

УДК 004.6

doi: 10.26102/2310-6018/2019.24.1.027

А.А. Соколов, А.П. Тюков, М.В. Щербаков, Т.А. Яновский  
**МНОГОУРОВНЕВАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ  
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В  
РЕСУРСОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ПРОИЗВОДСТВ**

*ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»  
Волгоград, Россия*

*В данной статье рассматривается проблема обеспечения информацией об объемах потребления и о процессах распределения энергоресурсов на промышленном машиностроительном предприятии лиц, принимающих решения об объемах закупок энергоресурсов и ведущих учёт их потребления. Целью данного обеспечения является повышение точности планирования будущих расходов энергоресурсов и поддержка принятия решений при оценке окупаемости внедряемых энергоэффективных технологий для минимизации объемов потребления энергоресурсов. Данная проблема решается за счёт использования комплексного решения. Представлена архитектура данного решения, которая включает в себя: (1) модель распределения энергоресурсов на предприятии, (2) метод синтеза топологии сети сбора и передачи данных для оперативной реализации процесса сбора данных с целью дополнения модели недостающими данными, (3) метода оценки качества данных на основе деревьев решений, а также (4) метода поддержки принятия решений при выборе нового оборудования для внедрения, позволяющего снизить затраты энергоресурсов. Прототип предлагаемого решения, реализующего предложенную архитектуру, апробирован на Волгоградском метизном заводе и на других предприятиях.*

**Ключевые слова:** архитектура системы энергетического менеджмента, поддержка принятия решений, энергетический менеджмент, энергоэффективность, промышленность, сбор данных

### **Введение (Introduction)**

Промышленное предприятие с дискретным производством — это крупный потребитель энергетических ресурсов, таких как электроэнергия, холодная и горячая вода, природный и сжиженный газ, натуральное топливо и пар разных параметров, сжатый воздух, различные химические и смазочно-охлаждающие вещества и др. Они необходимы для выполнения технологических процессов производства продукции и обеспечения работы подразделений предприятия. Процесс обеспечения энергоресурсами осуществляется ресурсобеспечивающими системами производства. Реализация мероприятий по внедрению энергоэффективных технологий с целью снижения объемов потребления энергоресурсов ведет к повышению

энергоэффективности предприятия и снижению себестоимости производимой продукции.

Себестоимость единицы продукции является важным показателем современного промышленного производства. Доля энергетических ресурсов в себестоимости промышленных предприятий, в частности машиностроительных, составляет от 4% до 20%. При этом тарифы на энергоресурсы растут, и поддерживается направление экономного использования энергоресурсов, как на уровне руководства предприятий, так и государства. В условиях жесткой конкуренции снижение себестоимости выпускаемой продукции является одним из стратегических направлений развития промышленных машиностроительных предприятий, в рамках которого на них внедряются системы энергетического менеджмента (СЭМ) [1], которые входят в системы умного производства (Smart Manufacturing Systems) [2, 3].

Несмотря на предпринимаемые в отдельных отраслях попытки ограничить многообразие создаваемой аппаратуры, производители продолжают развивать различные технологии, интерфейсы, архитектуры, протоколы и продвигать собственные сетевые решения. Они используются для связи средств измерения потребления энергоресурсов и другого оборудования с инструментами контроля и управления технологическими процессами. Несогласованность производителей промышленного оборудования, их различный подход к обеспечению информационного доступа к своим продуктам, делает процесс объединения в сеть промышленных устройств зачастую более сложным, чем объединение в сеть персональных компьютеров [4]. Таким образом, на данный момент не существует единственного универсального способа наладить связь между сервером и средствами измерения потребления энергоресурсов. Либо это является корпоративным секретом организаций, осуществляющих подобную деятельность.

Разработка систем интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в ресурсообеспечивающих системах промышленных производств в настоящее время проводится на основе устоявшихся методик, отличающихся отсутствием системного подхода. На практике часто можно встретить недостаточно корректные технические требования. Следует отметить, что при постановке задач не всегда учитываются особенности самого объекта мониторинга. Вся информация, предоставляемая заказчиком разработчику, является не систематизированной и явно избыточной, что усложняет формализацию задачи и необозримостью всего проекта [5].

Например, разработчики информационно-измерительных систем учета тепловой энергии в России, как правило, проектируют систему под какой-либо один тип теплосчетчиков, который обычно производится самим разработчиком интеллектуальных измерительных систем, что предполагает автоматический выбор приборов учета от того же производителя. Это не всегда приемлемо, так как установка приборов учета по городам в основном производилась разными организациями и в разное время, соответственно, в отдельно взятом городе имеется целый парк оборудования, несовместимого между собой [6].

