text{нос\_ТИ}}P_{\text{пер\_ТИ}}}{N_{\text{нос\_КС}}T_{\text{опр\_U,I}}} + \frac{2M_{\text{прис}}N_{\text{нос\_ТИ}}}{N_{\text{нос\_КС}}T_{\text{пер\_P,Q}}}, \quad (8)$$

где  $N_{\text{нос\_ТИ}}$  (байт) - длина сообщения, содержащего данные одного измеряемого параметра;  $N_{\text{нос\_КС}}$  (байт) - максимальная длина сообщения;  $p_{\text{пер\_ТИ}}$  - вероятность передачи сообщения;  $T_{\text{опр\_U,I}}$  - время одного цикла опроса параметров  $U$ ,  $I$  по всем трехфазным присоединениям (коэффициент 2 учитывает, что контролируется по два параметра –  $P$  и  $Q$ , для каждого присоединения);  $T_{\text{пер\_P,Q}}$  - время одного цикла передачи значений активной и реактивной мощности.

При  $M_{\text{прис}} = 50$ ;  $N_{\text{нос\_ТИ}} = 3$  байт;  $N_{\text{нос\_КС}} = 30$  байт;  $p_{\text{пер\_ТИ}} = 10^{-2}$ ;  $T_{\text{опр\_U,I}} = 1$ с;  $T_{\text{пер\_P,Q}} = 180$ с получаем  $\lambda_{\text{мод\_ТИ}} \approx 0.15 \text{ с}^{-1}$ . Опуская промежуточные расчеты, определяем вероятность отсутствия очереди при обработке модифицированного потока ТИ  $P_{\text{ТИ}} \approx 0.95$  и среднее время ожидания обработки одного сообщения ТИ-  $T_{\text{ТИ}} \approx 0.29$  с.





*Блок-схема алгоритма работы ОЦ с каналом ТИ.*

### Список литературы

1. Баин А.М., Каунг Сан, Портнов Е.М. Анализ интенсивности аварийных потоков в многофункциональных системах диспетчерского управления // Наукоеведение : интернет журнал. – 2014. - № 3. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/11TVN314.pdf>.
2. Баин А.М. Способ прямых измерений параметров распределительных электросетей // Естественные и технические науки. - 2012. - № 3. - С. 240-241.
3. Баин А.М., Касимов Р.А., Портнов Е.М., Чумаченко П.Ю. Модель информационных потоков многофункциональной системы управления энергообеспечением // Оборонный

комплекс – научно-техническому прогрессу России [М. : ФГУП «ВИМИ»]. - 2012. - № 3. - С. 17-22.

4. Баин А.М., Портнов Е.М. Методика синтеза многофункциональных систем управления энергообеспечением. XXXVIII Международная конференция «Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе» // Труды конференции. - Украина, Крым, Ялта-Гурзуф, 2012. - С. 154-157.

5. Баин А.М., Чжо З.Е., Касимов Р.А. Методика снижения интенсивности информационных потоков интегрированных информационно-управляющих систем в энергетике // Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. - 2013. - № 3 (119). - С. 33-37.

6. Портнов Е.М., Слюсарь В.В. Энергосберегающие комплексы повышенной достоверности // Оборонная техника. - 2012. - № 4-5. - С. 12-16.

7. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений. – М. : Мир, 1990. – 535 с.

8. Метрология и радиоизмерения : учебник [для вузов] / под ред. В.И. Нефедова. – М. : Высшая шк., 2003. – 526 с.

9. Портнов Е.М. К вопросу создания интегрированных информационно-управляющих систем в энергетике // Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. - 2011. - № 4. - С. 77-80.

#### **Рецензенты:**

Лисов О.И., д.т.н., профессор кафедры «Информатика и программное обеспечение вычислительных систем» Национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва;

Гагарина Л.Г., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Информатика и программное обеспечение вычислительных систем» Национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва.