

УДК 64.011.5

В.Я. Пак¹, А.А. Сидоров²¹АО «Пермский завод силикатных панелей», Пермь, Россия,²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГРУППЫ КОМПРЕССОРОВ АО «ПЕРМСКИЙ ЗАВОД СИЛИКАТНЫХ ПАНЕЛЕЙ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Рассмотрены аспекты организации системы автоматизированного мониторинга группы компрессоров, предназначенной для точной регистрации и корректирования параметров группы компрессорных установок в целях повышения общей энергоэффективности. Предлагается организовать автоматизированный мониторинг энергетических параметров компрессоров с помощью портативного комплекса удаленной телеметрии VIDA350MC с функцией DataLogger. VIDA350MC – прибор, контролирующий энергетические и производственные данные, соответствует требованиям стандарта систем энергоменеджмента ISO 50001, осуществляет ввод и длительное хранение аналоговых и цифровых значений с большого числа датчиков и регистрирующих устройств. Данные мониторинга импортируются в портал OpenJVis, где проводятся дальнейший анализ и визуализация его результатов. Рассматривается группа из шести поршневых компрессоров с прямым приводом, обладающих высокой надежностью, но не имеющих средств для регулирования выработанного объема сжатого воздуха. В группу компрессоров входят три установки, работающие от высокого напряжения 6 кВ, и три, работающие от напряжения 0,4 кВ. Проанализирована динамика потребления сжатого воздуха и выявлены следующие проблемы, такие как большие излишки сжатого воздуха, нестабильность давления, необходимость ручного управления компрессорами и клапаном сброса излишков сжатого воздуха. Выделены наиболее энергоэффективные пути их решения. Проведены анализ и оценка алгоритма работы группы компрессоров, найдены решения повышения энергоэффективности винтовых компрессоров перед поршневыми. Сделан вывод относительно более эффективного использования энергоресурсов и сокращение излишков с демонстрацией предложенных решений. По результатам мониторинга предложена система эффективного управления группой компрессоров, состоящая из компрессорной установки с частотным управлением, устройства дистанционного управления установки, базы данных и системы мониторинга.

Ключевые слова: компрессор, автоматизация, сбор данных, энергетический мониторинг, OpenJVis, программируемый логический контроллер, VIDA350MC, устройство удаленной телеметрии и управления.

V.Y. Pak¹, A.A. Sidorov¹

¹JSC "Perm factory of silicate panels", Perm, Russian Federation,

²Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ENERGY MONITORING GROUPS COMPRESSORS JSC "PERM FACTORY OF SILICATE PANELS"

This paper describes discusses aspects of the organization of the automated monitoring of multiple compressors, designed for precise registration and correction parameter group of compressor units in order to improve the overall energy efficiency. It is proposed to organize the automated monitoring of energy parameters of the compressor with a portable remote telemetry VIDA350MC complex with the DataLogger function. VIDA350MS – a device controlling the energy and production data, complies with the requirements of the standard for energy management systems ISO 50001, provides input and long-term storage of analog and digital values with a large number of sensors and registration devices. Monitoring data are imported into the portal OpenJEVis, which held further analysis and visualization of the results. We consider the group of six piston direct drive compressors with high reliability, but without the means to regulate the amount of compressed air generated. The group consists of three compressor units operating from the high voltage of 6 kV, and three – working voltage of 0,4 kV. The dynamics of the compressed air consumption and found the following problems, such as large excess compressed air, pressure instability, the need for compressors and manual control valve reset excess compressed air. The most energy-efficient solutions are selected. The analysis and evaluation of the algorithm of the group compressors, found solutions to improve energy efficiency of screw compressors to the piston. The conclusion regarding the more efficient use of energy resources and the reduction of the excess with a demonstration of the proposed solutions. As a result of monitoring, a system of effective management of a group of compressors, consisting of a compressor unit with frequency control, set the remote control device, database and monitoring system.

Keywords: compressor, automation, data acquisition, energy monitoring, OpenJEVis, programmable logic controller, VIDA 350MC, device remote telemetry and control.

