УДК 004.42

DOI: 10.15827/0236-235X.134.331-343

Дата подачи статьи: 18.02.21

2021. Т. 34. № 2. С. 331–343

Интеллектуализация разработки автоматизированных систем управления дробильно-сортировочными комплексами: концепция и информационное обеспечение

Р.Э. Бурнашев^{1,2}, магистр, bre74mgn@yandex.ru

О.С. Логунова¹, д.т.н., профессор, logunova66@mail.ru

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, 455000, Россия

² Компания «Урал-Омега», г. Магнитогорск, 455037, Россия

Актуальным направлением современных исследований является разработка модулей интеллектуальной поддержки в различных отраслях производства и проектирования. На текущий момент данное направление получило развитие в электроэнергетике, машиностроении, металлургии и разработке ПО. Однако авторами не найдены опубликованные решения для интеллектуализации процесса разработки технической части автоматизированных систем управления, учитывающих специфику объекта автоматизации в области производства строительных заполнителей, в частности, дробильно-сортировочных комплексов. При этом существует ряд особенностей дробильно-сортировочных комплексов, позволяющих с помощью систем автоматизированного проектирования повысить эффективность разработки систем управления ими.

Целью данной работы является создание концепции модуля интеллектуализации разработки технического обеспечения автоматизированных систем управления дробильно-сортировочными комплексами в электротехнической системе автоматизированного проектирования PCSchematic Automation. Концепция основана на информационном обеспечении, разработанном для данной системы автоматизированного проектирования с учетом опыта реализации систем управления дробильно-сортировочными комплексами на предприятии «Урал-Омега».

Разработанное информационное обеспечение позволяет повысить скорость и снизить количество ошибок при разработке электротехнической документации для систем управления в выбранной предметной области. С помощью системного анализа и современных технологий разработки ПО определены основные классы, интерфейсы и способы их взаимодействия, обеспечивающие возможность создания модуля интеллектуализации. В результате построены концепция и UML-диаграммы для программной реализации модуля интеллектуализации разработки технического обеспечения автоматизированных систем управления дробильно-сортировочными комплексами в электротехнической системе автоматизированного проектирования PCSchematic Automation.

Ключевые слова: автоматизация разработки схем, система автоматизированного проектирования, автоматизированная система управления, дробильно-сортировочный комплекс, техническое обеспечение, электротехническая документация, PCSchematic Automation.

В современных условиях скорость реализации технических решений выходит на первый план во многих отраслях деятельности, в частности, при проектировании и производстве АСУ. Необходимость быстрой и качественной разработки *технического обеспечения* (ТО) АСУ привела к развитию электротехнических САПР [1–3], в том числе специализированных, и модулей для универсальных САПР [4], учитывающих специфику проектируемого объекта.

Важной частью САПР, учитывающих специфику области проектирования, является информационное обеспечение (БД, библиотеки компонентов, шаблоны), позволяющее адаптировать среду разработки схем и документации

для решения задач конкретной предметной области, например, специализированный программный модуль для разработки открытых распределительных устройств [5] и линий электропередач [6].

Анализ источников отечественных и зарубежных разработок показал, что отсутствует информация по решениям для автоматизации и интеллектуализации процесса разработки АСУ *дробильно-сортировочными комплексами* (ДСК). Поиск проведен по следующим источникам: электронная БД Федерального института промышленной собственности, электронная БД Европейского патентного ведомства, электронная БД Патентного ведомства США, Elibrary, Scopus, Web of Science. поиско-

вые запросы непосредственно по предмету исследования не выявили подходящих решений, поэтому был осуществлен поиск аналогов по запросам общего характера: метод/способ/система автоматизации проектирования, автоматизация/интеллектуализация проектирования/разработки, система автоматизации проектирования. В результате найдено более 10 000 объектов интеллектуальной собственности.

По результатам анализа источников выявлено, что специализированные САПР и модули для универсальных САПР нашли распространение в областях электроэнергетики [7–11], машиностроения [12–16], разработки ПО [17–21], металлургии [22–24] и др. [25–27].

Проведенный анализ источников дает основание утверждать, что проблема создания специализированных САПР для разработки АСУ ДСК так и остается нерешенной.

Целью данного исследования является снижение трудовых и временных затрат при проектировании АСУ ДСК с помощью программного модуля интеллектуализации ТО АСУ ДСК в электротехнической САПР PCSchematic Automation.

В рамках представленной работы решена задача построения концепции модуля интеллектуализированной разработки АСУ ДСК и формирования информационного обеспечения для электротехнической САПР на примере предприятия «Урал-Омега».

Методы исследования

Для решения поставленной задачи выполнена декомпозиция процесса разработки АСУ ДСК. На рисунке 1 приведена диаграмма процесса разработки ТО АСУ ДСК.

После поступления заказа на разработку ТО АСУ ДСК разработчик в среде разработки (электротехнической САПР) создает проектную и рабочую документацию на основании требований заказчика, действующих норм и правил (в том числе внутренних стандартов предприятия, опыта разработчика и т.д.), пользуясь информационным обеспечением среды разработки (БД компонентов, шаблонами, информационными моделями и т.д.). На основании рабочей документации формируются заказные спецификации, осуществляются сборка и тестирование электрооборудования системы, формируются сопроводительная документация и т.д. В результате на выходе процесса имеются ТО (шкафы ввода и управления, пульты управления, технические средства автоматизации и т.д.) и комплект документации для заказчика.

