

УДК 004.93:621.311:658.5

93. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОДСТАНЦИЙ: ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СХЕМ В ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ

Сотников А.В., студент гр.272303

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Кириенко Н.А. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. В статье рассматривается задача автоматизации преобразования графических схем электрических подстанций в структурированные информационные модели. Актуальность обусловлена необходимостью цифровой трансформации энергетической отрасли, где значительная часть данных об оборудовании представлена в виде неструктурированных графических документов, что создает барьеры для интеграции с ERP-системами управления активами. Предложена архитектура программного средства, реализующая конвейерную обработку: от предварительной фильтрации изображения до детекции объектов на основе сверточной нейронной сети Faster R-CNN. Разработаны модули распознавания текста и определения топологических связей. Особое внимание уделено интеграции с SAP PM, обеспечивающей автоматизацию ключевых бизнес-процессов: формирования иерархии оборудования, планирования технического обслуживания и ремонта и синхронизации данных между отраслевыми системами и корпоративным контуром.

Ключевые слова. Цифровая трансформация; электрические подстанции; информационные модели; компьютерное зрение; SAP PM; бизнес-процессы; Faster R-CNN.

Введение. Цифровая трансформация энергетической отрасли предполагает создание информационных моделей энергообъектов, интегрированных с корпоративными системами управления. Однако на практике значительная часть схем подстанций представлена в виде графических документов (PDF, DWG), что затрудняет их использование в системах класса ERP. Существующий ручной процесс обработки схем (визуальный анализ, идентификация элементов, ввод данных) характеризуется высокой трудоемкостью (1,5–8 часов на схему), вероятностью ошибок (5–10%) и низкой масштабируемостью.

Особую остроту проблема приобретает в контексте интеграции с модулем SAP PM (Plant Maintenance), который требует наличия структурированных данных об оборудовании для реализации бизнес-процессов технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Отсутствие автоматизированного преобразования графических схем в формат, пригодный для SAP, приводит к разрыву между отраслевыми системами и корпоративным контуром.

Цель работы – снижение временных и трудовых затрат на обработку схем подстанций и повышение качества формирования информационных моделей энергетической инфраструктуры за счет автоматизации процесса их преобразования и последующей интеграции в корпоративные системы на примере SAP PM, что обеспечивает сквозную поддержку бизнес-процессов управления активами.

Основная часть. Анализ деятельности предприятий энергетической отрасли выявил ключевые проблемные зоны в бизнес-процессах, связанных с обработкой схем подстанций. Ручной ввод иерархии оборудования в SAP PM создает высокие трудозатраты и риски ошибок, что сказывается на качестве планирования технического обслуживания и ремонта. Для устранения этих проблем необходимо автоматизировать комплекс взаимосвязанных задач: распознавание элементов оборудования (трансформаторов, выключателей, разъединителей, шин) с определением их координат и типа, извлечение текстовой информации (диспетчерских наименований и параметров), сопоставление текстовых блоков с объектами, определение топологических связей между элементами на основе анализа линий, а также формирование структурированных данных в форматах XML или JSON для последующей интеграции с SAP PM через стандартные интерфейсы Odata, IDoc или BAPI. На рисунке 1 представлен пример исходной нормальной схемы подстанции – типового входного формата данных для разрабатываемой системы.

