

АРХИТЕКТУРА КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПЛАТФОРМЕ INFLUXDATA

ARCHITECTURE OF THE COMPRESSOR EQUIPMENT CYBER-PHISICAL SYSTEM BASED ON INFLUXDATA PLATFORM

Кычкин Алексей Владимирович

канд. техн. наук, доцент

E-mail: avkychkin@hse.ru

Дерябин Александр Иванович

канд. техн. наук, доцент,

академический руководитель

E-mail: aderyabin@hse.ru

Викентьева Ольга Леонидовна

канд. техн. наук, доцент

E-mail: ovikenteva@hse.ru

Шестакова Лидия Валентиновна

канд. физ.-мат. наук, доцент

E-mail: lshestakova@hse.ru

**Национальный исследовательский университет
“Высшая школа экономики” (филиал), Пермь**

Аннотация: Предложена архитектура киберфизической системы компрессорного оборудования на базе платформы InfluxData, используемой для создания приложений Интернета вещей, состоящей из трех подсистем: подсистемы физического объекта, цифрового двойника и интерфейса. В качестве технической реализации контроллера Интернета вещей предложен измерительно-управляющий модуль на базе устройства сбора, передачи данных и управления — VIDA350. Рассмотрены базовые методы обработки сырых данных со счетчиков энергоресурсов и датчиков технологических параметров, реализуемые в блоках on-line и off-line расчетов. Предложена организация цифрового двойника компрессора с использованием БД временных рядов InfluxDB и реляционной БД PostgreSQL. Для 2D визуализации измерений и графической интерпретации панели управления предложена система Grafana, а также FreeCAD — для визуализации оборудования в 3D.

Ключевые слова: киберфизическая система, архитектура информационной системы, мониторинг и управление, Интернет вещей, цифровой двойник, платформа InfluxData.

ВВЕДЕНИЕ

Большинство крупных предприятий, фабрик и других производственных объектов укомплектованы средствами учета потребления энергии и ресурсов. Анализ энергоучетных данных показывает, что одним из самых дорогих ресурсов на промышленных предприятиях является сжатый воздух. Потребителями сжатого воздуха часто выступают специальные транспортные системы, пневмоприводы станков и оборудования, системы

Kychkin Aleksey V.

Ph. D. (Tech.), Associate Professor

E-mail: avkychkin@hse.ru

Deryabin Alexandr I.

Ph. D. (Tech.), Associate Professor,

Academic Leader

E-mail: aderyabin@hse.ru

Vikentyeva Olga L.

Ph. D. (Tech.), Associate Professor

E-mail: ovikenteva@hse.ru

Shestakova Lidiya V.

Ph. D. (Phys.Math.), Associate Professor

E-mail: lshestakova@hse.ru

**National Research University Higher School
of Economics (branch), Perm**

Abstract: Architecture of the compressor equipment cyber-physical system (CPS) based on the InfluxData IoT platform is proposed. CPS consists of three subsystems: a subsystem of a physical object, a digital twin and an interface. As a technical implementation of the IoT controller, a measuring and control module based on a data acquisition, data transfer and control device — VIDA350. The basic methods of processing raw data from energy meters and sensors of technological parameters, implemented in blocks of on-line and off-line calculations are given. The organization of the digital twin of the compressor using the database of time series InfluxDB and the relational database PostgreSQL. Grafana system and FreeCAD is used for visualization of equipment in 3D.

Keywords: cyber-physical system, information system architecture, monitoring and control, Internet of Things, Digital Twin, InfluxData Platform.

очистки материалов или перемешивания смесей, функционирование которых, как правило, реализуется в асинхронном режиме [1].

Принято считать, что встроенные в компрессоры системы регулирования давления и расхода сжатого воздуха обеспечивают оптимальное потребление электрической энергии. Однако на практике установка винтовых компрессоров с частотно-регулируемым приводом не всегда дает ожидаемый эффект. Это вызвано следующими факторами, обусловленными архитектурой существ-

вующих систем мониторинга и управления компрессорным оборудованием.

- Во-первых, специалисты, ответственные за повышение энергоэффективности, часто затрудняются показать эффект от энергосберегающих мероприятий в аспекте потребления сжатого воздуха, так как отсутствуют необходимые для расчетов данные. Число счетчиков ограничено, а постоянный энергоучет в дополнительных узлах, перечень которых велик, слишком дорог и не слишком рационален.
- Во-вторых, при наличии приборов учета на крупных потребителях энергии специалисты ограничиваются функциями биллинга и статистики работы за выбранный период времени.
- В-третьих, при расширении номенклатуры средств технического учета объем энергетических данных за несколько лет становится настолько большим, что инженерные и энергетические службы организаций не имеют дополнительных временных, человеческих и аналитических ресурсов для постоянной обработки потоков информации о происходящих в пневмосистеме процессах.
- В-четвертых, использование MES (manufacturing execution system — система управления производственными процессами) систем для работы с данными компрессорного оборудования экономически не эффективно.