На рисунке 2 приведена схема декомпозиции процесса разработки ТО АСУ ДСК.

При поступлении заказа на разработку ТО АСУ ДСК разработчик по данным заказа составляет *техническое задание* (ТЗ), при необходимости уточняя и согласовывая его с заказ-

чиком. По утвержденному ТЗ он осуществляет проектирование ТО АСУ ДСК в специализированной среде разработки – электротехнической САПР. В условиях предприятия «Урал-Омега» используется программный комплекс PCSchematic Automation (далее САПР). Проектирование выполняется с учетом требований ТЗ и действующих норм и правил. Эффективность на данном этапе существенно зависит от информационного обеспечения САПР (БД, шаблонов, информационных моделей и т.д.), функционала САПР и навыков разработчика.

Современные САПР позволяют создавать интеллектуальные шаблоны и подсистемы, которые существенно повышают скорость проектирования и снижают вероятность ошибки. Создание таких моделей с учетом особенностей предметной области и опыта ведущих специалистов предприятия позволяет существенно повысить эффективность разработки ТО АСУ ДСК.

В результате проектирования готовится рабочая документация (принципиальные электрические схемы, списки входных и выходных сигналов, заказные спецификации и т.д.), на основании которой осуществляются заказ комплектующих и реализация (изготовление) ТО АСУ ДСК.

После окончания этапа реализации выполняется тестирование изготовленного ТО АСУ ДСК. При обнаружении несоответствия работы АСУ ДСК требованиям ТЗ осуществляются доработки ТО. Полностью соответствующая ТЗ АСУ ДСК отгружается заказчику.

По результатам проектирования и тестирования для итоговой версии ТО АСУ ДСК выполняется документирование, в ходе которого готовится комплект документации для заказчика в соответствии с ТЗ.

При проектировании ДСК набор оборудования зачастую разный, например, вследствие изменения транспортной системы. Однако технические решения для управления отдельными агрегатами являются типовыми в рамках одного предприятия-разработчика и во многом схожи для разных предприятий. Основное различие – в вариативной элементной базе, в то время как суть решений остается единой, так как необходимо реализовать схожий функционал. При этом каждая САПР предусматривает возможность повторного использования частей схемы или проекта, что повышает эффективность разработки. В САПР PCSchematic Automation существует возможность интеллектуализации процесса разработки за счет реализации комплекса информационного обеспечения, позволяющего учесть особенности объекта управления на стадии проектирования [28]. Для этих целей используются подсистемы, шаблоны и типовые проекты.

Подсистемы используются для создания таких типовых участков схемы, как группа защиты двигателя с управляемым или неуправляемым электроприводом, местный пульт управления и т.д. Шаблоны – для оформления страниц с необходимым набором элементов и данных (бланк предприятия, стандартные электрические потенциалы и т.д.). Для создания ти-

пового решения из нескольких страниц используются типовые проекты, включающие в себя шаблоны, подсистемы и др. Примером служит принципиальная электрическая схема подключений *программируемого логического контроллера* (ПЛК), включающая электрические символы и символы ссылок ПЛК, подключенного к нему блока питания, шаблонов страниц для принципиальных электрических схем и других элементов схемы, которые разработчик типового проекта сочтет необходимыми.

В PCSchematic Automation существует возможность добавления в стандартное решение переменных и создания информационных моделей. При размещении такого решения в проекте разработчик выбирает подходящую ему модель данных и значения переменных инициализируются в соответствии с параметрами этой модели. На рисунке 3 представлено описание данного подхода, приведенное в официальном руководстве модуля генерации проекта PCSchematic Automation [29].

В рамках работы по интеллектуализации разработки АСУ ДСК такие модели созданы для группы запуска асинхронного электродвигателя, которыми оснащены подавляющее большинство агрегатов комплексов. Для запуска и управления данным типом двигателей используются в основном три типа подключений: прямой пуск, плавный пуск и управление посредством преобразователя частоты.

Для прямого запуска асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором используются контакторы. Защита электродвигателей от перегрузки и короткого замыкания

осуществляется с помощью специальных автоматических выключателей. Дополнительно может контролироваться фазный ток электродвигателя. На схеме необходимо указать тип и сечение электрического кабеля, а также клеммы для подключения электродвигателя. Выбор всех указанных элементов осуществляется в соответствии с номинальным током электродвигателя, длиной трассы, условиями окружающей среды и прокладки кабеля на основе требований правил устройства электроустановок, правил техники эксплуатации электроустановок потребителя, внутренних правил предприятия и опыта разработчика. Подсхема и информационная модель для прямого пуска типовых номиналов электродвигателей приведены на рисунке 4.

Как показано на рисунке, в информационную модель входят 19 переменных, значения которых заданы для каждой модели посредством специального редактора САПР. При размещении подсхемы разработчик выбирает необходимую ему модель (например, 0,25кВт/0,85-1,05А) и для переменных устанавливаются конкретные значения, которые затем используются в различных списках. Разработчик в любое время может изменить модель и обновить списки, поэтому корректировки, связанные с изменениями мощности в процессе проектирования технологической линии, вносятся очень быстро в сравнении с изменением данных вручную.