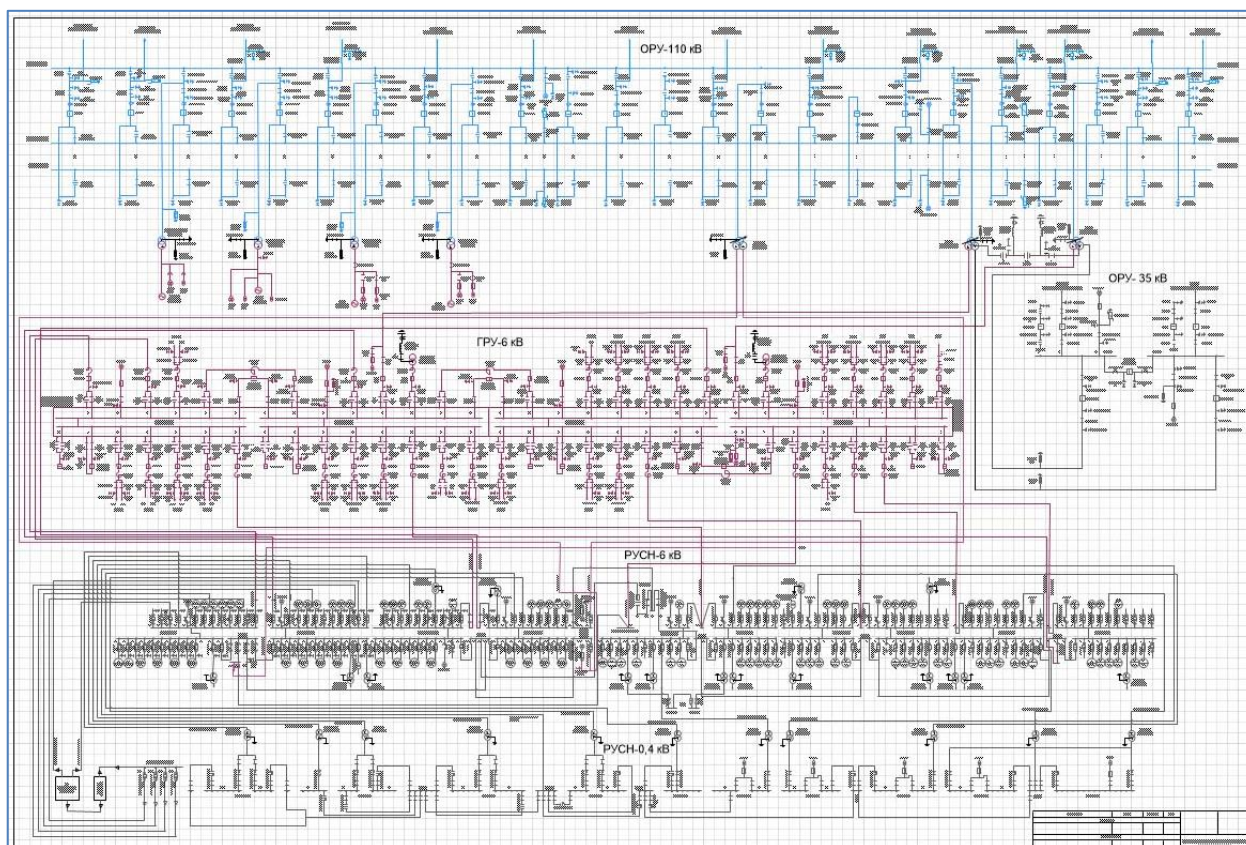


Рисунок 1 – Нормальная схема электрической подстанции

Для решения поставленных задач выбран комплекс методов, представленных в таблице 1. Основой системы является нейросетевая детекция объектов (Faster R-CNN) и последующее восстановление топологии [1].

Таблица 1 – Модули программного средства по автоматизации и интеграции.

Модуль	Используемый метод	Обоснование выбор
Предварительная обработка изображений	Гауссово размытие, бинаризация, алгоритм Канни	Снижение шумов и выделение четких контуров объектов для улучшения работы нейросетей.
Детекция и классификация оборудования	Сверточная нейросеть Faster R-CNN (PyTorch)	Высокая точность обнаружения объектов ($F1 > 0,9$) и отличная масштабируемость для различных типов оборудования.
Распознавание текста	Tesseract OCR (LSTM)	Эффективная поддержка русского языка и открытая лицензия, что снижает затраты на разработку.
Сопоставление текста с объектами	Евклидово расстояние между центрами рамок	Простота реализации алгоритма при сохранении достаточной точности для связки меток с оборудованием.
Определение связей	Преобразование Хафа + графовый анализ	Устойчивость к искажениям линий на схемах и возможность построения логической структуры соединений.
Интеграция с SAP PM	OData/IDoc/BAPI, XML/JSON форматы	Использование стандартных интерфейсов SAP для надежной передачи данных в систему ТОиР.

Для извлечения диспетчерских наименований используется система оптического распознавания символов Tesseract OCR. Сопоставление текстовых блоков с распознанными объектами выполняется по минимальному евклидову расстоянию между геометрическими центрами ограничивающих рамок [2]. Данная метрика вычисляется по формуле 1:

$$d = \sqrt{(x_{text} - x_{obj})^2 + (y_{text} - y_{obj})^2}, \quad (1)$$

где d – евклидово расстояние между центрами рамок, px ; x_{text} , y_{text} – координаты центра текстового блока, px ; x_{obj} , y_{obj} – координаты центра распознанного объекта, px .