В связи с этим, актуальной задачей является создание системы с архитектурой, дающей возможность интеграции информационно-вычислительных ресурсов в пневматическую систему предприятия, оснащенную большим числом датчиков и исполнительных механизмов. Такие системы называются киберфизическими (КФС), их компоненты взаимодействуют друг с другом с помощью доступных интерфейсов и сетевых протоколов на основе технологий Интернета вещей (IoT), реализуя обработку больших объемов данных, наглядную визуализацию параметров оборудования, предиктивную аналитику и интеллектуальную адаптацию к изменениям [2, 3].

Различные аспекты построения КФС рассматриваются в ряде публикаций российских и зарубежных авторов. Так, в работе [4] рассматриваются теоретические аспекты методов анализа и проектирования систем мониторинга крупномасштабных объектов: аспектно-ориентированное моделирование сценариев мониторинга, анализ эффективности вычислительных аспектов обра-

ботки событий, инженерия предметной области. В работе [5] проведен анализ применения КФС для энергетических систем, рассматриваются распределенные и облачные системы управления энергопотреблением, дается перспектива киберфизической энергетической системы в области моделирования, оценки и защиты информации КФС.

В работе [6] предлагается прототип интеллектуальной системы хранения и аналитической обработки данных о потреблении электроэнергии. Система разработана с использованием инструментов с открытым исходным кодом, таких как OpenTSDB, Hbase и Hadoop; используется подход облачных вычислений для крупномасштабной аналитики данных интеллектуальных счетчиков. В работе [7] КФС рассматриваются как системы взаимосвязанных физических (источники энергии, линии передачи и распределения и нагрузки) и вычислительных компонентов. Защитные устройства (например, дистанционные реле) в таких системах основаны на жестких пороговых значениях и локальной информации. Зачастую это приводит к игнорированию эффектов системного уровня, которые представлены алгоритмами распределенного управления. И как следствие — к иницированию большого каскада сбоев. Авторы предлагают эффективные модели и инструменты, которые сокращают системные сбои, выполняя их диагностику и прогнозирование.

Авторы работы [8] предлагают архитектуру киберфизической производственной системы для обеспечения адаптивной работы механообрабатывающей линии. С помощью КФС может быть проведен мониторинг износа инструмента и поломки, а также мониторинг шероховатости поверхности.

Эффективное функционирование современных и перспективных пневмосистем промышленных предприятий может быть поддержано только путем непрерывного совершенствования КФС компрессорного оборудования.

СИСТЕМНАЯ АРХИТЕКТУРА КФС КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПЛАТФОРМЕ INFLUXDATA

Предлагаемая архитектура КФС состоит из трех подсистем: подсистемы физического объекта, цифрового двойника и интерфейса.

Для ее построения предлагается использовать свободное программное обеспечение с открытой архитектурой — платформу InfluxData. Эта ин-

формационная система-агрегатор предназначена для создания различных приложений и сервисов на основе технологий IoT путем подключения многочисленных интерфейсов сбора данных, протоколов, поддержки баз данных временных рядов и сторонних программных систем, визуализации. Она может быть представлена в качестве надстройки к существующим системам учета и диспетчерского управления для реализации большого количества аналитических функций, способствующих повышению оперативности и качества оценки энергетической эффективности объектов. Поскольку платформа не специализирована для использования в приложениях КФС в части мониторинга и управления промышленным оборудованием и компрессорами, то потребуется адаптация блоков расчетов и создание уникального цифрового двойника процесса эксплуатации (рис. 1).

В качестве технической реализации контроллера IoT предложен измерительно-управляющий модуль на базе устройства сбора, передачи данных и управления — VIDA350, подключаемый к агенту

сбора данных Telegraf платформы с помощью протокола MQTT [9, 10]. Связь КФС с компрессором реализуется с помощью контроллера Electronikon по протоколу Modbus RTU через коммуникационный модуль MK5Gateway.

Хранилище данных компрессорного оборудования реализуется с использованием БД InfluxDB и реляционной БД PostgreSQL, хранящих сведения об изменении технологических параметров оборудования по времени, показателях энергоэффективности, статистики по авариям и наработке, модели оборудования и др.

Для 2D визуализации измерений и графической интерпретации панели управления предложена система Grafana и для визуализации режимов работы оборудования в 3D — система FreeCAD.

