

Модуль экономического анализа – рассчитывает топливные затраты, себестоимость выработанной энергии, окупаемость и коэффициент использования установленной мощности [2].

Имитационная модель когенерационной установки районной больницы представляет собой инструмент комплексного анализа и оптимизации энергоснабжения. Использование современных средств моделирования обеспечивает гибкость, точность и визуальную наглядность. Разработка таких систем способствует повышению энергоэффективности, снижению затрат и улучшению устойчивости критически важных объектов социальной инфраструктуры.

Литература

1. Бурцев, В. М. Имитационное моделирование энергетических систем / В. М. Бурцев. – М. : Энергия, 2023. – 248 с.
2. Шеннон, Р. Э. Имитационное моделирование систем : пер. с англ. / Р. Э. Шеннон. – М. : Мир, 1978. – 418 с.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ И СЕМАНТИЧЕСКОГО ОБОГАЩЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Р. О. Езепенко, Е. Г. Стародубцев

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Предложен программный комплекс на основе семантических технологий для решения проблемы разобщенности данных на промышленном предприятии. Система в реальном времени интегрирует разнородные данные в единую онтологическую модель, выявляет причинно-следственные связи и формирует проактивные оповещения для предотвращения брака и оптимизации производства.

Ключевые слова: семантические технологии, онтологическая модель, интеграция данных, Индустрия 4.0, OPC UA, логический вывод, проактивное управление качеством.

SOFTWARE COMPLEX FOR INTEGRATION AND SEMANTIC ENRICHMENT OF ENTERPRISE HETEROGENEOUS INFORMATION RESOURCES BASED ON ONTOLOGICAL MODELS

R. O. Ezepenko, E. G. Starodubtsev

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

A software complex based on semantic technologies is proposed to solve the problem of data fragmentation in an industrial enterprise. The system integrates heterogeneous data in real-time into a unified ontological model, identifies cause-and-effect relationships, and generates proactive alerts to prevent defects and optimize production.

Keywords: semantic technologies, ontological model, data integration, Industry 4.0, OPC UA, logical inference, proactive quality management.

В условиях перехода промышленной отрасли к концепциям «Индустрии 4.0» суть, которой заключается в «создании киберфизических систем, которые через интернет сервисы обеспечивают сквозную цифровизацию всех физических активов и интеграцию в цифровые процессы» [1], на предприятиях возникают проблемы, свя-

занные с противоречием между избытком данных и дефицитом полезной информации. Внедрение новых технологий приводит к лавинообразному росту информационных ресурсов, потенциал обработки которых остается нераскрытым из-за их семантической несовместимости и изолированности. Это формирует научно-практическую проблему: как интегрировать разнородные данные в единую когерентную модель, способную к автоматическому логическому выводу для предиктивного управления.

Данная работа предлагает решение этой проблемы через создание программного комплекса, основанного на семантических технологиях. Ядром системы является онтологическая модель предметной области, разработанная в среде *Protege* и описывающая все производственные сущности – от станков и датчиков до деталей и операций контроля качества. Модель включает не только таксономию классов, но и систему семантических правил на языке *SWRL*, формализующих производственные знания.

Система способна в реальном времени отслеживать состояние оборудования, выявлять корреляции между параметрами работы станков и качеством продукции, формируя для технологов детализированные оповещения вида: «Обнаружено семантическое правило: «Высокая вибрация» = «Риск брака по шероховатости». Рекомендуется проверить инструмент и закрепительные устройства на станке №15».

Архитектура программного комплекса представляет собой многоуровневую модульную структуру, построенную по принципу разделения ответственности между тремя ключевыми уровнями: уровень данных, семантическое ядро и уровень представления.