Аналогичная технология представлена в разработанной в [7] СЭМ предприятия, которая имеет значительное количество точек сбора данных, распределенных по производственным, технологическим и прочим участкам измерения. Данная СЭМ получает необходимые данные через локальную сеть предприятия. Преимущества данного решения заключаются в гибкости формирования сети и легкости добавления новых узлов. Их недостатком является требование к покрытию здания локальной сетью и устройствами для беспроводного или проводного подключения к ней, что не всегда реализуемо на промышленных предприятиях из-за больших размеров цехов и отсутствия инфраструктуры в целом.

Одним из способов получения информации о потреблении энергоресурсов на предприятии является тот, при котором пользователь, передвигающийся пешком по заданному маршруту, получает данные от первичных приборов учета на портативный компьютер, подключенный к переносному радио приемо-передающему устройству. Данное решение не требует проникновения в помещения с установленными приборами учёта, считывание производится в течение нескольких секунд с расстояния 50-200 метров от мест установки счетчиков [1], что выгоднее при больших размерах территорий предприятия, не требует размещения сетей сбора данных, однако имеются затраты на оборудование и на обслуживание системы квалифицированными сотрудниками.

Таким образом, актуальной задачей является поиск новых решений в процессе синтеза архитектуры системы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в ресурсообеспечивающих системах промышленных производств.

## Материалы и методы (Materials and Methods)

Архитектура системы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в ресурсообеспечивающих системах промышленных производств должна учитывать следующие, описанные ниже особенности.

(1) Архитектура должна учитывать особенности модели системы обеспечения ресурсами (COP) предприятия для предоставления исчерпывающей информации о распределении, потреблении и отводе энергоресурсов с учетом структуры и свойств объектов-потребителей предприятия. Эта модель будет использоваться для поддержки принятия решений при устранении их несанкционированного и нерационального расхода.

(2) Архитектура должна включать компоненты автоматизированного расчета себестоимости, производимой на объектах предприятия продукции на основе исчерпывающей информацией о процессе обеспечения энергоресурсами, направлениях и объемах расходования энергоресурсов.

(3) Архитектура должна включать компоненты автоматизированного выявления проблем обеспечения энергоресурсами, таких как несанкционированные или нерациональные расходы энергоресурсов (утечки, отклонения от графика).

(4) Архитектура должна быть построена на принципах оптимального покрытия объектов предприятия средствами измерения потребления энергоресурсов (выявлении недостающих данных и, как следствие, средств измерения).

В соответствии с требованиями была разработана архитектура, схема которой представлена на Рисунке 1. Рассмотрим основные компоненты архитектуры, разделенные по логическим уровням: нижний, средний и верхний.