Например, в случае размещения подсхемы на рисунке 4 с ручным выбором (или изменением) элементов необходимы не менее 8 обра-

Рис. 4. Подсхема прямого запуска асинхронного электродвигателя с информационной моделью для выбора оборудования по мощности электродвигателя в САПР PC Schematic Automation

Fig. 4. Sub-drawing of an across-the-line motor starting with an information model for selection of equipment by motor power in PC Schematic Automation CAD system

щений к БД с выбором элемента по значению тока электродвигателя. При размещении подсхемы с информационной моделью необходимо выбрать только модель по току электродвигателя, то есть одно значение, а значит, такая реализация в 8 раз быстрее в использовании. Однако создание информационной модели для подсхемы требует значительного времени и соответствующих знаний, что затрудняет их использование. С другой стороны, для использования уже созданной модели высокая квалификация не требуется, а качество решения при этом остается на уровне опытного специалиста.

Таким образом, созданные единожды подсхемы с информационными моделями для силовой части АСУ впоследствии позволяют сэкономить значительное количество времени.

Оперативные цепи для различных агрегатов существенно отличаются, однако существуют общие закономерности: в современных системах управления практически все цепи контроля и управления технологическими агрегатами подключаются к ПЛК; для всех агрегатов следует предусматривать пульты местного управления для безопасного проведения пусконаладочных и ремонтных работ; во многих случаях датчики, выполняющие одну и ту же или схо-

жую функцию, с точки зрения электрического подключения изображаются на схеме одинаково (например, в качестве датчиков движения ленты конвейера и маховика дробилки могут быть использованы одинаковые индуктивные сенсоры).

Наличие общих закономерностей позволяет интеллектуализировать процесс разработки схем оперативных цепей. Для этого созданы типовые проекты используемых на предприятии контроллеров и дополнительных сигнальных модулей. На рисунке 5 приведен пример размещения подсхемы индуктивного датчика: подключение осуществляется к положительному потенциалу блока питания и дискретному входу ПЛК. При этом артикул и тип датчика задаются переменными, но могут быть заменены любым значением из БД элементов или введены с клавиатуры. Аналогичным образом вставляются подсхемы местных пультов управления, конвейерной автоматики и др.

Зелеными квадратами в верхней части подсхемы и шаблона выделены точки вставки, определяющие область размещения при автоматической генерации проекта и при автоматическом размещении перетаскиванием (drag-and-drop): левая точка подсхемы сопоставляется с левой точкой шаблона, которая

Рис. 5. Пример автоматического размещения подсхемы индуктивного датчика

Fig. 5. Example of an inductive sensor sub-drawing automatic placement

переносится на место правой точки подсхемы, заполняя таким образом отведенное для схемы пространство шаблона.

Автоматическое размещение перетаскиванием – удобная функция, позволяющая размещать специально подготовленные подсхемы по простому и понятному алгоритму, что экономит время разработчика. Автоматическая генерация проекта – мощный инструмент, позволяющий создать проект на основе специально подготовленного описания.

Для автоматической генерации проекта необходимо предварительно подготовить информационное обеспечение САПР с учетом всех тонкостей проектирования. Например, важно точное соответствие расположения символов входов и выходов на странице для разных устройств – только тогда возможно адекватное размещение типовых подсхем оперативных цепей при автоматической генерации. Правильно подготовленное информационное обеспечение позволяет, например, легко изменить элементную базу контроллерной части.

Исходя из опыта разработки систем управления ДСК разработаны подсхемы для боль-

шинства стандартных задач автоматизации технологических агрегатов в данной предметной области (см. таблицу). Применение подсхем позволило существенно сократить сроки разработки электротехнической документации, а также повысить точность предварительной оценки стоимости электрооборудования.

В таблице в общем виде отображены типы подсхем, которыми представлен каждый агрегат в электротехнической документации. В силовой части разработаны пять подтипов: прямой пуск, плавный пуск, преобразователь частоты, один преобразователь частоты на два электродвигателя (для вибрационных питателей) и электрический тормоз (для конвейеров с большим углом наклона). Подсхемы оперативной части разработаны без подтипов.

Разработанное информационное обеспечение на текущий момент применяется без автоматической генерации проекта, так как процедура подготовки специального файла описания для модуля генерации проекта сложна и трудоемка. В то же время потребность в автоматической генерации присутствует в силу различных проблем. Например, одна из сложностей за-

Типовые решения в форме подсхем для основных агрегатов ДСК

Template solution in sub-drawing shape for fundamental units of a crushing and screening complex

Агрегат/ подсхема	Силовая часть	Местный пульт	Контроль движения	Контроль схода ленты	Прочее
Ленточный конвейер	+	+	+	+	Электрический тормоз (опционально)
Металлоотделитель	+	+	-	-	-
Ленточный питатель	+	+	+	+	Массовый расход материала
Вибрационный питатель	+	+	-	-	-
Пластинчатый питатель	+	+	+	-	-
Грохот вертикальный	+	+	-	-	-
Грохот горизонтальный	+	+	-	-	-
Дробилка щековая	+	+	+	-	-
Дробилка роторная	+	+	+	-	-
Дробилка центробежная	+	+	-	-	Температура подшипников, вибрация
Бункер	-	-	-	-	Уровень материала

ключается в том, что подсхемы для разных типов устройств разные и в случае изменения типа устройств во всем проекте необходимо заменить все подсхемы вручную. Такая ситуация может возникнуть, если появилась необходимость перейти с дорогой серии устройств на более дешевую (например, с преобразователей частоты на устройства плавного пуска) или наоборот и т.п.