Введение. Для достижения экономии и сокращения расходов на энергию крупных технологических объектов промышленных предприятиях необходимо автоматизировать процесс мониторинга и повышать эффективность решений по модернизации оборудования или его настройке [1–3]. С учетом развития законодательной базы и стремления к внедрению стандартов энергетического менеджмента задача повышения энергоэффективности производств как основных потребителей электрической и тепловой энергии в мире стоит особенно остро [4, 5].

Ярким представителем энергоемких производств выступает акционерное общество «Пермский завод силикатных панелей» (ПЗСП) – российская строительная компания, производитель строительных материалов. Сферами деятельности АО ПЗСП являются проектирование, производство и строительство панельных жилых домов и зданий по современной сборно-каркасной технологии, а также производство строительных материалов для возведения многоэтажных и индивидуальных домов.

1. Техническое описание объекта энергопотребления – компрессора ВП-20/8 МУ4. Для технологии производства строительных материалов, а также разгрузки и транспортировки цемента используется сжатый воздух, который производит компрессорная станция предприятия, являющаяся крупным ключевым потребителем электрической энергии [6–8]. На АО ПЗСП компрессоры сочетают в себе две группы по три установки, работающие от высокого напряжения 6 кВ, и три, работающие от напряжения 0,4 кВ.

Воздух из компрессорной поступает в цех производства панелей, цех производства блоков из газобетона, арматурный цех, цех по производству бетона, а также на нужды паровой и водогрейной котельных. Кроме того, сжатый воздух используется на транспорт цемента (рис. 1).



Рис. 1. Схема распределения сжатого воздуха на АО «ПЗСП»

На компрессорной установлены три поршневых компрессора 2ВМ10-63/9 ГОСТ 23680-79 и три малых поршневых ВП-20/8МУ4 ГОСТ 5.28-67, их технические характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики компрессорного оборудования

Модель	Давление воздуха, кг/см ²	Выход, м ³ /мин	Мощн., кВт	Габарит. размеры, мм			Вес, кг
				Д	Ш	В	
2ВМ10-63/9	9	63	400	3500	4400	2840	8810
ВП-20/8 МУ4	8	20	132	2370	1620	2230	3800

Согласно режиму производства в работе находится постоянно один из крупных компрессоров. В связи с этим наиболее целесообразными считаются мониторинг и оптимизация группы малых компрессоров – ВП-20/8МУ4. Компрессор данной группы представляет собой крейцкопфную машину с прямоугольным расположением цилиндров. При

движении поршня в одной из полостей цилиндра первой ступени создается разрежение, под действием которого открываются всасывающие клапаны и газ заполняет цилиндр. При обратном ходе поршня всасывающие клапаны закрываются, в цилиндре происходит сжатие газа, а затем его подача через нагнетательные клапаны. Компрессор снабжен системой автоматического регулирования производительности, автоматической разгрузкой при пуске и остановке, автоматической аварийной защитой, что обеспечивает безопасность работы, удобство обслуживания и требует минимального количества обслуживающего персонала. Внешний вид компрессора приведен на рис. 2.



Рис. 2. Компрессор ВП 20/8 МУ4,
установленный в компрессорной ПЗСП

Охлаждение цилиндров компрессора ВП-20/8 и холодильников осуществляется водой под давлением не более $3,0 \text{ кгс/см}^2$. Смазка цилиндров осуществляется от многоплунжерного насоса. На всасывании компрессора ВП-20/8 ВП20/8 установлен фильтр. В конструкции холодильников 1-й и 2-й ступеней предусмотрено отделение влаги от масла. Это повышает чистоту сжатого воздуха, вырабатываемого компрессором.

Компрессор ВП 20/8 МУ4 оснащен электродвигателем ДСК 12-24-12. Пуск электродвигателя ДСК 12-24-12 состоит из двух этапов: первый

этап – асинхронный набор скорости при отсутствии возбуждения постоянным током и второй этап – втягивание ротора в синхронизм после включения постоянного тока возбуждения. Для возбуждения используют генераторы постоянного тока (имеющие общий вал с двигателем (возбудительный агрегат В-18) либо тиристорные выпрямители (тиристорный возбудитель ВТ22), обеспечивающие более высокую надёжность работы электродвигателя ДСК 12-24-12. В нашем случае на АО ПЗСП используются тиристорные выпрямители. Технические характеристики электродвигателя ДСК 12-24-12 приведены ниже.