При пересечении рамок расстояние принимается равным нулю, что обеспечивает надежное связывание.

Ключевым аспектом разработанного решения является интеграция с модулем SAP PM. Сформированная информационная модель преобразуется в XML-формат, совместимый с SAP. Возможны три механизма передачи данных: OData-сервисы (REST/JSON) для SAP S/4HANA Cloud, IDoc для пакетной загрузки, BAPI для программного создания объектов Equipment и Functional Location. На рисунке 2 представлена наглядная схема функционального модуля SAP PM (Техническое обслуживание и ремонт) и его взаимосвязь с другими модулями системы SAP, которые позволяют схемам энергообъектов участвовать в ключевых бизнес-процессах предприятия при интеграции с разработанным программным средством по автоматизации преобразования схем в информационные модели [3].

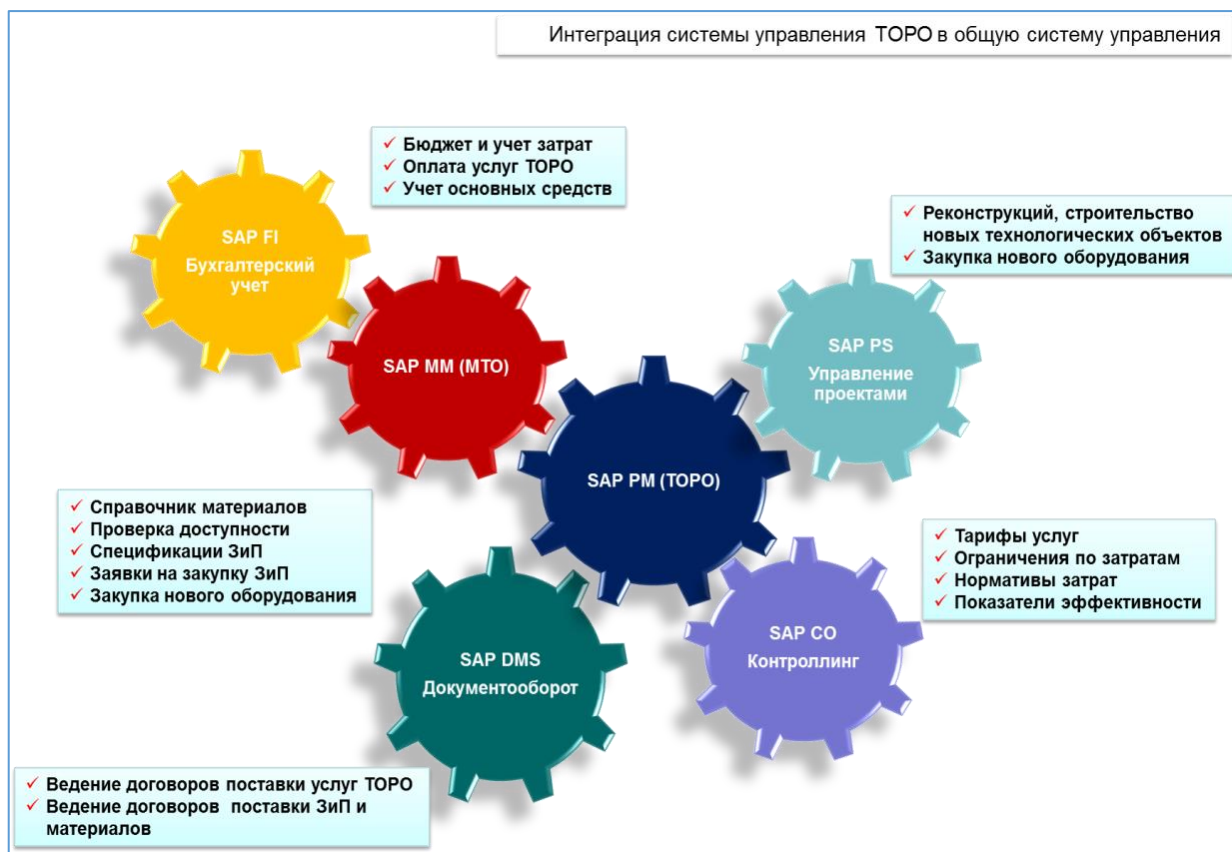


Рисунок 2 – Наглядная структура взаимосвязанности модуля SAP PM с ключевыми бизнес-процессами предприятия