Для решения данной проблемы наиболее рационально использовать автоматическую генерацию проекта. В PCSchematic Automation [29] она осуществляется с помощью встроенного дополнительного модуля «Генератор проекта» на основании конфигурационного файла Excel. Структура этого файла и правила его формирования (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2021-2/2021-2-dop/1.jpg>) изложены в руководстве пользователя для данного модуля. Суть процедуры в следующем: в организованный особым образом файл вносятся названия подсхем, шаблонов страниц и типовых проектов, данные проекта, составные обозначения и значения используемых переменных. Дополнительный модуль посредством стандартных функций САПР и своих встроенных функций размещает все указанные элементы так, как это сделал бы разработчик.

Для автоматического размещения подсхемы на шаблоне страницы при генерации проекта необходимо разместить специальные символы вставки, между которыми будут

вставлены подсхемы, на которых также присутствуют символы вставки. При этом следует учитывать такие возможные варианты размещения подсхем, чтобы пространство страницы использовалось адекватно.

Для всех информационных моделей, указанных в файле генерации, создаются и инициализируются переменные в проекте. Впоследствии информационную модель можно изменить (например, если изменилась мощность электродвигателя), также можно редактировать сгенерированный проект любыми функциями САПР.

Достаточно сложно идентифицировать все подсхемы, связанные с конкретным агрегатом в файле автоматической генерации проекта. В случае, когда агрегатов в проекте несколько десятков и каждый представлен подсхемами на нескольких страницах, расположенных в разных разделах проекта, работа с данным файлом становится затруднительной. Например, может возникнуть необходимость в добавлении конвейера в середине технологической линии, что означает добавление составного обозначения для нового конвейера, изменение нумерации последующих агрегатов, вставку подсхемы силовой части на страницы силовых схем, добавление датчиков и местного пульта управления на страницы оперативных цепей и т.д. Произвести эти действия в файле описания автоматической генерации проекта затруднительно ввиду отсутствия структур данных, поддержи-

вающих целостность информации об отдельном агрегате.

Сложность реализации подготовительных мер и последующего сопровождения существенно затрудняет использование автоматической генерации проекта. Поэтому на текущий момент автоматический генератор не используется, хотя информационное обеспечение обладает высокой степенью готовности. Для преодоления данных сложностей представляется целесообразной разработка интеллектуального модуля для Excel, с помощью которого будет создаваться и сопровождаться файл автоматической генерации проекта.

Данный модуль должен содержать классы, описывающие каждый тип агрегатов набором технических характеристик (свойств), методов их обработки и присвоения соответствующих проекту подсем, методов обработки и поддержания целостности информации о каждом экземпляре класса. Объектная модель Excel позволяет создать такие объекты во встроенной среде программирования (VBA), а также посредством надстроек с помощью сторонних платформ, например Microsoft Visual Studio.

Результаты

Таким образом, проявляется концепция программного продукта: интеллектуализированный модуль для Excel (в форме библиотеки или надстройки), обеспечивающий корректное и удобное формирование и сопровождение файла автоматической генерации АСУ ДСК в САПР PCSchema Automation на основе разработанного для нее информационного обеспечения. Связь разрабатываемого модуля с пользователем и другими программными продуктами показана на UML-диаграмме компонентов (рис. 6).

Разработчик АСУ ДСК вводит данные ТЗ в интерфейс программного продукта, тем самым формируя файл автоматической генерации проекта для САПР, затем в САПР генерирует проект на основе сформированного файла. В момент генерации САПР в соответствии с содержимым файла обращается к БД и встроенному информационному обеспечению для формирования электротехнической документации. Таким образом, разработчик быстро получает электротехнический проект высокой степени

Рис. 6. UML-диаграмма компонентов интеллектуализации процесса разработки АСУ ДСК в электротехнической САПР PCSchema Automation

Fig. 6. Component UML-diagram of automated control systems development intellectualization for crushing and screening complexes in PCSchema Automation CAD system

соответствия предъявляемым на предприятии требованиям и в случае необходимости вносит корректировки в САПР.

Основные требования к базовой версии ПО:

- в системе должны быть зафиксированы следующие типы технологических агрегатов: ленточный конвейер, металлоотделитель, ленточный питатель, вибрационный питатель, пластинчатый питатель, грохот вертикальный, грохот горизонтальный, дробилка щековая, дробилка роторная, дробилка центробежная, бункер;

- для каждого типа должна быть создана своя коллекция экземпляров в проекте для удобной навигации;

- для каждого агрегата должен быть создан объект «электродвигатель» с набором параметров: номинальная мощность, номинальная скорость вращения вала, номинальный ток; номинальный ток двигателя должен выбираться из справочника автоматически по значению мощности и скорости; должны быть реализованы коллекция экземпляров электродвигателей в проекте для удобной работы, автоматический подсчет суммарной номинальной потребляемой мощности;

- для каждого агрегата должен быть создан объект «местный пост управления», обеспечивающий перевод в режим местного управления, местный запуск и останов агрегата, индикацию рабочего и аварийного режимов, аварийный останов агрегата;