На нижнем уровне архитектуры расположен уровень данных, ответственный за подключение к внешним системам предприятия и преобразование сырых данных в единый семантический формат. Этот уровень включает специализированные адаптеры, каждый из которых предназначен для работы с конкретным типом источников информации. Адаптер *OPC UA* реализует клиентскую часть стандарта *OPC Unified Architecture* и обеспечивает подписку на данные с промышленных контроллеров станков и датчиков в реальном времени, преобразуя такие параметры, как вибрация, температура шпинделя и потребляемая мощность, в *RDF*-триплы с использованием терминов предметной онтологии. Параллельно работает адаптер *MES/ERP* систем, который периодически опрашивает *REST API* производственных систем для получения информации о технологических операциях, производственных заказах и характеристиках выпускаемых деталей. Дополнительно задействован адаптер координатно-измерительных машин, который обрабатывает файлы результатов измерений в *CSV* формате, трансформируя данные о контролируемых геометрических параметрах и качестве поверхности в соответствующие *RDF*-представления. Все адаптеры обогащают данные контекстной информацией, включая идентификаторы оборудования и единицы измерения, обеспечивая их семантическую согласованность.

Семантическое ядро системы, построено на основе *GraphDB*. Ядро функционирует как единый пункт интеграции, где разнородные данные, поступившие от адаптеров, преобразуются в связанное знание благодаря загруженной онтологической модели, которая позволяет моделировать сложные домены, представляя знания в виде графа, где узлы – это сущности, а ребра – отношения между ними [2]. База данных выступает не просто как хранилище *RDF*-триплов, а как полноценный механизм вывода, который автоматически применяет правила и ограничения, заданные в онтологии на языке *OWL 2*, и выполняет семантические правила, формализованные на языке *SWRL* [2]. Это означает, что при поступлении новых правил, система автоматически производит логический вывод.

Уровень представления обеспечивает взаимодействие с конечными пользователями системы – операторами и технологами. Ключевым компонентом этого уровня является интерактивный дашборд, который визуализирует текущее состояние оборудования, отображает показания датчиков в реальном времени и предоставляет панель семантических оповещений. Параллельно с веб-интерфейсом функционирует сервис уведомлений, который постоянно мониторит появление в семантическом хранилище новых фактов, указывающих на риски или аномальные ситуации. При обнаружении таких событий сервис выполняет *SPARQL*-запросы с целью сбора полного контекста события и отправляет структурированные уведомления через *Telegram*-бота, что обеспечивает своевременное информирование ответственных специалистов.

В результате проведенного исследования была решена задача по преодолению семантической разобщенности данных промышленного предприятия. Решение было продемонстрировано на примере разработки программного комплекса, который не только устраняет эту проблему, но и обладает возможностью логического вывода новых знаний.

Литература

1. Принципы проектирования сценариев Индустрии 4.0 / М. Герман, Т. Пенте, Б. Вальтер, К. Хомпель // 49th Hawaii International Conference on System Sciences. – Koloa, USA : IEEE Computer Society, 2016. – 928 с.
2. Семантический веб : практ. рук. / Г. Антониоу, П. Грос, Ф. ван Хармелен, Р. Хоекстра. – 2-е изд. – М. : ДМК Пресс, 2023. – 241 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ РЕКУПЕРАЦИИ ОТРАБОТАННОГО ТЕПЛА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Я. А. Поливач, В. И. Токочаков

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Представлена методология проектирования систем рекуперации на основе многопериодической оптимизации с применением смешанного целочисленного линейного программирования (MILP). Метод позволяет учитывать температурные характеристики источников тепла, спрос на рекуперированную энергию, капитальные затраты, финансовые выгоды и сезонную изменчивость.

Ключевые слова: рекуперация тепла, смешанное целочисленное линейное программирование, многопериодическая оптимизация, органический цикл Ренкина, абсорбционные чиллеры, энергоэффективность, промышленная когенерация.

DESIGN OF WASTE HEAT RECOVERY SYSTEMS AT INDUSTRIAL FACILITIES

Y. A. Polivach, V. I. Tokochakov

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This paper presents a methodology for designing recovery systems based on multiperiod optimization using Mixed-Integer Linear Programming (MILP). The method makes it possible to account for the temperature characteristics of heat sources, demand for recovered energy, capital expenditures, financial benefits, and seasonal variability.

Keywords: heat recovery, mixed-integer linear programming, multiperiod optimization, Organic Rankine Cycle, absorption chillers, energy efficiency, industrial cogeneration.