



Новая технология автоматизированного проектирования сложных электротехнических систем

И.С. Кудряшов (ООО «СиСофт Иваново»), Е.С. Целищев, М.Д. Ильичева (ИГЭУ)

Рассматривается новая технология автоматизированного проектирования большого класса сложных, многокомпонентных электротехнических систем. Новизна заключается в изменении последовательности процедур, свойственной традиционной технологии проектирования подобных систем. Новая технология проектирования характеризуется большей эффективностью, возможностью повышения степени автоматизации проектирования и возможностью расширения области применения, в том числе на стадию эскизного проекта.

Ключевые слова: сложные электротехнические системы, автоматизация проектирования, САПР, эскизный проект, рабочий проект.

Введение

Применение систем автоматизированного проектирования на современном этапе развития проектного дела можно считать нормой. Для разработки проектно-сметной документации на стадии рабочего проектирования (именно эта наиболее трудоемкая и содержащая наибольшее число частных технических решений стадия проектирования рассматривается и как единственная автоматизируемая) структурно сложных электротехнических систем, таких как АСУТП, СКУ, АИИСКУЭ, системы телемеханики, телеуправления, управления вентиляцией, пожаротушением и др. во всех областях промышленности и энергетики предлагается использовать электротехнические САПР, в целом реализующие однотипный подход к проектированию. Суть этого подхода заключается в преобладании процесса разработки с той или иной степенью автоматизации и эффективности полной принципиальной электрической схемы проектируемой системы или ее отдельных крупных частей. Эта технология имеет большое достоинство — универсальность. Основным недостатком такого подхода является отсутствие учета особенностей систем данного типа и практики выполнения проектирования в данных разделах, что зачастую не позволяет обеспечить достаточное повышение качественных и количественных показателей автоматизированного процесса проектирования, затрудняет интеграцию специальностей в общий, комплексный процесс проектирования проектной организации.

Структурно сложные электротехнические системы

В рассматриваемом случае объектом проектирования являются системы, представляющие собой соединение отдельных функционально самостоятельных технических средств разных типов, территориально размещенных в разных местах технологического оборудования и/или помещений. При этом зачастую число используемых типов технических средств ограничено. Соединение расположенных отдельно друг от друга элементов между собой выполняется с помощью монтажных элементов: клемм в составе клеммников и жил в составе кабелей или проводов. Присоединения имеют разные параметры: напряжение, ток, тип связи, от которых зависит использование монтаж-

ных элементов с определенными характеристиками.

Структура таких систем является сложной в первую очередь из-за большого числа входящих в нее элементов. Система может насчитывать тысячи и десятки тысяч только самостоятельных функциональных технических средств. А если учитывать используемые монтажные и другие сопутствующие аксессуары, то число элементов проекта может составить и сотни тысяч единиц оборудования. Все элементы могут коммутироваться между собой как электрическими, так и технологическими подключениями, число которых также значительно. При этом в структуре явно просматриваются отдельные простые (типовые) фрагменты — каналы контроля, учета, управления и т. д. Эти фрагменты имеют ограниченный набор вариантов реализации, во многих случаях систематизированные и оформленные в виде типовых альбомов электрических и монтажных схем.

В настоящее время кроме физических элементов (технических средств) в состав элементов проекта чаще всего нужно включать и элементы логические, а именно, сигналы, так как они используются при формировании проектной документации и отчетов для передачи в смежные структуры проектной организации. В условиях применения многофункциональных приборов и цифровых каналов связи такое буквальное соответствие, например, один датчик — один сигнал теряет свою значимость, как и ассоциирование пар жил кабеля или отдельной жилы кабеля с сигналом.

Типы технических средств характеризуются:

- устоявшимся набором функциональных характеристик;
- набором вариантов схем подключения — имеют функционально зависимый состав подключений;
- конструктивными особенностями.

Набор функциональных характеристик технических средств одного типа часто зафиксирован требованиями руководящих документов, например:

- ГОСТ 22520-85. Датчики давления, разрежения и разности давлений с электрическими аналоговыми выходными сигналами ГСП. Общие технические условия;

• ГОСТ 22261-94. Средства измерения электрических и магнитных величин. Общие технические условия.