Основные технические характеристики
объекта энергопотребления

Электродвигатель ДСК 12-24-12	
Напряжение, В	380
Ток, А	243
Мощность, кВт	132
Скорость вращения, об/мин	500
Частота, Гц	50
Коэффициент мощности	0,9
КПД, %	90,7

2. Мониторинг и анализ энергоданных компрессорного оборудования. В ходе исследования режимов работы на компрессор ВП-20/8 МУ4 был установлен измерительный комплекс VIDA350MC – Scout Case для сбора и анализа данных по потреблению электрической энергии (рис. 3).

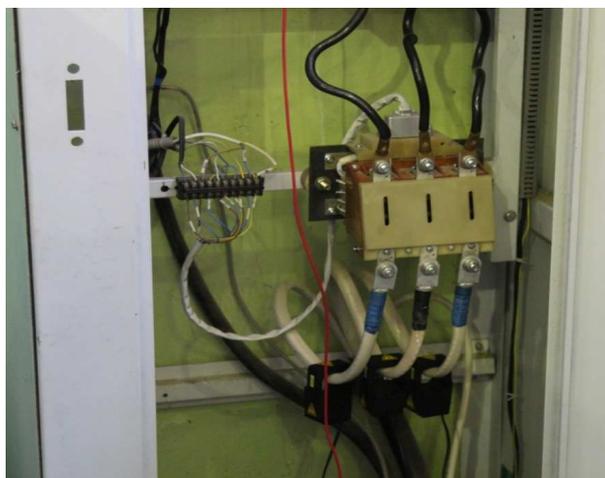


Рис. 3. Подключение трансформаторов тока VIDA350MC к шинам электропитания компрессора

Мониторинг работы компрессора производился с помощью портативного комплекса удаленной телеметрии VIDA350MC в течение нескольких месяцев, основные характеристики прибора представлены ниже. Используя данный комплекс, организуется эффективный мониторинг группы компрессоров в различные периоды времени с целью установления зависимостей в потреблении энергии, расчетов времени простоя и наработки, расчета выработки сжатого воздуха по номинальной производительности и другие задачи [9–11].

Состав и характеристики комплекса VIDA 350MC

Вес	9 кг			
Внешние размеры	Ширина 280 мм; высота 150 мм; длина 360 мм			
Рабочее напряжение	220 В			
Потребление энергии (режим)	Работа: 45 мА	Работа с GSM: 55 мА	Работа с GPS: 60 мА	Работа с GSM/GPS: 70 мА
Температуры	Память: –40 до 90 °С		Операции: –25 до 55 °С	
Внешние интерфейсы	TYCO соединитель		RS232	
	Входные	4 аналоговый (0–10 В) 8 импульсный (12 В)		
	Выходные	4 импульсный (36 В/1,5 А)		
	1-Wire	До 32 датчиков температуры		
	CAN			
	RS485			
	GSM			
	GPRS, поддержка HTTP, FTP			
	16-канальный GPS-приемник	Скорость обновления	NMEA @ 1 Гц	
Точность		DGPS/SBAS	2,5 м CEP	
Стандартный считыватель SIM-карты				
Память	До 32 GB flash-карта, файловая система FAT			

JEVis Scout Case укомплектован счетчиком электрической энергии Gossen Metrawatt U189В и понижающим трансформатором 220/24 В. Счетчик обеспечивает учет электрической мощности в двух тарифных зонах с возможностью импорта/экспорта данных и получение до 30 измеренных значений для переменных в реальном времени. Для связи с внешней информационной системой используется интерфейс Ethernet [12–14].

