

Ю.А. Лахов¹, А.В. Фомина², В.М. Балашов³

¹ Завод глубокой переработки нефти ООО «КИНЕФ», Кириши, Россия, ² АО «ЦНИИ «Электроника», Москва, Россия, ³ АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», Санкт-Петербург, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА И СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЧИСТЫМИ ПОМЕЩЕНИЯМИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА STATISTICA NEURAL NETWORKS

В статье предложена система мониторинга процессов энергопотребления чистыми помещениями электроинфраструктуры предприятия производства изделий микроэлектроники. Выполнена классификация базовых технологических операций, осуществляемых в чистых помещениях. Определены основные факторы мониторинга процессов энергопотребления предприятий изготовления микроэлектроники. Проведен сопоставительный анализ различных методик прогнозирования энергопотребления предприятием, специализирующимся на производстве микроэлектроники. Установлено, что системы с нейронными сетями обеспечивают наиболее высокую устойчивость к воздействию внешних и внутренних возмущающих факторов. Предложено решение задачи прогнозирования потребления электроэнергии с использованием программного пакета Statistica Neural Network. Приведены результаты численного моделирования прогнозных и фактических значений энергопотребления чистыми помещениями электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники на основе созданного программного алгоритма.

Ключевые слова: мониторинг, электроинфраструктура предприятия производства микроэлектроники, чистые помещения, нейронные сети.

Для цитирования: Лахов Ю.А., Фомина А.В., Балашов В.М. Применение метода и средств мониторинга процесса энергопотребления чистыми помещениями на основе использования программного пакета Statistica Neural Networks // Радиопромышленность. 2018. № 2. С. 76–79.

Yu. A. Lakhov¹, A. V. Fomina², V. M. Balashov³

¹ Refinery Oil Plant KINEF, Kirishi, Russia, ² Central Research Institute Electronics, Moscow, Russia, ³ Research and Production Enterprise Radar mms JSC, Saint-Petersburg, Russia

APPLICATION OF THE METHOD AND TOOLS FOR MONITORING THE ENERGY CONSUMPTION OF CLEAN ROOMS BASED ON THE USE OF THE SOFTWARE PACKAGE STATISTICA NEURAL NETWORKS

A system of monitoring of power consumption processes in power supply infrastructure of clean rooms at microelectronics manufacturing enterprise is proposed in the article. Classification of basic process operations performed in clean rooms has been completed. The key factors for monitoring of energy consumption processes of microelectronics manufacturing enterprises have been determined. A comparative analysis of various techniques for forecasting of power consumption by an enterprise specializing in microelectronics production has been performed. It is discovered that systems with neural

networks provide the highest resistance against external and internal disturbing factors. A solution of the problem of forecasting of power consumption with the use of Statistica Neural Network software suite is proposed. The results of numerical modelling of predicted and actual values of power consumption by clean rooms of electric infrastructure at microelectronics manufacturing enterprise on the basis of the developed software algorithm are presented.

Keywords: monitoring, electrostructure enterprises in the production of microelectronics, clean rooms, neural networks.

For citation: Lakhov Yu. A., Fomina A. V., Balashov V. M. Application of the method and tools for monitoring the energy consumption of clean rooms based on the use of the software package Statistica Neural Networks. Radiopromyshlennost, 2018, no. 2, pp. 76–79.

DOI 10.21778/2413-9599-2018-2-76-79

Введение

В результате анализа функционирования электроинфраструктуры предприятия производства изделий микроэлектроники было выявлено, что основным в технологической цепочке и наиболее важным элементом энергокластера «потребление» являются чистые помещения. В технологии изготовления микроэлектроники чистые помещения потребляют большое количество электроэнергии. Рядом отечественных ученых, специалистов Японии, Тайваня, США и Европы проведен анализ основных энергопотребителей в чистых помещениях. Непосредственно на производственные процессы в среднем расходуется 40% потребляемой электроэнергии, остальное идет на обеспечение функционирования производства. Система подготовки и транспортировки воздуха потребляет 43%, другие системы, включая освещение, систему подачи ультрачистой воды и т.д., – 17% [1]. Международный стандарт ИСО 14644 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды» и одноименный межгосударственный стандарт ГОСТ Р ИСО 14644 [1] содержат информацию по работам, выполняемым в таких помещениях, и требуемому классу чистоты (таблица).

К производственным помещениям, в которых изготавливаются микроэлектронные изделия, предъявляются повышенные требования по климатическим параметрам, требующие большого объема потребления электроэнергии. Эти требования сформулированы в [1].

Предполагается, что использование меньшего количества энергии для обеспечения того же уровня функционирования в чистых помещениях (без снижения классов чистоты) при технологических процессах изготовления микроэлектроники может существенно изменить энергопотребление, тем самым снизив себестоимость продукта и услуг, эксплуатационные затраты, что в совокупности определяет повышение результативности электроинфраструктуры (ЭИС) микроэлектронного предприятия (МЭП).