Для частного случая технического средства в составе типа характерно использование оригинального варианта кодирования набора характеристик — модель (формула заказа), наличие специфических конструктивных особенностей и вариантов подключений, отличающихся преимущественно используемыми контактами. Таким образом, аналогичные по функциональности технические средства внутри каждого типа являются в целом взаимозаменяемыми, что связано с общетехническими тенденциями обеспечения унификации внутри отдельных типов технических средств. В качестве примера перечислим некоторые такие технические средства:

- для АСУТП — датчик с нормированным выходным сигналом, датчик с дискретным выходным сигналом, блок питания, барьер искрозащиты, показывающий прибор, контроллер, электропривод с контролем состояния, кнопочный пост (БЭЗ, УКП), блок силовой и т. д.;
- для АИИСКУЭ — трансформатор тока, трансформатор напряжения, счетчик, переключатель, УСПД, испытательная коробка, автоматический выключатель, разветвитель RS485 и т. д.;
- для систем управления механизмами (например, механизмами собственных нужд электростанции) — электропривод, кнопочный пост, блок силовой с управлением, блок силовой с контролем, блок силовой, шкаф ЧРП и т. д.;
- для релейной защиты и автоматики — реле разных типов, преобразователи тока, преобразователи напряжения, многофункциональные приборы, терминалы, кнопки, переключатели, трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, лампы и т. д.;
- кабели, провода; клеммники, клеммы и т. д.

Отдельной особенностью процесса проектирования таких систем является большой объем данных, необходимых для проектирования, которые поступают от смежных уровней управления, отделов и являются результатами их проектирования. С другой стороны, результаты проектирования этих систем также экспортируются и используются как необходимые данные для выполнения смежных разделов проекта. Отсутствие самодостаточности при выполнении проектных работ значительно усложняет процесс, делает его труднопрогнозируемым по срокам и распределению ресурсов, увеличивает трудозатраты.

Рассмотрим подробнее характерные примеры типов технических средств в контексте их дальнейшей обработки в процессе проектирования.

Уровень АСУТП

• Модель датчика может влиять на задействованные контакты; при этом состав подключений зависит от используемой типовой электрической схемы канала — 2-, 3-, 4-проводная, токовая петля, наличие отдельной линии питания, дополнительные интерфейсы. Характеристики отдельных подключений зависят от вариантов реализуемых измерений: термопара — компенсационный кабель, нормированный сигнал — контрольный кабель или витая пара и т. д.

• Для выбора модели датчика необходимы результаты работы технологического отдела. Определяются такие характеристики, как максимальные и рабочие значения давления и температуры среды, класс точности, агрессивность среды, степень погружения чувствительного элемента и др.

• Кабели с их параметрами и параметрами устройств, которые они соединяют, в дальнейшем передаются для проведения их раскладки по кабельным конструкциям.

• Список входных/выходных сигналов полевого оборудования передается на этапы проектирования программно-технического комплекса (ПТК).

• Данные о распределении сигналов в составе ПТК влияют в свою очередь на структуру кабельных связей.

Уровень управления механизмами

• Блок силовой — в зависимости от его модели могут использоваться разные контакты.

• Состав и характеристики подключений определяются принятыми в проекте требованиями для реализации отдельных каналов управления.

• Для выбора модели силового блока используются данные проектирования первичной коммутации (если этот раздел выполняется отдельно).

• Информация о кабелях также передается в процедуры раскладки.

• Сигналы передаются в процедуры проектирования ПТК.

• Данные о распределении сигналов в составе ПТК влияют на структуру кабельных связей.

Уровень АИИСКУЭ

• Счетчик — в зависимости от его модели возможны различные варианты подключения.

• Состав схемы подключения определяется конфигурацией точки учета и нормами ведения учета. Состав интерфейсов определяется требованиями конкретного проекта.

• Для выбора модели необходимы данные точек учета в составе главной схемы.