На рисунке представлены следующие блоки платформы InfluxData:

— *Telegraf* — модуль, реализующий сбор данных с устройств, файлов и сторонних БД, в том числе Oracle или Wonderware, и их передачу в БД временных рядов InfluxDB;

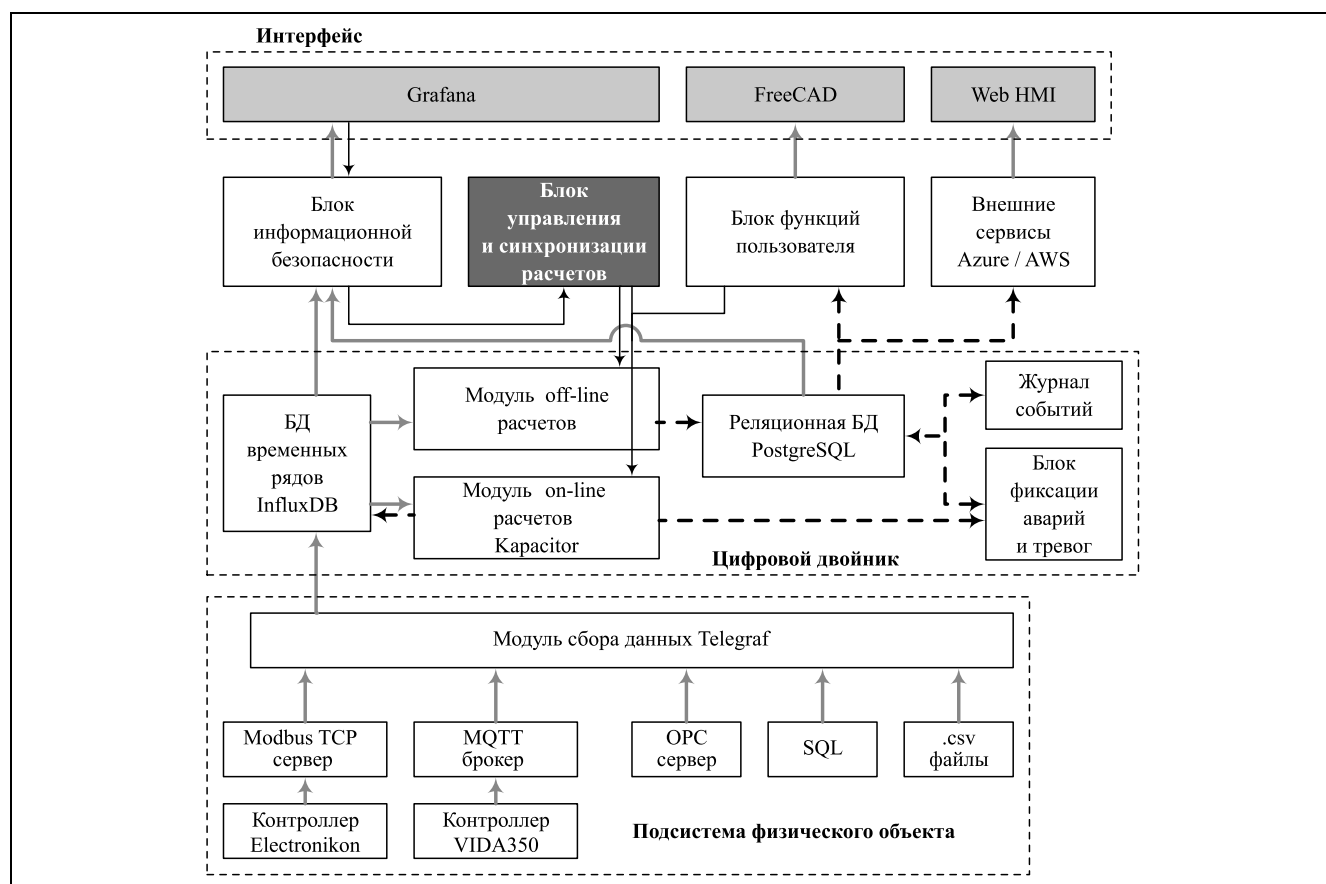


Рис. 1. Упрощенная системная архитектура КФС компрессорного оборудования:

→ — данные; -> — результаты расчетов; —> — команды и подпрограммы пользователя

— *InfluxDB* — база данных временных рядов с открытым исходным кодом, обеспечивающая хранение автоматических измерений параметров компрессоров и их энергопотребление, включая результаты on-line расчетов, с присвоением каждому измерению временной метки;

— *Kapacitor* — модуль, запускающий аналитические подпрограммы и расчетные функции для обработки данных из БД временных рядов *InfluxDB* в потоке;

— *Grafana* — веб-сервер, реализующий человеко-машинный интерфейс визуализации временных рядов с результатами измерений и расчетов, атрибутов компрессорного оборудования, аварий и тревог.