С учетом измеряемого объема потребления сжатого воздуха и результатов анализа времени наработки компрессоров, установленных на АО ПЗСП, можно провести расчет доли потерь. Возьмем для расчетов объем произведенного и потребленного воздуха за ноябрь месяц 2016 г. (табл. 2):

$$\sum V_{\text{произв}} = 3\,128\,400 \text{ м}^3, \quad \sum V_{\text{потреб}} = 2\,015\,661,76 \text{ м}^3.$$

Таблица 2

Количество произведенного и потребленного воздуха за первую неделю ноября 2016 г.

Дата	V _{произв} , м ³	V _{потреб} , м ³
01.11.2016	86400	41792,91
02.11.2016	108000	69238,13
03.11.2016	123600	87584,69
04.11.2016	120000	82466,38
05.11.2016	109200	82009,44
06.11.2016	120000	79439,31
07.11.2016	111600	77539,44

Зная количество произведенного и потребленного сжатого воздуха, определим объем потерь сжатого воздуха:

$$V_{\text{потерь}} = \sum V_{\text{произв}} - \sum V_{\text{потреб}}, \quad V_{\text{потерь}} = 1\,112\,738 \text{ м}^3.$$

В настоящий момент излишки воздуха стравливаются в атмосферу путем ручного открытия задвижки. Видно, что объем потерь примерно составляет 1/3 от общего произведенного объема воздуха, что обуславливает необходимость анализа и оптимизации режимов.

С учетом результатов мониторинга энергопотребления группы объектов в течение ноября месяца 2016 г. построен график режима работы (рис. 4) [15, 16]. Также построены графики реального расхода воздуха и произведенного и количество издержек сжатого воздуха (по дням) (рис. 5 и 6).

На рис. 5 синим цветом показано количество производимого сжатого воздуха, а фиолетовым – количество потребляемого сжатого воздуха, что наглядно подтверждает наличие постоянного уровня издержек. Исходя из графика (см. рис. 6), можно сделать вывод о целесообразности снижения потерь за счет замены части малых поршневых компрессоров на винтовые с установкой системы автоматического управления заслонкой сброса.

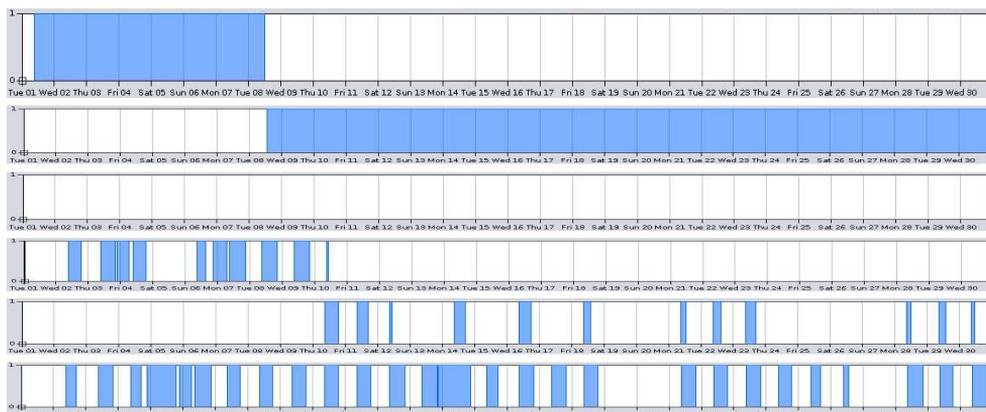


Рис. 4. График работы группы компрессоров: три верхние строки – 2ВМ10-63/9, три нижние – ВП-20/8 МУ4

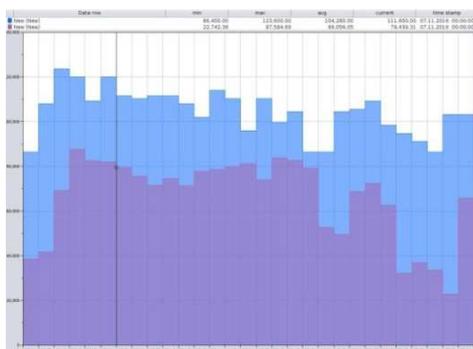


Рис. 5. График реального расхода воздуха и произведенного (по дням)



Рис. 6. Количество издержек сжатого воздуха (по дням)

3. Система эффективного управления группой компрессоров.