Интеграция обеспечивает автоматизацию ключевых бизнес-процессов. В первую очередь, система формирует иерархию оборудования, создавая структуру технических мест (Functional Location) и единиц оборудования (Equipment) в SAP PM на основе распознанной схемы, что полностью исключает ручной ввод. Далее, на основе актуальных и достоверных данных об оборудовании становится возможным корректное планирование технического обслуживания и ремонта: формирование оптимальных ремонтных стратегий, снижение рисков аварийных простоев и минимизация затрат на ТОиР. Кроме того, обеспечивается синхронизация данных между системами – единая информационная модель, сформированная на основе одной схемы, может быть загружена как в SAP PM, так и в отраслевые

системы (например, программный энергетический комплекс), что устраняет дублирование ввода и рассогласование данных [4].

Заключение. В рамках работы разработано программное средство, обеспечивающее автоматизированное преобразование графических схем подстанций в структурированные информационные модели. Впервые предложен комплексный подход, объединяющий нейросетевую детекцию объектов (Faster R-CNN), оптическое распознавание текста (Tesseract OCR) и графовый анализ топологических связей, что позволяет достичь высокой точности распознавания ($F1\text{-score} > 0,9$) при значительном сокращении временных затрат на обработку одной схемы — с 1,5 часов до 6–10 минут. Определено, что ключевым фактором, влияющим на эффективность автоматизации, является не только качество алгоритмов компьютерного зрения, но и глубина интеграции с корпоративными системами управления активами.

Предложено использование разработанного программного средства в составе бизнес-процессов управления активами предприятия. Интеграция с модулем SAP PM через стандартные интерфейсы OData, IDoc и BAPI позволяет автоматизировать формирование иерархии оборудования, обеспечить актуальность данных для планирования технического обслуживания и ремонта, а также синхронизировать информацию между отраслевыми системами (например, ПТК СК-11) и корпоративным контуром [5]. Разработанная методика определения области сохранения работоспособности информационной модели при воздействии внешних факторов основана на применении наиболее адекватных алгоритмов обработки изображений с оптимизированными параметрами.

Список использованных источников:

1. Ren, S. *Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks* / S. Ren, K. He, R. Girshick, J. Sun // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 2017. – Vol. 39, № 6. – P. 1137–1149.
2. Smith, R. *An Overview of the Tesseract OCR Engine* / R. Smith // *Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007)*. – Curitiba, Brazil, 2007. – P. 629–633.
3. SAP SE. *SAP S/4HANA Plant Maintenance (PM) – Configuration and User Guide*. – Walldorf: SAP SE, 2024. – 320 p.
4. Bradski, G. *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library* / G. Bradski, A. Kaehler. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2008. – 580 p.
5. Гудфеллоу, Я. *Глубокое обучение* / Я. Гудфеллоу, И. Бенджо, А. Курвилль. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с. *The Impact of ESD on Microcontrollers* / Gennady A. Piskun, Viktor F. Alexeev, Sergey M. Avakov, Vladimir E. Matyushkov, Dmitry S. Titko ; Edited by PhD, Associate professor Viktor F. Alexeev. – Minsk : Kolograd, 2018. – 184 p. – ISBN 978-9857-148-40-0.

UDC 004.93:621.311:658.5

DIGITAL TRANSFORMATION OF SUBSTATIONS: SOFTWARE IMPLEMENTATION OF SCHEMA CONVERSION INTO INFORMATION MODELS

Sotnikov A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics¹, Minsk, Republic of Belarus

Kiriyenko N.A. – PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Annotation. The paper addresses the automation of converting graphical electrical substation diagrams into structured information models. The relevance is driven by the digital transformation of the energy sector, where a significant portion of equipment data is stored in unstructured graphical documents, creating barriers to integration with ERP asset management systems. A software architecture implementing pipeline processing is proposed: from preliminary image filtering to object detection based on the Faster R-CNN convolutional neural network. Text recognition and topological relationship determination modules are developed. Special attention is paid to integration with SAP PM, enabling automation of key business processes: equipment hierarchy formation, maintenance and repair planning, and data synchronization between industry-specific systems and the corporate environment.

Keywords. Digital transformation; electrical substations; information models; computer vision; SAP PM; business processes; Faster R-CNN.