Система работоспособна как в локальной вычислительной сети предприятия, так и при удаленной работе через сеть Интернет. Работа всех компонентов сервера обеспечивается путем запуска нативных бинарных файлов Linux ELF64 под управлением операционной системы Linux. Однако для запуска Linux-совместимых приложений сервера можно использовать специальную подсистему Windows Subsystem for Linux (WSL) — это Hyper-V система аппаратной виртуализации для x64-систем на основе гипервизора. В этом случае в качестве операционной системы должны быть использованы Windows Server 2016 версии RedStone 3 или Windows 10 версии 1607.

КФС представленной архитектуры решает следующее задачи.

Энергомониторинг позволяет собрать данные и визуализировать реальное состояние компрессорного оборудования. В отличие от существующих на предприятиях систем, в предлагаемой КФС источником данных может выступать как система управления компрессором, так и специализированное программное и информационное обеспечение, осуществляющее сбор данных (при наличии открытых интерфейсов) технологического процесса [3, 9].

Модуль *Telegraf* реализует сбор данных с узлов учета электроэнергии, датчиков давления и расхода воздуха на базе концепции промышленного IoT по протоколу MQTT. Устройство сбора данных *VIDA350* реализуют подключение цифровых датчиков давления и расходомеров по токовой петле 4—20 мА с последующей передачей информации по каналам внутренней Ethernet сети, используя технологию *Publisher — Subscriber*. Если этот уро-

вень реализован на предприятии, то используются данные из внешних БД АСУТП/АСУЭ через протоколы OPC или SQL-запросы.

Энергоанализ позволяет дать статистическую оценку результатов энергомониторинга компрессорного оборудования и построить отчеты. Производится решение задач обработки энергоданных в on-line и off-line режимах, в том числе с применением пользовательских функций в виде скриптов на языке Python и применением внешних сервисов виртуальных серверов Azure при необходимости. Производятся следующие математические расчеты [11, 12]:

— сглаживающая фильтрация сигнала потребления электрической энергии (ЭЭ) методом экспоненциального скользящего среднего, представленного в виде выражения:

$$\bar{A}_m = \alpha A_m + (\alpha - 1)A_{m-1},$$

где \bar{A}_m — сглаженное значение профиля нагрузки, A_m и A_{m-1} — смежные значения энергопотребления в единицу времени до сглаживания, α — степень сглаживания в диапазоне от 0 до 1;

— определение отклонения реального потребления ЭЭ от сглаженного значения;

— расчет удельного потребления ЭЭ на единицу объема произведенного воздуха для каждого компрессора и группы компрессоров;

— расчет расхода ЭЭ за различные периоды времени, в том числе за 1-ю, 2-ю и 3-ю смены, выходные и праздничные дни;

— наработка за смену, сутки, неделю, месяц, квартал, год;

— время простоя;

— число включений/отключений;

— удельное потребление ЭЭ на единицу продукции;

— удельные нормы потребления ЭЭ единиц компрессорного оборудования;

— абсолютные нормы потребления ЭЭ единиц компрессорного оборудования;

— оценка суммарных затрат на производство сжатого воздуха в стоимостном выражении;

— оценка эффективности производства сжатого воздуха;

— суммарное потребление ЭЭ по видам компрессоров.

Энергомоделирование позволяет построить эталонную и аналитическую модели энергоэффек-

тивности компрессорного оборудования. Модуль Karasitor реализует расчет показателей работы компрессоров на основе математических моделей с обеспечением ввода-вывода результатов расчета и имитируемых данных в БД InfluxDB в реальном времени [12, 13]. К ним относятся:

- целевая функция, характеризующая удельные затраты ЭЭ на единицу объема сжатого воздуха, которая позволяет оценить зависимость потребления энергии от параметров работы оборудования;

- целевая функция, характеризующая удельные затраты ЭЭ на единицу произведенной продукции;

- математическая модель для расчета мощности компрессора, в которой используется выражение для расчета индикаторной мощности компрессора винтового типа:

$$N_{и} = (kQ)/1000[p_{в}(\varepsilon^{m-1} - m)/(1 - m) + p_{н}(1/\varepsilon)],$$

где $N_{и}$ — мощность винтового компрессора (индикаторная), кВт; k — поправочный коэффициент (от 1,05 до 1,18 в зависимости от размера устройства); Q — производительность при входных условиях, м³/с; $p_{в}$ — давление на всасывании, Па; $p_{н}$ — давление на нагнетании, Па; ε — степень сжатия (геометрическая); m — показатель политропы;

- теоретическое потребление ЭЭ компрессором по его математической модели;

- отклонение теоретического и фактического потребления ЭЭ;

- отклонение теоретического и целевого потребления ЭЭ;

- отклонение целевого и фактического потребления ЭЭ.

Удельные и абсолютные нормы потребления ЭЭ единицами компрессорного оборудования могут определяться в зависимости от режима работы, аварий, сезона, объема производства. В этом случае в систему должен быть загружен плановый месячный объем производства с разделением на смены.