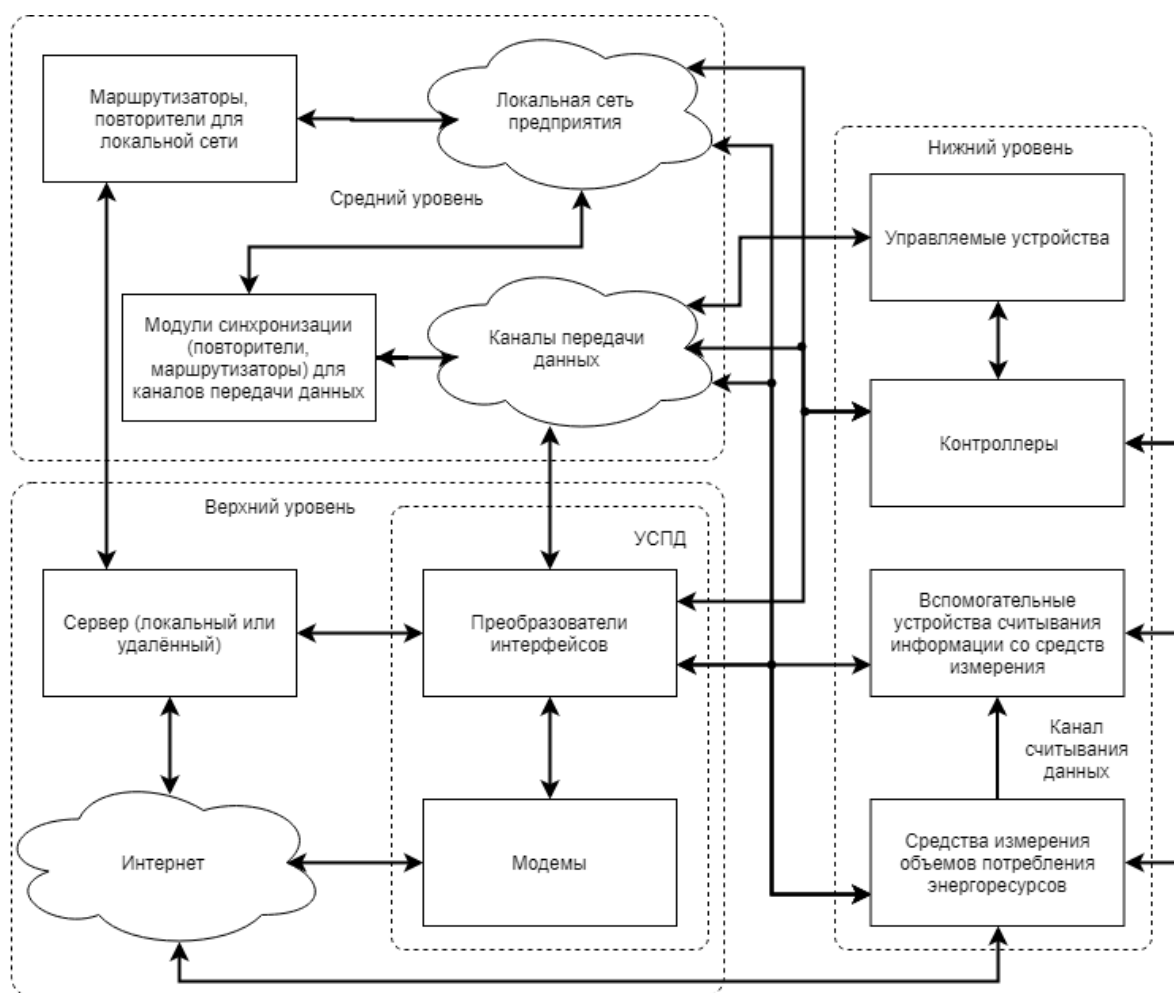


Рисунок 1 – Схема многоуровневой архитектуры системы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в ресурсообеспечивающих системах промышленных производств

На нижнем уровне находятся конечные устройства – оборудование, которое имеет различные цифровые интерфейсы для предоставления собранных и накопленных данных о пройденных (потребленных) объемах энергоресурсов во внешнюю среду или для получения сигналов управляющих воздействий.

Для этого могут использоваться как протоколы RS-485, RS-232, RS-422, последовательный порт и различные сетевые протоколы (Ethernet, Wi-Fi), в случае, когда устройство может взаимодействовать с сервером напрямую через сеть Интернет, так и средства передачи импульсных данных или аналоговых. Управление оборудованием и сбором данных осуществляется с помощью алгоритмов опроса, входящих в состав описанных ниже устройств, и протоколов обмена данными между ними [5]. На данном уровне конечными устройствами являются:

(1) средства измерения - устройства сбора и накопления данных (классические или интеллектуальные счётчики), предназначенные для измерения объемов потребления проходящих через них ресурсов: (электрическая мощность, Вт; расход горячей или холодной жидкости, куб.м./сек.; расход газа, куб. м./сек.; расход тепловой энергии, кал. и т.п.). Им также может являться контроллер - устройство, предназначенное как для непосредственного измерения потребления ресурсов, так и используемое для измерения характеристик производства, например, путём преобразования аналоговых сигналов со множества подключённых к нему датчиков в цифровые, доступные в дальнейшем для передачи и преобразования (температура, град. С.; влажность, %; давление, Па; объем жидкости, куб. м.; вес, кг; уровень заряда аккумулятора, %; и т.п.).

(2) средства управления - контроллеры, устанавливаемые на узлах и агрегатах промышленных объектов с возможностью как удаленного управления и контроля, так и управления в автоматизированном режиме по задаваемым извне алгоритмам, а также сами управляемые устройства (промышленное оборудование, приводы, задвижки, реле, устройства освещения, отопления, вентиляции и т.д.). Они также обеспечивают сбор и первичную обработку информации, поступающей с чувствительных элементов подключаемых датчиков обратной связи.