Для снижения потерь воздуха и снижения затрат электрической энергии на его производство предлагается заменить часть поршневых компрессоров на винтовые, обладающие возможностью частотного регулирования скорости электропривода. В качестве конкурентоспособного образца компрессора рассмотрим винтовой компрессор ЕКОМАК 132D VST, обеспечивающий автоматическое поддержание давления и регулирование объема воздуха при сопоставимых технических параметрах.

При замене поршневого компрессора ВП-20/8МУ4 на винтовой ЕКОМАК 132D VST получим схему, упрощенный вид которой приведен на рис. 7.

Технические характеристики компрессора ЕКОМАК 132D VST

ТИП	ЕКОМАК 132D VST
Номин. производительность	8,2–23,1 м ³ /мин
Минимальное рабочее давление	4
Максимальное рабочее давление	8
Номин. мощн. приводн. электродвиг.	132 кВт
Тип привода	Прямой
Тип управления	Инверторный
Производитель винтового блока	AERZENER (Германия)
Производитель приводного двигателя	ЕКОМАК(ABB) (Турция)
Габариты (Ш×Д×В)	3185×1650×2000 мм

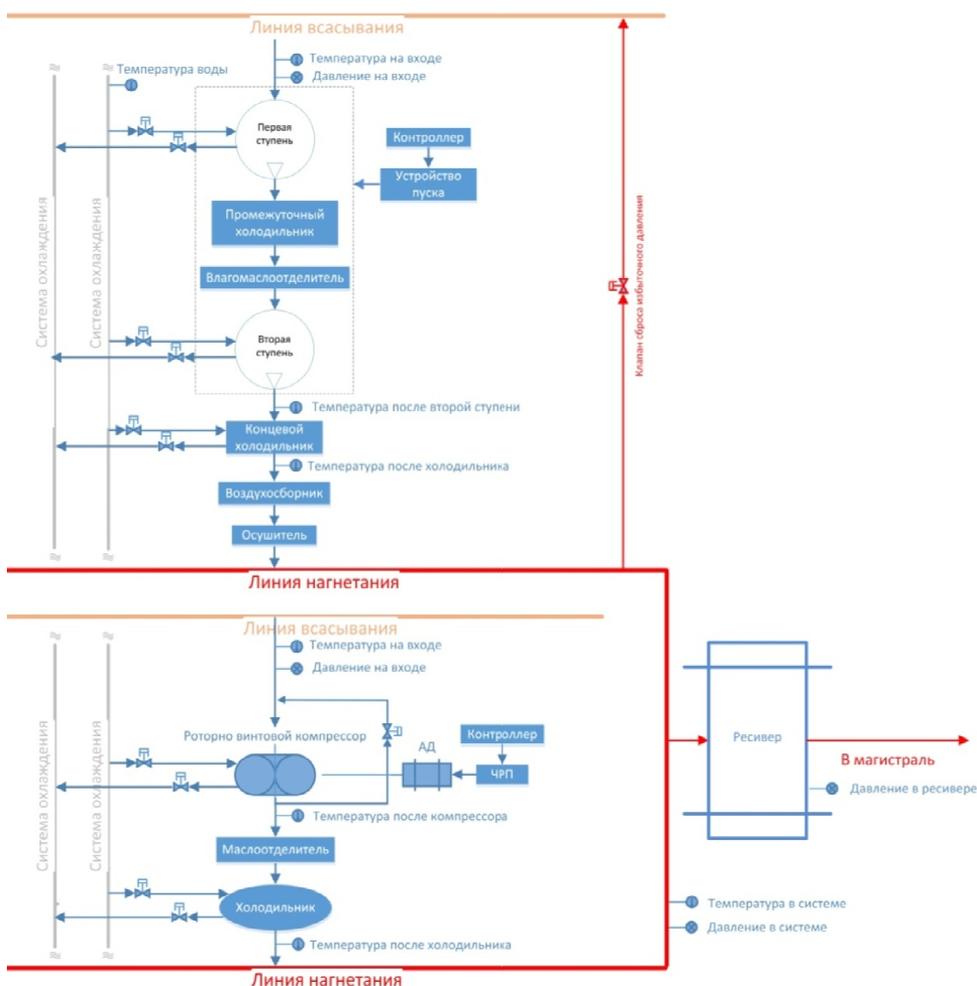


Рис. 7. Поршневой 2ВМ10-63/ и винтовой ЕКОМАК 132D VST9 компрессоры в паре

По графику на рис. 6 также видно, что в дни, когда не работал ни один малый компрессор, излишки воздуха сохраняются. Для их устранения и полной автоматизации компрессорной станции потребуется установка автоматического клапана сброса избыточного давления. Замена большого поршневого компрессора 2ВМ10-63/9 на винтовой ЕКО 315 QD при аналогичных характеристиках не приведет к существенной экономии.

Выводы. Результаты мониторинга показали высокие потери сжатого воздуха, вызванные несбалансированным режимом работы группы компрессоров. Отсюда следует вывод, что замена группы малых поршневых компрессоров ВП-20/8 МУ4 на винтовые ЕКОМАК 132D VST позволит снизить излишки воздуха, что приведет к сокращению расходов на электроэнергию на 45–48 %, а также к более плавному значению давления воздуха в системе. Предложенная автоматизированная система мониторинга режимов работы группы компрессоров планируется к использованию в составе эффективной информационно-аналитической системы управления энергоресурсопотреблением предприятия [17].

Библиографический список