Уровень технических средств, используемых в любых системах

Вторичные приборы

• Состав подключений и их характеристики определяются функциональной нагрузкой прибора и требованиями конкретного проекта к оборудованию данного типа, в том числе принятой структурой организации питания.

• Конструктивные характеристики определяются требованиями конкретного проекта.

Кабели

• Номенклатура используемых кабелей регламентируется требованиями конкретного проекта.

• Характеристики кабеля определяются составом (числом) и параметрами подключений в соответствии со стандартом данной проектной организации, а также в соответствии с требованиями конкретного проекта и руководящих документов.

Клеммники

• Состав клеммников в проекте определяется компоновочными решениями в части шитовых устройств.

Таблица.

Номер, вид	Наименование типа технического средства	Внешние данные	Внутренние данные	
			Требования по проекту	Результаты проектирования
1	Датчик температуры	Функциональные параметры. Параметры места установки и рабочей среды	Требования задания на проектирование (характеристики по умолчанию)	–
2	Блок питания	–		Состав потребителей. Компоночные решения
3	Клеммник			
4	Кабель			

• Номенклатура используемых клеммников регламентируется требованиями конкретного проекта.

• Характеристики клеммников определяются составом (числом) и параметрами подключений в соответствии со стандартом данной проектной организации, а также в соответствии с требованиями конкретного проекта и руководящих документов.

Таким образом, в составе проектируемого оборудования выделяются технические средства, для проектирования которых в полном объеме требуются определенные данные (на примере КИП) (таблица).

Из таблицы видно, что:

1) имеется оборудование вида 1, полное проектирование которого возможно только после получения всех необходимых параметров из внешних источников;

2) для части оборудования типов 2...4 непосредственная зависимость от внешних данных отсутствует, но для их проектирования нужна часть результатов проектирования оборудования первого вида. Имеет место опосредованная, косвенная зависимость. Значит, надо найти возможность выполнять неполное проектирование оборудования первого вида в той его части, которая используется для выполнения проектирования оборудования 2...4 видов. А когда появятся дополнительные данные, закончить проектирование оборудования первого вида.

Данный вывод о так называемом двухстадийном процессе проектирования оказывается справедливым и для других видов электротехнических систем.

Одним из инструментов ПО, применяемого для проектирования таких систем, является механизм систематического кодирования оборудования и подключений. Наличие такого механизма в условиях большого числа обрабатываемых объектов дает экономии трудозатрат и является обязательным для обеспечения идентификации объектов в составе проекта.

Существующая технология автоматизированного проектирования на стадии рабочего проекта

Рассмотрим укрупненную последовательность проектных процедур и операций в составе традиционного подхода к проектированию рассматриваемого класса систем.

1. Формирование списка элементов проекта:

— добавление в проект элементов;
— кодирование позиции элементов, кодирование в соответствии с системой классификации (например, KKS) и др.;

— добавление (выбор) характеристик элементов, выбор моделей.

2. Соединение элементов между собой: добавление в проект подключений; кодирование подключений; добавление параметров подключений;

3. Добавление монтажных элементов:

— добавление клемм; объединение, включение клемм в клеммники; кодирование клеммников; выбор характеристик клемм, клеммников (выбор моделей);

— добавление жил; объединение жил в кабели; кодирование кабелей; выбор характеристик жил, кабелей (выбор моделей).

4. Редактирование, проверка ошибок.

5. Получение отчетов по сформированной модели проекта.

Пункты 2 и 3 могут быть расположены в обратном порядке, если соединиться между собой могут только уже присутствующие в проекте элементы или их компоненты.

Если технология автоматизации не включает систематический выбор моделей (формул заказа), то данные, которые зависят от этого выбора, должны добавляться в проект вручную, что является дополнительными трудозатратами и источником ошибок. С другой стороны, жесткая привязка к модели технического средства повышает требования к используемой БД, усложняет процесс проектирования при отсутствии необходимых данных для корректного выбора технического средства. Более того, привязка к конкретной реализации технического средства в случае изменения этой реализации часто требует полного повторения всей цепочки операций от добавления технического средства и выбора модели до его подключения.