Используя представленную систему, может быть сформирована методика расчета месячного и посуточного плана потребления энергии по компрессорным установкам и группе в целом, также может быть дополнительно произведен расчет оценки влияния факторов на отклонение потребления ЭЭ при сравнении плана и факта.

Для решения задач прогнозирования расхода ЭЭ может применяться аналитический аппарат Azure, включающий в себя технологии машинного обучения на базе нейросетевых моделей распознавания образов [14, 15]. Для обработки профилей нагрузки и выявления паттернов (типовых ситуаций) могут быть применены алгоритмы контурного анализа, реализуемые в блоке функций пользователя.

Применение КФС компрессорного оборудования на базе InfluxData дает ряд преимуществ в сравнении с широко известным аналогом энергоучетного программного комплекса “ЭНЕРГО-СФЕРА 8” (см. таблицу).

Сравнение функциональных возможностей КФС

Сравнительные признаки	КФС на InfluxData	“Энергосфера”
Учет различных видов энергоресурсов	+	+
Обработка первичных данных и предоставление необходимой информации пользователям системы в различных видах	+	+
Учет различных технологических параметров	+	—
Возможность расчета индикаторов энергоэффективности	+	+/-
Вывод пороговых (минимальных и максимальных) значений параметров	+	+
Расчет энергобазовой линии	+	—
Построение целевых функций на основе регрессионных моделей (Targeting)	+	—
Возможность подключения моделей объектов	+	—
Моделирование оборудования в реальном времени	+	—
Гибкая визуализация на основе дашбордов и виджетов	+	—
Расчет норм энергопотребления	+	—
Прогнозирование энергопотребления	+	+/-
Внешний вид интерфейса	Динамичный, поддержка 3D	Статичный, диаграммы

ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ КФС КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

На рис. 2 представлен вариант размещения оборудования КФС на промышленном предприятии.

В систему входит следующее оборудование: две магистрали подачи сжатого воздуха с давлениями в 7,5 и 10 бар; контроллеры “Elektronikon” компрессоров (КМ) Atlas Copco GA-400 — 3 шт.; контроллеры “Elektronikon” компрессоров (КМ) Atlas Copco GA-132 — 3 шт., остальные находятся в резерве; узлы учета (УУ1...УУ6) электроэнергии, потребляемой компрессорами; контроллеры IoT VIDA350 с подключенными датчиками давления и расхода; каналы и каналобразующая аппаратура; преобразователи интерфейса (ПИ) RS-485 <-> Ethernet;

существующая ЛВС предприятия; сервер приложений; рабочие станции инженера и энергетика.

В режиме энергомониторинга в цифровой двойник собирается и выводится при помощи интерфейса объем потребления электроэнергии (ЭЭ) каждым компрессором, объем выработки сжатого воздуха каждым компрессором, рабочее давление в магистралях. При необходимости может выводиться другая технологическая информация, например, объем выпуска продукции.

Визуализация данных компрессорного оборудования в интерфейсе КФС может осуществляться за различный период времени, в том числе сутки / неделя / месяц / квартал / полгода / год (про-