- в зависимости от типа агрегата должны опционально предлагаться контуры контроля параметров его работы (например, контроль движения ленты, контроль схода ленты);

- каждый из указанных выше объектов должен быть сопоставлен с конкретным набором подсхем (специальных файлов), представляющих собой схемную реализацию в электротехническом проекте;

- для подсхем с моделями данных должен быть реализован выбор модели с соответствующим изменением ее переменных, должна существовать возможность как переопределения модели после создания, так и изменения отдельных переменных;

- помимо структур данных для агрегатов, необходимо создать структуры для полей данных и составных обозначений проекта;

- пользователь должен иметь возможность эргономично создавать новый, изменять или удалять существующий набор данных для каждого типа агрегата; интерфейс должен быть реализован посредством форм, логично объ-

единяющих или разделяющих задачу проектирования на подзадачи конфигурирования контуров управления отдельными агрегатами; также необходимы формы для определения общесистемных решений (элементной базы, производителей отдельных видов электрооборудования и т.п.), влияющих на формирование проекта в целом.

На рисунке (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2021-2/2021-2-dop/2.jpg>) приведена диаграмма последовательности работы с полем данных проекта.

Пользователь может добавить новое поле данных соответствующей кнопкой, и тогда появится интерфейс для создания объекта «поле данных», который будет внесен в коллекцию полей данных текущего файла генерации. Затем автоматически вызывается интерфейс редактирования для созданного экземпляра, и после принятия измененных данных пользователем они будут внесены в экземпляр «поле данных» и в соответствующую область файла генерации. Пользователь может выбрать экземпляр поля данных из коллекции, представленной в интерфейсе списком, и изменить или удалить его.

Аналогично пользователь работает с агрегатами. При удалении сложных объектов удаляются и их элементы. При добавлении сложного объекта предусмотрена кнопка добавления элементов. Повторяемость и монотонность взаимодействия с интерфейсом модуля позволят сформировать у пользователя привычки, что повысит удобство работы.

Работа с объектами реального мира вместо набора названий файлов информационного обеспечения САПР с программной поддержкой целостности данных повысит эффективность создания и сопровождения файлов автоматической генерации проектов АСУ ДСК в электротехнической САПР PCSchematic Automation и позволит пользоваться автоматической генерацией в больших проектах.

Обсуждение

Полученные результаты согласуются с общими тенденциями разработки специализированных программных продуктов для интеллектуализации САПР в смежных областях. Концепция и требования к программному продукту и информационному обеспечению составляют основу для дальнейших исследований.

Поскольку данное решение предназначено для конкретной САПР (PCSchematic Automa-

tion), в полной мере распространять его на все САПР нельзя. Однако подобные функции есть и в других САПР, например, шаблоны в AutoCAD Electrical или макросы в Eplan. Важной частью является информационное обеспечение самой САПР, поэтому реализация модуля интеллектуализации разработки в любом случае будет ориентирована на конкретный программный комплекс.

Заключение

Авторами проведен подробный анализ отечественных и зарубежных источников по теме исследования, выявлены общие тенденции современных научных разработок. Произведена декомпозиция процесса создания ТО АСУ ДСК с указанием особенностей предметной об-

ласти. Представлено разработанное информационное обеспечение для электротехнической САПР PC Schematic Automation, являющееся основой для интеллектуализации процесса создания ТО АСУ ДСК, а также описаны принципы его использования. Построена концепция, определены требования и обозначена основная форма взаимодействия пользователя с модулем интеллектуализации процесса разработки АСУ ДСК в электротехнической САПР PC Schematic Automation. Предложенная концепция согласуется с трендами интеллектуализации процесса разработки в других предметных областях.

На основе полученных результатов планируется разработка программного продукта для повышения эффективности разработки технического обеспечения АСУ ДСК.