1. Saygin D.W., Patel M.K., Gielen D.J. Global Industrial Energy Efficiency Benchmarking. An Energy Policy Tool: Working Paper/Under the guidance of Pradeep Monga, United Nations Industrial Development Organization. – Vienna International Centre, Austria, 2010. – URL: <http://www.unido.org>. (дата обращения: 22.12.2016).
2. Кычкин А.В. Синтез системы удаленного энергетического мониторинга производства // *Металлург*. – 2015. – № 9. – С. 20–27.
3. Кычкин А.В. Программно-аппаратное обеспечение сетевого энергоучетного комплекса // *Датчики и системы*. – 2016. – № 7(205). – С. 24–32.
4. 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.
5. Новиков В.В. Интеллектуальные измерения на службе энергосбережения // *Энергоэксперт*. – 2011. – № 3. – С. 68–70.

6. Крюков О.В. Анализ и техническая реализация факторов энергоэффективности инновационных решений в турбокомпрессорах // Автоматизация в промышленности. – 2010. – № 10. – С. 50–53.

7. Бабичев С.А., Захаров П.А., Крюков О.В. Автоматизированная система оперативного мониторинга приводных двигателей газоперекачивающих агрегатов // Автоматизация в промышленности. – 2009. – № 6. – С. 3–6.

8. Пужайло А.Ф., Крюков О.В., Рубцова И.Е. Энергосбережение в агрегатах компрессорных станций средствами частотно-регулируемого электропривода // Наука и техника в газовой промышленности. – 2012. – № 2. – С. 98–106.

9. Троицкий-Марков Т.Е., Сенновский Д.В. Принципы построения системы мониторинга энергоэффективности // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2011. – Т. 4. – С. 34–39.

10. Крюков О.В., Степанов С.Е., Титов В.Г. Встроенные системы мониторинга технического состояния электроприводов для энергетической безопасности транспорта газа // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2012. – № 2. – С. 5–10.

11. Крюков О.В. Система и алгоритмы мониторинга приводных электродвигателей газоперекачивающих агрегатов // Компрессорная техника и пневматика. – 2013. – № 6. – С. 8–17.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

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

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

17. Кычкин А.В., Мусихина К.Г., Разепина М.Г. Исследование эффективности создания и внедрения системы энергоменеджмента на промышленном предприятии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – № 1(9). – С. 66–79.