Средний уровень включает в себя средства обмена различной информацией между компонентами системы. Здесь данные передаются проводным (например, по LAN-сетям, шинам RS-485) или беспроводным путём (по радиоканалам ZigBee, Bluetooth и радиоканальным системам, работающим в диапазонах 2,4ГГц, 433/868 МГц [8]). В данный уровень входят:

(3) каналы передачи данных, которые могут быть проводными или беспроводными. Это среда распространения сигналов, причём в данной работе рассматриваются канал проводной связи (витые пары) и канал радиосвязи, обеспечивающая передачу данных от конечных устройств к получателям (приемопередатчики, устройства сбора и передачи данных (УСПД) и сервера, см. ниже, и обратно).

(4) приемопередатчики (а также маршрутизаторы, повторители), выполняющие функции отправки данных в каналы передачи, управления межсетевым взаимодействием и расширения радиуса действия каналов (проводные и беспроводные ретрансляторы), увеличивающие дальность передачи данных по каналам, а также позволяющие перейти от одного типа канала передачи данных в другой (например, из проводной связи в беспроводную и наоборот).

**Верхний уровень** включает в себя:

(5) УСПД – программно-аппаратное решения или промышленные модемы (например, фирмы Siemens, IRZ), к которым подключается множество конечных устройств как напрямую, так и через поддерживаемые каналы передачи данных, которые (осуществляя некоторую обработку) передают данные на локальный или удалённый сервер (или от него) с помощью проводного или беспроводного подключения к локальной сети предприятия или сети Интернет. В качестве среды передачи данных используются как беспроводные (Wi-Fi, GSM/GPRS, 3G, 4G/LTE, LPWAN), так и проводные (компьютерные, Ethernet) сети. Причём подразумевается, что предприятие должно находиться в зоне покрытия базовых станций указанных беспроводных сред передачи данных.

(6) серверы баз данных и управления – рабочие станции, которые с помощью развернутого и постоянно работающего на нём программного обеспечения принимают данные от источников, взаимодействуют с контроллерами, осуществляют мониторинг и управление остальными компонентами системы. Сервер может быть двух видов: компьютер, располагающийся на территории предприятия или удалённый сервер, физически располагающийся за пределами предприятия и принимающий данные по сети Интернет.

### **Результаты (Results)**

На основании данной архитектуры разработаны программно-аппаратные решения, предназначенные для получения данных в виде временных рядов о потреблении энергоресурсов на участках и в зданиях Волгоградского метизного завода и Волгоградского алюминиевого завода, сохранения их в базу данных разработанного веб-приложения «Онлайн-платформа энергетического менеджмента» и отличающееся от существующих наличием модульного подхода к процессу сбора и передачи данных. Архитектура одной из таких систем представлена на Рисунке 2. Компоненты архитектуры данной системы были апробированы без установки оборудования со сбором данных ручным способом на базе ГБПОУ «Волгоградский энергетический колледж».