Литература

1. Платформа Eplan. URL: <https://www.eplan-russia.ru/ru/resheniya/ehlektrotekhnicheskoe-proektirovanie/> (дата обращения: 22.12.2020).
2. AutoCAD Electrical. URL: <https://knowledge.autodesk.com/support/autocad-electrical?sort=score> (дата обращения: 22.12.2020).
3. Automation – the Electrical CAD. URL: <https://www.pcschematic.com/en/electrical-cad-design-drawing-software/automation-electrical-cad.htm> (дата обращения: 22.12.2020).
4. Model Studio CS. URL: <https://www.csoft.ru/catalog/soft/mscad/mscad-cs.html> (дата обращения: 22.12.2020).
5. Model Studio CS: Открытые распределительные устройства. URL: <https://www.mscad.ru/programs/open-switchgear/> (дата обращения: 22.12.2020).
6. Model Studio CS: ЛЭП. URL: <https://www.mscad.ru/programs/power-line/> (дата обращения: 22.12.2020).
7. Варганова А.В., Панова Е.А., Хатюшина Т.В., Кононенко В.С., Багаева Х.М. Разработка базы данных электрооборудования 35-220 кВ для САПР «ОРУ CAD» // Электротехнические системы и комплексы. 2018. № 2. С. 28–33. DOI: 10.18503/2311-8318-2018-2(39)-28-33.
8. Павлюков В.А., Ткаченко С.Н., Коваленко А.В. Разработка САПР электрической части станций и подстанций для учебного процесса // Завалишинские чтения: сб. тр. конф. 2018. С. 145–153.
9. Панарина М.С., Панова Е.А., Варганова А.В. Алгоритм расчета токов короткого замыкания для САПР распределительных устройств подстанций // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: матер. Междунар. науч.-практич. конф. 2018. Ч. 2. С. 126–130.
10. Ирихов А.С., Кушмиль О.Е., Панарина М.С., Масальская М.А. Системы автоматизированного проектирования в электроэнергетике // Энергетические и электротехнические системы: сб. тр. конф. 2018. С. 27–32.
11. Панова Е.А., Ирихов А.С., Дубина И.А., Патшин Н.Т. Расчет экономических составляющих целевой функции алгоритма определения оптимального варианта схемы распределительного устройства подстанции с высшим напряжением 35 кВ и более // Электротехнические системы и комплексы. 2019. № 1. С. 4–11. DOI: 10.18503/2311-8318-2019-1(42)-4-11.
12. Акулович Л.М., Миклуш В.П., Ермашкевич Д.Б. Концепция автоматизации сквозного проектирования технологических процессов изготовления деталей из металлопроката для сельскохозяйственной техники // Тр. ГОСНИТИ: сб. тр. конф. 2018. Т. 132. С. 36–47.
13. Жетесова Г.С., Юрченко В.В., Никонова Т.Ю., Жаркевич О.М., Матешов А.К. Экспериментальные исследования применения методики казахстанской системы автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей горных машин и разработка рекомендаций // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2018. Т. 6. № 2. С. 46–55. URL: <http://industrial-engineering.ru/issues/2018/2018-2-7.pdf> (дата обращения: 28.12.2020). DOI: 10.24892/RIJE/20180207.
14. Жетесова Г.С., Юрченко В.В., Никонова Т.Ю., Иванов С.С., Кибек А.С. Исследование и анализ САПР ТП машиностроительного производства // САПР и моделирование в современной электронике: сб. тр. конф. 2018. С. 40–49. DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e5eca5cca2.01375815.

15. Родиошкин М.Ю., Масленникова Л.В., Арюкова О.А., Родиошкина Ю.Г. Проектирование привода конвейера в системе КОМПАС-3D // Вестн. Мордовского ун-та. 2017. Т. 27. № 1. С. 77–92. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.077-092.
16. Руденко М.С., Яковлев Р.О. Разработка автоматизированной системы проектирования коническо-цилиндрических редукторов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: матер. VII Междунар. науч.-практич. конф. Красноярск, 2017. Т. 1. № 13. С. 359–361.
17. Magalhaes A.P.F., Andrade A.M.S., Maciel R.S.P. Model driven transformation development (MDTD): An approach for developing model to model transformation. *Information and Software Technology*, 2019, no. 114, pp. 55–76. DOI: 10.1016/j.infsof.2019.06.004.
18. Bollati V.A., Vara J.M., Jiménez A., Marcos E. Applying MDE to the (semi-)automatic development of model transformations. *Information and Software Technology*, 2013, vol. 55, no. 4, pp. 699–718. DOI: 10.1016/j.infsof.2012.11.004.
19. Lano K., Kolahdouz-Rahimi S., Yassipour-Tehrani S., Sharbaf M. A survey of model transformation design patterns in practice. *JSS*, 2018, no. 140, pp. 48–73. DOI: 10.1016/j.jss.2018.03.001.
20. Basciani F., Di Rocco J., Di Ruscio D., Iovino L., Pierantonio A. A tool-supported approach for assessing the quality of modeling artifacts. *J. COLA*, 2019, no. 51, pp. 173–192. DOI: 10.1016/j.cola.2019.02.003.
21. Samimi-Dehkordi L., Zamani B., Kolahdouz-Rahimi S. Leveraging product line engineering for the development of domain-specific metamodeling languages. *J. COLA*, 2019, no. 51, pp. 193–213. DOI: 10.1016/j.cola.2019.02.006.
22. Мацко И.И., Логунова О.С. Модуль интеллектуальной поддержки АСУ производством непрерывнолитой заготовки // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2012. № 2. С. 165–170.
23. Логунова О.С., Мацко И.И., Посохов И.А. Система интеллектуальной поддержки процессов управления производством непрерывнолитой заготовки. Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2013. 175 с.
24. Логунова О.С., Сибилева Н.С., Павлов В.В. Система интеллектуальной поддержки выбора шихтовых материалов для дуговой сталеплавильной печи: консолидация эмпирической и экспертной информации // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2016. Т. 4. № 2. С. 26–31.
25. Ким И.С., Сабалахова А.П., Сапарбаева Э.М., Такибаева Г.А., Байдибекова А.О., Адишова Г.Б., Жармаханбетов Ф.К. Математические модели и методы оптимизации выбора объектов в процессе разработки модельных конструкций для САПР швейного производства // Технология текстильной промышленности. 2017. № 6. С. 213–216.
26. Розанова Е.А., Ключко И.Л. Реализация блочно-модульного метода при разработке конструкторской базы данных // Фундаментальные исследования. 2017. № 8-1. С. 75–80.
27. Селиванова Д.А., Попов Ф.А., Школьников М.Н., Бубарева О.А. Результаты разработки системы автоматизированного проектирования функциональных напитков // Науч.-технич. вестн. Поволжья. 2018. № 5. С. 253–255. DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-253-255.
28. Бурнашев Р.Э., Логунова О.С. Результаты теоретико-множественного анализа возможностей интеллектуализации процесса разработки автоматизированных систем управления дробильно-сортировочными комплексами в условиях ЗАО «Урал-Омега» // НИТиС: сб. тр. Междунар. науч.-технич. конф. 2019. С. 100–106.
29. Tutorials, Articles and Manuals. URL: <https://www.pcschematic.com/en/academy/materials/#manuals> (дата обращения: 22.12.2020).