References

1. Saygin D.W., Patel M.K., Gielen D.J. Global Industrial Energy Efficiency Benchmarking. An Energy Policy Tool: Working Paper/Under the guidance of Pradeep Monga, United Nations Industrial Development Organization. Vienna International Centre, Austria, 2010, available at: <http://www.unido.org>. (accessed 22 December 2016).

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

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

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

5. Novikov V.V. Intellekturnye izmereniia na sluzhbe energosberezheniia [Intelligent Measurement on energy saving service]. *Energoekspert*, 2011, no. 3, pp. 68-70.

6. Kriukov O.V. Analiz i tekhnicheskaiia realizatsiia faktorov energoeffektivnosti innovatsionnykh reshenii v turbokompressorakh [Analysis and implementation of innovative technical solutions in energy efficiency factors turbochargers]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2010, no. 10, pp. 50-53.

7. Babichev S.A., Zakharov P.A., Kriukov O.V. Avtomatizirovannaia sistema operativnogo monitoringa privodnykh dvigatelei gazoperekachivaiushchikh agregatov [Automated system for operational monitoring of

the drive motors of gas pumping units]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2009, no. 6, pp. 3-6.

8. Puzhailo A.F., Kriukov O.V., Rubtsova I.E. Energoberezhenie v agregatakh kompressornykh stantsii sredstvami chastotno-reguliruemogo elektroprivoda [Energy saving in units of compressor stations by means of a frequency-controlled electric drive]. *Nauka i tekhnika v gazovoi promyshlennosti*, 2012, no. 2, pp. 98-106.

9. Troitskii-Markov T.E., Sennovskii D.V. Printsipy postroeniia sistemy monitoringa energoeffektivnosti [Principles of energy efficiency monitoring system. Monitoring]. *Monitoring. Nauka i bezopasnost'*, 2011, vol. 4, pp. 34-39.

10. Kriukov O.V., Stepanov S.E., Titov V.G. Vstroennye sistemy monitoringa tekhnicheskogo sostoianiia elektroprivodov dlia energeticheskoi bezopasnosti transporta gaza [Embedded systems for monitoring the technical condition of electric energy security for the transport of gas]. *Energobezopasnost' i energoberezhenie*, 2012, no. 2, pp. 5-10.

11. Sistema i algoritmy monitoringa privodnykh elektrodvigatelei gazoperekachivaiushchikh agregatov [The system and algorithms monitoring driving EGPA]. *Kompressornaia tekhnika i pnevmatika*, 2013, no. 6, pp. 8-17.

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

13. Liakhomskii A.V., Perfil'eva E.N., Kychkin A.V., Genrikh N. Programmno-apparatnyi kompleks udalennogo monitoringa i analiza energeticheskikh parametrov [Hardware-software system for remote monitoring and analysis of energy options]. *Elektrotekhnika*, 2015, no. 6, pp. 13-19.

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

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

16. Kychkin A.V., Mikriukov G.P. Metod obrabotki rezul'tatov monitoringa gruppy energopotrebiteli [The method of processing the results of monitoring groups of energy consumers]. *Energobezopasnost' i energoberezhenie*, 2016, no. 6, pp. 9-14.

17. Kychkin A.V., Musikhina K.G., Razepina M.G. Issledovanie effektivnosti sozdaniia i vnedreniia sistemy energomenedzhmenta na promyshlennom predpriatii [Research of efficiency of creation and implementation of an energy management system at the industrial enterprise]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2014, no. 1(9), pp. 66-79.

Сведения об авторах

Пак Виктор Янович (Пермь, Россия) – заместитель главного энергетика АО «Пермский завод силикатных панелей» (614031, Пермь, ул. Докучаева, 31).

Сидоров Антон Андреевич (Пермь, Россия) – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: sidorov_aa@bk.ru).

About the authors

Pak Viktor Yanovich (Perm, Russian Federation) is a Deputy chief power engineer of JSC "Perm factory of silicate panels" (614031, Perm, 31, Dokuchaeva Str.).

Sidorov Anton Andreevich (Perm, Russian Federation) is a Student Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: sidorov_aa@bk.ru).

Получено 16.02.2017