Поэтому все более актуальной представляется задача прогнозирования и анализа энергопотребления чистыми помещениями, а также его управления в границах энергокластера «потребление» электроинфраструктуры производства микроэлектроники.

Изменение во времени уровня энергопотребления представляет собой случайный переменный

Таблица. Основные операции, выполняемые в чистых помещениях по классам чистоты

| Класс чистоты по ИСО 14644 | Продукция и работы |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ИСО 1 | – |
| ИСО 2 | Фотолитография и другие критические зоны |
| ИСО 3 | Производство интегральных микросхем с субмикронной геометрией |
| ИСО 4 | Производство интегральных микросхем с расстоянием между проводниками менее 2 мкм |
| ИСО 5 | Асептическое производство инъекционных препаратов, требующее отсутствия микроорганизмов и частиц |
| ИСО 6 | Производство оптических элементов высокого класса, сборка миниатюрных подшипников |
| ИСО 7 | Сборка прецизионного гидравлического и пневматического оборудования, клапанов с сервоприводами, высокоточных механизмов, трансмиссий высокого качества |
| ИСО 8 | Оптическое производство, сборка электронных компонентов, сборка гидравлических и пневматических устройств |
| ИСО 9 | Работы, выполняемые во вспомогательных помещениях-складах прецизионного оборудования, в помещениях для переодевания |

процесс, т.е. функцию, случайным образом зависящую от времени и от внутренних и внешних возмущающих факторов. Энергопотребление в ЭИС МЭП подвержено влиянию основного внешнего фактора – климатических метеоусловий с присутствием им периодическими и случайными изменениями [2].

Энергопотребление – это переменный процесс, в котором основными причинно-следственными факторами являются: суточный режим, климатические условия и режимы технологического процесса. Среди погодных факторов, воздействующих на энергопотребление чистыми помещениями, приоритетным является температура [3]. На данный момент разработано много различных методик для прогнозирования электрической нагрузки. К ним относятся следующие статистические методы: авторегрессия, обобщенное экспоненциальное сглаживание, факторный анализ.

Для прогнозирования факторов могут быть использованы модели временных рядов и регрессионные модели, которые показывают взаимосвязь факторов с внешними возмущающими параметрами ЭИС МЭП.

В настоящее время наиболее перспективным инструментом прогнозирования нагрузки является метод, основанный на нейронных сетях (Statistica Neural Networks). Системы с нейронными сетями удобны и обеспечивают более высокую устойчивость к воздействию возмущающих факторов.

Основным решением, положенным в основу нейронных сетей, является использование существующей выборки данных для расчета параметров функций. Предиктивное определение энергопотребления чистыми помещениями в ЭИС МЭП производят с учетом свойств прогнозируемого процесса. Главная особенность

энергопотребления ЭИС – это периодическая постоянная повторяемость характеризующих их выборок в зависимости от времени (дня недели и месяца). Для численной оценки суточного прогнозирования энергопотребления представлен алгоритм выполнения ретроспективных расчетов с учетом параметров потребляемой электроэнергии, температуры окружающей среды и перетоков электроэнергии в ЭИС МЭП. В качестве исходной информации использованы данные ежедневных отчетов параметров потребляемой мощности, температуры и перетоков электроэнергии (входные значения нейронной сети), а также величины электропотребления (целевые значения нейронной сети). Входные параметры заданы интервально, т.е. для каждого из них задавались минимальные и максимальные значения (доверительный интервал) [3].

Для прогнозирования электрической нагрузки в созданной нейронной сети реализовано шесть входов, по два входа на каждый из входных параметров (минимальный и максимальный для каждого входного параметра). Сеть обучается на архивной информации по мощности, температуре и перетокам электроэнергии. Тест проводится на выборке из данных, которые не применялись в обучающей выборке.

На рис. 1 показан график спрогнозированных значений энергопотребления и фактических данных энергопотребления чистыми помещениями ЭИС МЭП на основе созданного программного алгоритма. Рис. 2 отображает ошибку прогнозирования.

В результате апробации предложенного программного алгоритма при моделировании спрогнозированных и фактических значений энергопотребления чистыми помещениями ЭИС МЭП