В любом случае без занесения в проект данных, связанных с выбором модели оборудования, проектирование выполняется не может либо становится нецелесообразным из-за большой трудоемкости внесения изменений, что делает этот процесс по трудозатратам сравнимым с повторным проектированием.

Необходимые данные для осознанного, аргументированного выбора характеристик и их кодирования или фрагменты этих данных могут поступать на поздних сроках проектирования, так как являются результатом работы смежных отделов. В случае использования системного подхода необходима БД, заполненная в необходимом объеме, что также на ранних стадиях проектирования может являться определенной проблемой. Это положение является ключевым для понимания нового подхода, предлагаемого авторами.

Необходимо обратить внимание на то, что автоматизация п. 1, 2 и часто 3 заключается исключительно в возможности выбрать модель технического средства по каталогу (БД). Все остальные операции выполняются вручную, что приводит к необходимости автоматизации еще одной обязательной операции — проверки проекта на наличие ошибок.

Новая технология автоматизированного проектирования

На основании анализа последовательности процедур традиционного подхода предлагается измененная последовательность действий, обладающая большей эффективностью, возможностью повышения степени автоматизации проектирования и возможностью расширения области применения, в том числе на стадию эскизного проекта.

Эскизный проект

1) Формирование списка элементов проекта:

— добавление в проект *унифицированных* элементов (элементов типа черный ящик), обладающих только общими унифицированными параметрами, одинаковыми для любого производителя;

— кодирование элементов — позиции, кодирование в соответствии с принятой системой, др.;

— добавление (выбор) основных функциональных характеристик элементов.

2) Соединение элементов между собой:

— добавление в проект подключений;

— кодирование подключений — маркировки связей, кодирование сигналов, др.;

— добавление параметров для подключений.

3) Добавление монтажных элементов — клеммники и кабели (как в стандартной технологии).

4) Редактирование.

5) Получение отчетов по сформированной модели.

Рабочий проект

1) Загрузка в проект данных, обеспечивающих *автоматический* или *высокоавтоматизированный* выбор оборудования.

2) Выбор оборудования как автоматическая процедура перехода от унифицированного элемента к частному случаю из каталога конкретного изготовителя:

— добавление необходимых параметров — *модель (формула заказа)*;

— корректировка готовых подключений — переключение существующих подключений в соответствии со схемой подключения данной модели по номенклатуре изготовителя (процедура формализуема и поэтому автоматизируема).

3) Получение отчетов по сформированной модели или внесение изменений в готовые отчеты.

Данные, необходимые для выполнения *эскизного* проекта, могут быть получены на ранних стадиях проектирования, в том числе из смежных отделов, или являются внутренними для данного подразделения. При назначении элементам функциональных параметров необходимо обеспечить только возможность соединения элементов между собой, что резко сокращает объем необходимой «внешней» информации.

В рамках предлагаемой технологии автоматизации выполнение первой — *эскизной* стадии проектирования связано преимущественно с наращиванием количественного состава проекта — число унифицированных элементов и присоединений. Выполнение рабочей стадии проектирования связано с наращива-

нием качественного состава проекта: конкретизация используемых технических средств (переход от унифицированных элементов, подключений к частным, то есть в соответствии с номенклатурой завода изготовителя), в общем случае это связано с увеличением числа параметров элементов, подключений. Необходимость добавления новых элементов и подключений в проект на *рабочей* стадии проектирования может быть обусловлена логикой процесса проектирования, выполняемого в данном подразделении, когда проектирование (выполнение) одного из фрагментов проекта является основой для выполнения другого фрагмента проекта с учетом внесения в проект дополнительной информации, например о компоновке. Так в системах управления механизмами добавление силовых блоков выполняется на эскизной стадии проектирования, а общих блоков силовых шкафов — на рабочей с учетом конечной компоновки силовых шкафов.

Исследование и анализ предлагаемого подхода выявляет примерное временное соотношение стадий проектирования как 4 к 1.

В целом предлагаемая технология отвечает требованиям руководящих документов:

- ГОСТ 2.103-68 ЕСКД. Стадии разработки;
- ГОСТ 34.601-90 Автоматизированные системы. Стадии создания.