Intellectualization of automated control systems development for crushing and screening complexes: information support and concept

R.E. Burnashev^{1,2}, *Master of Science, bre74mgn@yandex.ru*

O.S. Logunova¹, *Dr.Sc. (Engineering), Professor, logunova66@mail.ru*

¹ *G.I. Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, 455000, Russian Federation*

² *CJSC "Ural-Omega", Magnitogorsk, 455037, Russian Federation*

Abstract. A relevant direction of modern research is the development of intellectual support modules in various industries and designs. Now this direction has been developed in the electric power industry, mechanical engineering, metallurgy, and software development. However, the authors have not found published solutions for the intellectualization of an automated control systems technical part development process, considering the automation object features in building aggregates production, in particular, crushing and screening complexes. There are several features of crushing and screening complexes that allow using computer-aided design systems to increase the efficiency of developing control systems for them.

The paper's purpose is the creation of the intellectualization module concept for the development of hardware for crushing and screening complex automated control systems in the PCSchematic Automation electrical CAD system. We base the concept on information support developed for this CAD system, considering the experience of implementing control systems for crushing and screening complexes at the CJSC "Ural-Omega" enterprise.

The developed information support provides an increase in speed and a decrease in the number of errors in electrical documentation development for control systems in the selected subject area. By the system analysis and modern software development technologies, the dominant classes, interfaces and ways of their interaction have been determined, which provide the possibility of creating an intellectualization module. As a result, we obtained a concept and UML diagrams for implementation of the intellectualization module for the development of hardware for crushing and screening complex automated control systems in the PCSchematic Automation electrical CAD system.

Keywords: automation of diagram development, computer-aided design, automated control system, crushing and screening complex, hardware, electrical documentation, PCSchematic Automation.

References

1. *Eplan – Efficient Engineering*. Available at: <https://www.eplan-russia.ru/ru/resheniya/ehlektrotekhnicheskoe-proektirovanie/> (accessed December 22, 2020).
2. *AutoCAD Electrical*. Available at: <https://knowledge.autodesk.com/support/autocad-electrical?sort=score> (accessed December 22, 2020).
3. *Automation – the Electrical CAD*. Available at: <https://www.pcschematic.com/en/electrical-cad-design-drawing-software/automation-electrical-cad.htm> (accessed September 22, 2020).
4. *Model Studio CS*. Available at: <https://www.csoft.ru/catalog/soft/mscad/mscad-cs.html> (accessed December 22, 2020) (in Russ.).
5. *Model Studio CS: Open Switchgears*. Available at: <https://www.mscad.ru/programs/open-switchgear/> (accessed December 22, 2020) (in Russ.).
6. *Model Studio CS: Power Lines*. Available at: <https://www.mscad.ru/programs/power-line/> (accessed December 22, 2020) (in Russ.).
7. Varganova A.V., Panova E.A., Khatyushina T.V., Kononenko V.S., Bagaeva Kh.M. Development of electrical equipment database of 35-220 kV for "ORU CAD". *Electrotechnical Systems and Complexes*, 2018, no. 2, pp. 28–33 (in Russ.). DOI: 10.18503/2311-8318-2018-2(39)-28-33.
8. Pavlyukov V.A., Tkachenko S.N., Kovalenko A.V. CAD-system of power plants and substations electrical part in education process. *Proc. Zavalishin's Readings*, 2018, pp. 145–153 (in Russ.).
9. Panarina M.S., Panova E.A., Varganova A.V. Short-circuit current computation algorithm for substation switchgear CAD. *Proc. Intern. Sci-pract. Conf. Nauka i Obrazovanie na Sovremennom Etape Razvitiya*, 2018, vol. 2, pp. 126–130 (in Russ.).
10. Irikhov A.S., Kushmil O.E., Panarina M.S., Masalskaya M.A. Computer-aided design systems in power engineering. *Proc. Intern. Conf. Energeticheskie i Elektrotehnicheskie Sistemy*, 2018, pp. 27–32 (in Russ.).
11. Panova E.A., Irikhov A.S., Dubina I.A., Patshin N.T. Calculation of economic components of target function of the algorithm for determining the optimal option of scheme of substations distribution device with the high voltage of 35 kV and above. *Electrotechnical Systems and Complexes*, 2019, no. 1, pp. 4–11. DOI: 10.18503/2311-8318-2019-1(42)-4-11 (in Russ.).
12. Akulovich L.M., Miklush V.P., Ermashkevich D.B. Concept through automation design of technological processes parts of metal for agricultural machinery. *Proc. Conf. GOSNITI*, 2018, vol. 132, pp. 36–47 (in Russ.).
13. Zhetessova G.S., Yurchenko V.V., Nikonova T.Yu., Zharkevich O.M., Mateshov A.K. Experimental studies of the application of the methodology of Kazakhstan's CAD of technological processes for manufacturing parts of mining machines and the development of recommendations. *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2018, vol. 6, no. 2, pp. 46–55. Available at: <http://journals.i-publ.ru/index.php/IndEng/article/view/2851> (accessed December 28, 2020) (in Russ.). DOI: 10.24892/RIJIE/20180207.