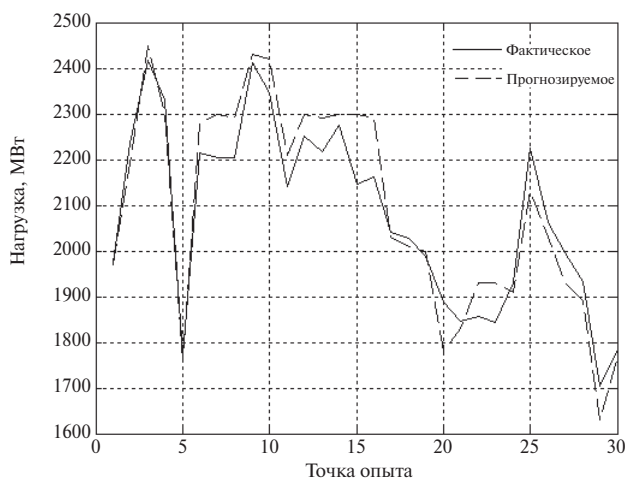


Рисунок 1. Прогнозируемое и фактическое энергопотребление чистыми помещениями

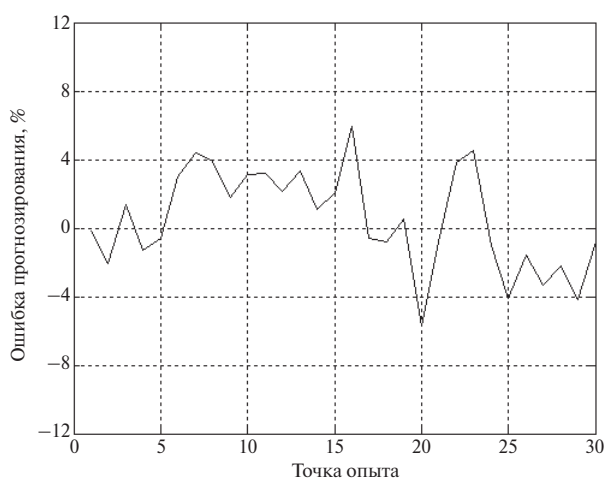


Рисунок 2. Ошибка прогнозирования энергопотребления чистыми помещениями

подтвержден вывод об адекватности поведения сети, в которой средняя ошибка прогнозирования энергопотребления составляет 2,5%.

В результате прогнозирования энергопотребления чистыми помещениями в ЭИС МЭП с отлаженной нейронной технологией, реализованной

в корректно спроектированной и обученной нейронной сети с использованием программного обеспечения Statistica Neural Networks, определяется возможность в обеспечении необходимой точности и скорости прогнозирования потребления энергии чистыми помещениями в ЭИС МЭП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р ИСО 14644. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Ч. 1–5. М.: Издательство стандартов, 2017.
2. Статистический метод мониторинга энергокластера электроинфраструктуры предприятия в условиях концепции Smart Grid / Е.Г. Семенова, Ю.А. Лахов, В.В. Бураков, М.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 10. С. 104–107.
3. Манусов В.З., Бирюков Е.В. Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки на основе нечеткой нейронной сети и ее сравнение с другими методами // Известия Томского политехнического университета. 2006. № 6. С. 153–157.

REFERENCES

1. GOST R ISO 14644. Chistye pomeshcheniya i svyazannye s nimi kontroliruemye sredy [State Standard R ISO 14644. Cleanrooms and associated controlled environments]. P. 1–5. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 2007. (In Russian).
2. Semenova E. G., Lahov Ju. A., Burakov V. V., Smirnova M. S. Statistical method for monitoring the energy cluster of the company's electrical infrastructure in the context of the Smart Grid concept. *Voprosy radiojelektroniki*, 2017, no. 10, pp. 104–107. (In Russian).
3. Manusov V. Z., Biruikov E. V. Short-term load prediction on the basis of fuzzy neural network and its comparison with other methods. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta*, 2006, no. 6, pp. 153–157. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лахов Юрий Александрович, соискатель, инженер АСУЭ, Завод глубокой переработки нефти ООО «КИНЕФ», 187110, Ленинградская обл., Кириши, ул. Восточная, д. 18, тел.: +7 (905) 259-60-36, e-mail: yuristwell@yandex.ru.

Фомина Алена Владимировна, д.э.н., генеральный директор, АО «ЦНИИ «Электроника», 127299, Москва, ул. Космонавта Волкова, д. 12, тел.: +7 (495) 940-65-00, e-mail: instel@instel.ru.

Балашов Виктор Михайлович, д.т.н., профессор, заместитель генерального конструктора, АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»», 197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 37, лит. А, e-mail: balashov_vm@radar-mms.com.

AUTHORS

Lakhov Yuriy, postgraduate student, engineer SCADA, Refinery Oil Plant KINEF, 18, Vostochnaya ulitsa, Kirishi, Leningradskaya oblast, 187110, Russia, tel.: +7 (905) 259-60-36, e-mail: yuristwell@yandex.ru.

Fomina Alena, PhD, CEO, Central Research Institute Electronics, 12, ulitsa Kosmonavta Volkova, Moscow, 127299, Russia, tel.: +7 (495) 940-65-00, e-mail: instel@instel.ru.

Balashov Viktor, Dr, professor, deputy general designer, Research and Production Enterprise Radar mms JSC, 37A, Novoselkovskaya ulitsa, Saint-Petersburg, 197375, Russia, e-mail: balashov_vm@radar-mms.com.