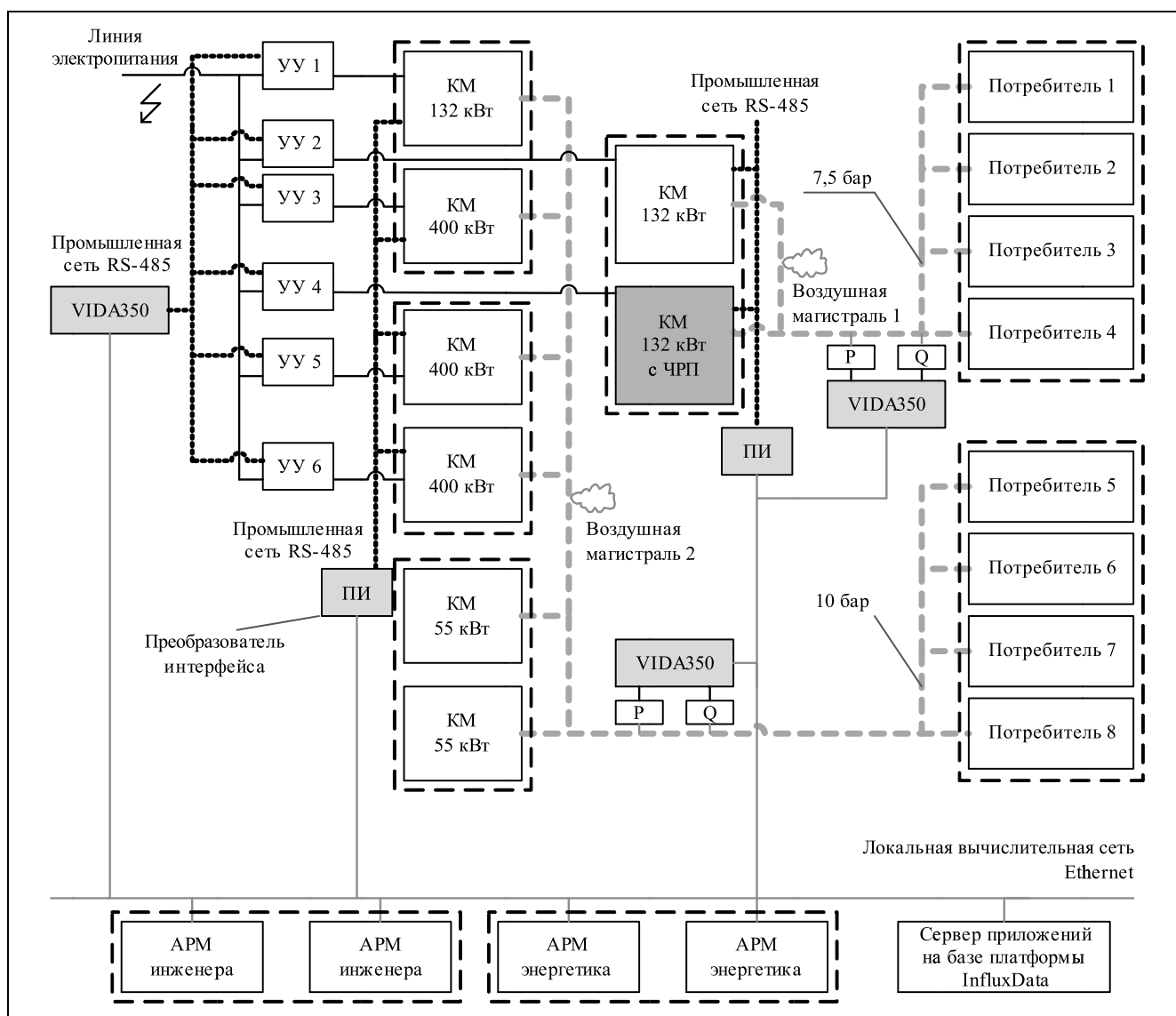


Рис. 2. Схема размещения оборудования КФС

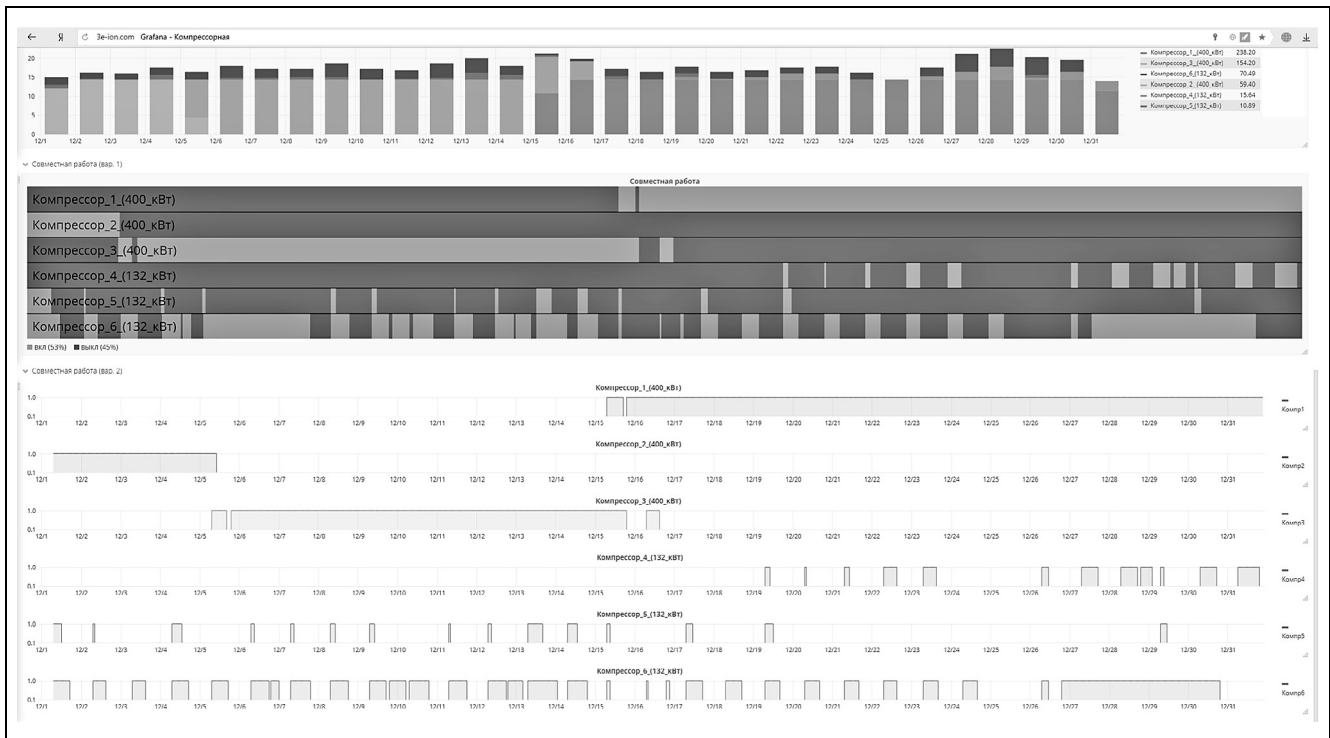


Рис. 3. Внешний вид интерфейса для вывода результатов энергоанализа работы группы компрессоров

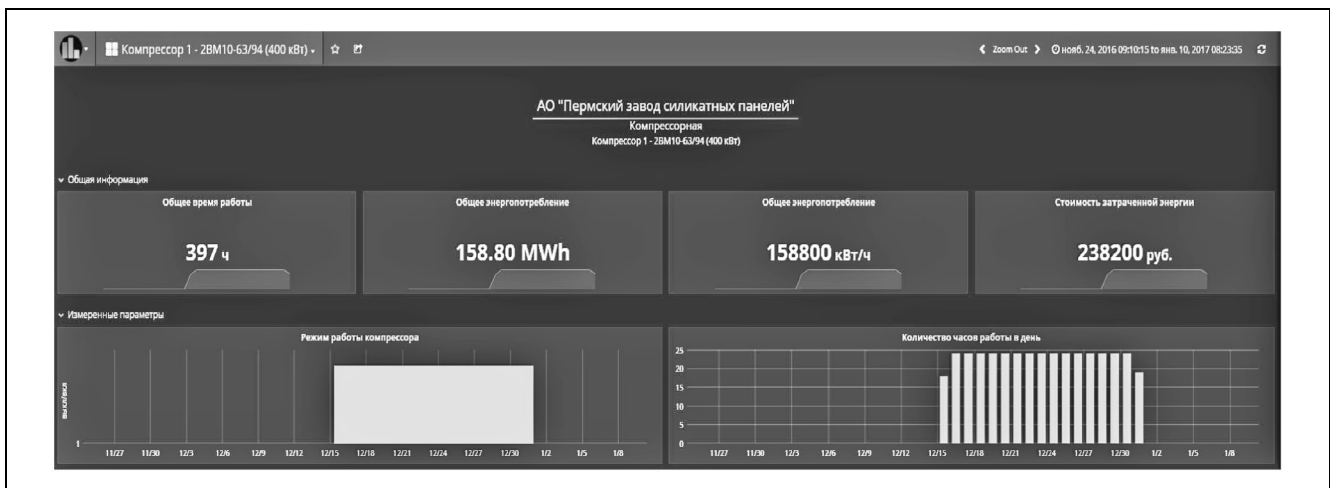


Рис. 4. Интерфейс АРМ энергетика для вывода статистики работы компрессора с использованием темного фона экранной формы

извольный интервал). Внешний вид интерфейса приведен на рис. 3.

В цифровом двойнике производятся математические расчеты, включая фильтрацию и статистический анализ. Результаты выводятся в графическом виде с помощью круговых и столбчатых диаграмм, в том числе с отображением времени наработки / простоев, числе включений, удельных показателей расхода ЭЭ на объем сжатого воздуха и других параметров.

Вся информация обновляется динамически (с периодом 1 с), предусматривается вывод на большой экран или видеостену. Информация может быть выведена как для группы компрессоров, так и для каждой отдельной машины. Реализуется вывод информации с учетом накопления, например общее время работы с начала месяца, может быть построен усредненный профиль нагрузки, а также стоимость затраченной энергии (рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая архитектура КФС позволяет реализовать автоматизированный энергомониторинг, энергоанализ и энергомоделирование в комплексе с помощью применения технологий IoT и цифрового двойника процесса. Такая система позволяет производить оперативный расчет объемов и стоимости потребленной энергии, оценивать объемы утечек воздуха, минимизировать холостой ход путем более точной настройки компрессоров, минимизировать пиковое потребление при вводе запрета на запуск определенных категорий потребителей в заданные часы.

Использование блока аналитических расчетов в составе цифрового двойника позволяет рассчитать нормы энергопотребления единиц компрессорного оборудования и целевые функции на основе нелинейных регрессионных моделей, характеризующих удельные затраты электроэнергии на единицу объема сжатого воздуха или единицу полезной работы (произведенной продукции).