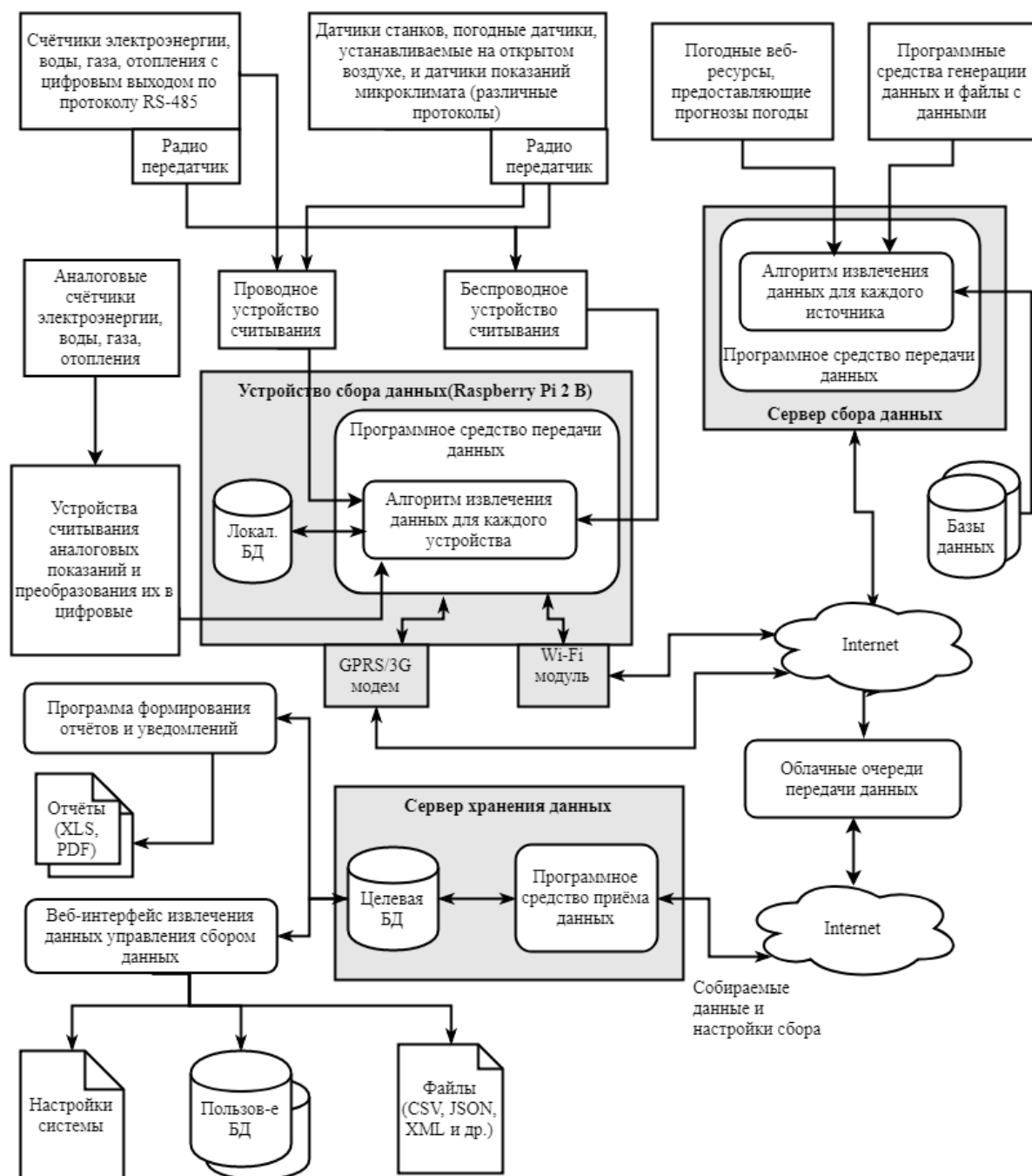


Рисунок 2 - Архитектура программной системы сбора и передачи данных

### Обсуждение (Discussion)

На Волгоградском метизном заводе реализован мониторинг потребления электроэнергии на различных участках метизного, пружинного, шлифовального и других цехов завода, что привело к выявлению источников нерационального расхода энергоресурсов и на



протяжении периода использования системы экономить до 100 000 руб. в месяц. На Волгоградском алюминиевом заводе в результате внедрения системы удалось проанализировать и выявить случаи нерационального расхода воды при ее распределении между потребителями. При апробации компонентов архитектуры на ГБПОУ «Волгоградский энергетический колледж» было выявлено, что внедряя систему с данной архитектурой, руководство учреждения получает исчерпывающую информацию о потреблении энергоресурсов, благодаря чему потенциальная экономия может составить (10-12 % от общего потребления) в год – 1.5 млн. руб.

### **Заключение (Conclusion)**

В статье представлена новая многоуровневая архитектура системы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в ресурсообеспечивающих системах промышленных производств. На основе предлагаемой архитектуры разработаны и внедрены программно-аппаратные решения, предназначенные для получения данных в виде временных рядов о потреблении энергоресурсов на участках и в зданиях предприятия.

Показано, что внедрение решений на основе предлагаемой архитектуры приводит к существенному экономическому эффекту и повышению культуры использования ресурсов.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Троицкий-Марков Т.Е., Сенновский Д.В. Принципы построения системы мониторинга энергоэффективности. Мониторинг. Наука и безопасность. 2011. Т. 4. С. 34-39.
2. С. Chen, M. Lin and C. Liu, «Edge Computing Gateway of the Industrial Internet of Things Using Multiple Collaborative Microcontrollers», in *IEEE Network*, vol. 32, no. 1, pp. 24-32, Jan.-Feb. 2018. doi: 10.1109/MNET.2018.1700146
3. Thomas F. Edgar, Efstratios N. Pistikopoulos, «Smart manufacturing and energy systems», *Computers & Chemical Engineering*, vol. 114, 2018, pp. 130-144, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.10.027>.
4. Пальгов В.Е., «Современные тенденции развития систем автоматического управления и телеметрии в газовой промышленности», ВЕСТНИК ГАЗПРОММАША/под общей редакцией Б.К. Ковалёва/: статьи, доклады,