14. Zhetessova G.S., Yurchenko V.V., Nikonova T.Yu., Ivanov S.S., Kibeko A.S. Research and analysis of CAD TP of machine-building production. *CAD/EDA, Modeling and Simulation in Modern Electronics*, pt. 1, 2018, pp. 40–49 (in Russ.). DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e5eca5cca2.01375815.
15. Rodioshkin M.Yu., Maslennikova L.V., Aryukova O.A., Rodioshkina Yu.G. Conveyor drive design in COMPAS 3D system. *Mordovia Univ. Bull.*, 2017, vol. 27, no. 1, pp. 77–92. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.027.201701.077-092> (in Russ.).
16. Rudenko M.S., Yakovlev R.O. Development of automated system design reducers. *Proc. VII Intern. Sci. Conf. Current Problems of Aviation and Cosmonautics*, Krasnoyarsk, 2017, vol. 1, no. 13, pp. 359–361 (in Russ.).
17. Magalhaes A.P.F., Andrade A.M.S., Maciel R.S.P. Model driven transformation development (MDTD): An approach for developing model to model transformation. *Information and Software Technology*, 2019, no. 114, pp. 55–76. DOI: 10.1016/j.infsof.2019.06.004.
18. Bollati V.A., Vara J.M., Jiménez A., Marcos E. Applying MDE to the (semi-)automatic development of model transformations. *Information and Software Technology*, 2013, vol. 55, no. 4, pp. 699–718. DOI: 10.1016/j.infsof.2012.11.004.
19. Lano K., Kolahdouz-Rahimi S., Yassipour-Tehrani S., Sharbaf M. A survey of model transformation design patterns in practice. *JSS*, 2018, no. 140, pp. 48–73. DOI: 10.1016/j.jss.2018.03.001.
20. Basciani F., Di Rocco J., Di Ruscio D., Iovino L., Pierantonio A. A tool-supported approach for assessing the quality of modeling artifacts. *J. COLA*, 2019, no. 51, pp. 173–192. DOI: 10.1016/j.col.2019.02.003.
21. Samimi-Dehkordi L., Zamani B., Kolahdouz-Rahimi S. Leveraging product line engineering for the development of domain-specific metamodeling languages. *J. COLA*, 2019, no. 51, pp. 193–213. DOI: 10.1016/j.col.2019.02.006.
22. Matsko I.I., Logunova O.S. Module intellectual support for automated control system production for continuous casted billets. *Software of Systems in the Industrial and Social Fields*, 2012, no. 2, pp. 165–170 (in Russ.).
23. Logunova O.S., Matsko I.I., Posokhov I.A. System of Intelligent Support of Control Processes in Continuous Cast Billet Production. Magnitogorsk, 2013, 175 p. (in Russ.).
24. Logunova O.S., Sibileva N.S., Pavlov V.V. Intellectual support system of selection the charge materials for electric arc furnace: consolidation empirical and expert information. *Software of Systems in the Industrial and Social Fields*, 2016, vol. 4, no. 2, pp. 26–31 (in Russ.).
25. Kim I.S., Sabalakhova A.P., Saparbaeva E.M., Takibaeva G.A., Baydibekova A.O., Adishova G.B., Zharmakhanbetov F.K. Mathematical models and methods of optimization of the choice of objects in the course of development of model designs for a CAD of sewing production. *Tekhnologiya Tekstilnoy Promyshlennosti*, 2017, no. 6, pp. 213–216 (in Russ.).
26. Rozanova E.A., Klochko I.L. Realization of modular method in development of design database. *Fundamental Research*, 2017, no. 8-1, pp. 75–80 (in Russ.).
27. Selivanova D.A., Popov F.A., Shkolnikova M.N., Bubareva O.A. Results of the development of the system of automated design of functional drinks. *Sci. and Tech. Volga Region Bull.*, 2018, no. 5, pp. 253–255. DOI: 10.24153/2079-5920-2018-8-5-253-255 (in Russ.).
28. Burnashev R.E., Logunova O.S. Set-theory analysis of crushing complexes automated control system development process possibilities in CJSC “Ural-Omega”. *Proc. Intern. Sci. and Tech. Conf. NIT&S*, 2019, pp. 100–106 (in Russ.).
29. *Tutorials, Articles and Manuals*. Available at: <https://www.pcschematic.com/en/academy/materials/#manuals> (accessed December 22, 2020).

Для цитирования

Бурнашев Р.Э., Логунова О.С. Интеллектуализация разработки автоматизированных систем управления дробильно-сортировочными комплексами: концепция и информационное обеспечение // Программные продукты и системы. 2021. Т. 34. № 2. С. 331–343. DOI: 10.15827/0236-235X.134.331-343.

For citation

Burnashev R.E., Logunova O.S. Intellectualization of automated control systems development for crushing and screening complexes: information support and concept. *Software & Systems*, 2021, vol. 34, no. 2, pp. 331–343 (in Russ.). DOI: 10.15827/0236-235X.134.331-343.