КФС предложенной архитектуры востребована на производстве, поскольку позволяет предприятиям эффективно проводить мероприятия по экономии энергии, сглаживать профили нагрузки, корректно распределять потоки сжатого воздуха, прогнозировать энергопотребление. Разрабатываемая система может применяться для проведения пневмоаудита сотрудниками предприятия самостоятельно.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Крюков О. В.* Анализ и техническая реализация факторов энергоэффективности инновационных решений в турбокомпрессорах // Автоматизация в промышленности. — 2010. — № 10. — С. 50—53. [*Крюков О. В.* Analysis and technical implementation of energy efficiency factors of innovative solutions in turbo compressors // Automation in industry. — 2010. — N 10. — P. 50—53. (In Russian)]
2. *Gubbi J.*, et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions // Future generation computer systems. — 2013. — Vol. 29, № 7. — P. 1645—1660.
3. *Кычкин А. В.* Synthesizing a system for remote energy monitoring in manufacturing // Metallurgist. — 2016. — Vol. 59, N 9—10. — P. 752—760.
4. *Ковалев С. П.* Аспектно-ориентированный подход к проектированию систем мониторинга крупномасштабных объектов // Проблемы информатики. — 2009. — № 3. — С. 5—18. [*Kovalev S. P.* Aspect-oriented approach to the design of monitoring systems for large-scale objects // Problems of Informatics. — 2009. — № 3. — P. 5—18. (In Russian)]
5. *Zhuo Su.*, et al. A future outlook for cyber-physical power system // 2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy

System Integration (EI2). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8245733>.

6. *Prasad S., Avinash S. B.* Smart meter data analytics using OpenTSDB and Hadoop // Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia), 2013 IEEE. — IEEE, 2013. — P. 1—6.
7. *Ajay Chhokra, et. al.* Diagnostics and Prognostics Using Temporal Causal Models for Cyber Physical Energy Systems // 2017 ACM/IEEE 8th International Conference on Cyber-Physical Systems (ICCPs). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7944996>
8. *Jonny Herwan.*, et al. Cyber-physical system architecture for machining production line // 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8387689>
9. *Кычкин А. В., Артемов С. А., Белоногов А. В.* Распределенная система энергомониторинга реального времени на основе технологии IoT // Датчики и системы. — 2017. — № 8—9. — С. 49—55. [*Kychkin A. V., Artemov S. A., Belonogov A. V.* Distributed real-time energy monitoring system based on IoT technology // Sensors and systems. — 2017. — N 8—9. — P. 49—55. (In Russian)]
10. *Кычкин А. В., Дерябин А. И., Викентьева О. Л., Шестакова Л. В.* Архитектура сетевого управляющего комплекса здания на базе IoT-устройств // Датчики и системы. — 2018. — № 5. — С. 32—38. [*Kychkin A. V., Deryabin A. I., Vikentieva O. L., Shestakova L. V.* Architecture of the network control complex of a building based on IoT devices // Sensors and systems. — 2018. — N 5. — P. 32—38. (In Russian)]
11. *Lyakhomskii A. V., Perfil'eva E. N., Kychkin A. V., Genrikh N.* A software-hardware system of remote monitoring and analysis of the energy data // Russian Electrical Engineering. — 2015. — № 86. — P. 314—319.
12. *Кычкин А. В., Микрюков Г. П.* Метод обработки результатов мониторинга группы энергопотребителей // Энергобезопасность и энергосбережение. — 2016. — № 6. — С. 9—14. [*Kychkin A. V., Mikryukov G. P.* Method of processing the results of monitoring a group of energy consumers // Energy Security and Energy Saving. — 2016. — N 6. — P. 9—14. (In Russian)]
13. *Кычкин А. В., Даденков Д. А., Билалов А. Б.* Автоматизированная информационная система полунатурного моделирования статической нагрузки электроприводов // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. — 2013. — № 8. — С. 73—83. [*Kychkin A. V., Dadenkov D. A., Bilalov A. B.* Automated information system for semi-static modeling of static load of electric drives // Bulletin of PNRPU. Electrical engineering, information technology, control systems. — 2013. — N 8. — P. 73—83. (In Russian)]
14. *Викентьева О. Л., Дерябин А. И., Шестакова Л. В., Кычкин А. В.* Синтез информационной системы управления подсистемами технического обеспечения интеллектуальных зданий // Вестник МГСУ. — 2017. — Т. 12, № 10. — С. 1191—1201. [*Vikentieva O. L., Deryabin A. I., Shestakova L. V., Kychkin A. V.* Synthesis of an information system for managing subsystems of technical support of intelligent buildings. Bulletin of MSSU. — 2017. — Vol. 12, N 10. — P. 1191—1201. (In Russian)]
15. *Tao F.*, et al. IoT-based intelligent perception and access of manufacturing resource toward cloud manufacturing // IEEE Transactions on Industrial Informatics. — 2014. — Vol. 10, N 2. — P. 1547—1557.

Поступила в редакцию 09.12.2018
После доработки 09.12.2018
Принята к публикации 10.01.2019