- сообщения. Ежегодное научно-техническое издание. Выпуск 4. Саратов, 2010. С. 52-57
5. 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
  6. Белоусов Р.А. Масштабная автоматизированная система учета тепловой энергии с использованием технологии передачи данных по GSM/GPRS каналу / Р.А. Белоусов, И.А. Бузиков, Е.М. Фискин, М.М. Фискина // Беспроводные технологии: №1, 2009. - СПб: - С. 42-44.
  7. 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.
  8. Обзор решений, используемых в коммерческих системах учета энергоресурсов для передачи данных в гетерогенных системах связи / И.Ю. Поляков, А.Н. Клименко, Ю.О. Мячочин и др. // Доклады ТУСУРа. – 2017. – Т. 20, № 3. – С. 181–185.

A.A. Sokolov, A.P. Tyukov, M.V. Shcherbakov, T.A. Janovsky  
**MULTILEVEL ARCHITECTURE OF AN INTELLECTUAL  
MANAGEMENT DECISIONS SUPPORT SYSTEM IN RESOURCES  
SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL PRODUCTION**

*Volgograd State Technical University  
Volgograd, Russia*

*This article discusses the problem of providing information about energy resources consumption and distribution at an industrial machine-building plant for decision makers on energy resources procurement that keep records of energy resources consumption. The purpose of the providing is to improve the accuracy of energy resources costs planning and decision-making support in energy efficient technologies choice to minimize energy consumption. This problem is solved by using an integrated solution. The architecture of this solution is presented. It includes: (1) an energy distribution model; (2) a method of synthesis the data collection network topology for fast implementation of the data collection process to supplement the model with missing data; (3) a data quality assessment method based on decision trees; (4) a method of decision-making support in choice of new equipment to reduce energy resources consumption. The prototype of the proposed solution that implements the proposed architecture was tested at the Volgograd hardware plant and other enterprises.*

**Keywords:** architecture of energy management system, decision support, energy management, energy efficiency, industry, data collection

## REFERENCES

1. Troitskiy-Markov T.Ye., Sennovskiy D.V. Printsipy postroyeniya sistemy monitoringa energoeffektivnosti. Monitoring. Nauka i bezopasnost'. 2011. T. 4. S. 34-39
2. C. Chen, M. Lin and C. Liu, «Edge Computing Gateway of the Industrial Internet of Things Using Multiple Collaborative Microcontrollers», in *IEEE Network*, vol. 32, no. 1, pp. 24-32, Jan.-Feb. 2018. doi: 10.1109/MNET.2018.1700146
3. Thomas F. Edgar, Efstratios N. Pistikopoulos, «Smart manufacturing and energy systems», *Computers & Chemical Engineering*, vol. 114, 2018, pp. 130-144, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.10.027>
4. Pal'gov V.Ye., «Sovremennyye tendentsii razvitiya sistem avtomaticheskogo upravleniya i telemekhaniki v gazovoy promyshlennosti», VESTNIK GAZPROMMASHA/pod obshchey redaktsiyey B.K. Kovalova/: stat'i, doklady, soobshcheniya. Yezhegodnoye nauchno-tekhnicheskoye izdaniye. Vypusk 4. Saratov, 2010. С. 52-57
5. Kychkin A.V. Model' sinteza struktury avtomatizirovannoy sistemy sbora i obrabotki dannykh na baze besprovodnykh datchikov // *Avtomatizatsiya i sovremennyye tekhnologii*. - 2009. - №1. - S.15-20
6. Belousov R.A. Masshtabnaya avtomatizirovannaya sistema ucheta teplovoy energii s ispol'zovaniyem tekhnologii peredachi dannykh po GSM/GPRS kanalu / R.A. Belousov, I.A. Buzikov, Ye.M. Fiskin, M.M. Fiskina // *Besprovodnyye tekhnologii*: №1, 2009. - SPb: - S. 42-44.
7. Kychkin A.V. Dolgosrochnyy energomonitoring na baze programmnoy platformy OpenJEVis // *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotekhnika, informatsionnyye tekhnologii, sistemy upravleniya*. - 2014. - № 1 (9). - S. 5-15.
8. Obzor resheniy, ispol'zuyemykh v kommercheskikh sistemakh ucheta energoresursov dlya peredachi dannykh v geterogennykh sistemakh svyazi / I.YU. Polyakov, A.N. Klimenko, YU.O. Myakochin i dr. // *Doklady TUSURa*. – 2017. – Т. 20, № 3. – S. 181–185.