Стадии создания.

Так как на эскизной стадии проектирования используются унифицированные элементы и схемные решения, резко упрощается обслуживание применяемой базы данных. Одновременно обеспечивается большая централизация принятия проектных решений в случае хранения правил (принципов) принятия этих решений в составе базы данных.

Сокращение предметной области проектирования за счет унификации в целом упрощает процедуру применения системы, обеспечивает большую унификацию используемого информационного обеспечения процесса проектирования. Это позволяет достичь, в том числе более высокого уровня автоматизации процесса проектирования и, как следствие, — снижения трудозатрат проектировщиков.

Внесение изменений также может выполняться с высокой степенью автоматизации и будет включать следующие операции:

1) обратный переход от частного варианта технического средства к унифицированному;

2) повторный выбор технического средства; переход от унифицированного к частному.

Возможность менять номенклатуру используемых технических средств с минимальными трудозатратами, а значит, с более высокой степенью автоматизации является достаточно актуальной в настоящее время, когда в результате проведения тендера на поставку оборудования может выявиться необходимость оперативной корректировки заказной спецификации в «простом» случае или переработка всего комплекта рабочей документации в более «сложном». В общем случае процедура рабочего проектирования

может рассматриваться как итерационный циклический процесс.

Типовые схемы электрических подключений

Типовые схемы электрических подключений — это один из самых распространенных инструментов повышения производительности проектных работ. Использование типовых решений обеспечивает унификацию результатов проектирования, что является одним из компонентов общего повышения качества проектных работ. Кроме этого, снимается острота проблемы монотонного занесения пользователем в проект данных, которые необходимы как для формирования отчетов, так и для последующей автоматизированной обработки проекта и, таким образом, являются «фундаментом» автоматизации для последующих автоматизированных проектных процедур и операций. С точки зрения пользователя любая информация, которая напрямую не отображается в документах, является «лишней», а необходимость ее занесения в проект противоречит основной цели применения САПР — снижению трудозатрат.

В настоящее время применение этого инструмента в его классическом виде (альбом типовых схем) затрудняется тем, что на разных объектах используется различный состав технических средств. В типовой схеме присутствует полный набор данных, привязанных к определенной модели технического средства — номера контактов, в таблице перечня оборудования — модель. Таким образом, перед применением альбома в проекте в него необходимо вносить соответствующие изменения. Внесение этих изменений приводит к тем же проблемам, что и проектирование по традиционной технологии — недостаточно исходных данных в начале выполнения проектных работ. Когда же данных становится достаточно, оказывается, что недостаточно времени даже с учетом привлечения дополнительных ресурсов. Результат — большое число ошибок, что наглядно характеризуется в дальнейшем выпуском «ревизий» проекта.

Новый подход к организации технологии автоматизированного проектирования электротехнических систем на второй стадии эти проблемы устраняет. Решение в части типовых схем аналогично общей логике проектирования на эскизной стадии, а именно — переход к использованию унифицированных технических средств в составе унифицированных типовых схем электрического подключения и монтажа. Это резко сокращает объем альбома типовых схем и обеспечивает его применение с минимумом входных данных. Например, в части электропривода: если нет информации по мощности и другим электрическим характеристикам электропривода (не выбран привод — нет модели), то это не позволяет выбрать модель силового блока, но условия управления, необходимый объем сигналов и общая структура схемы питания уже известны, и этого достаточно для выбора унифицированной схемы управления. На рабочей стадии проектирования состав элементов схемы

не изменится, состав подключений тоже, возможно поменяются задействованные контакты и добавятся параметры, характеризующие выбранную модель технического средства. Таким образом, сформированные на эскизной стадии состав сигналов и структура кабельных связей не поменяются, а значит, данные (отчеты) по результатам выполнения эскизной стадии проектирования могут быть использованы смежными отделами для выполнения своих проектных работ, так как являются достаточно достоверными.

Распараллеливание процесса проектирования

Для любой проектной организации в настоящее время особенно актуальна задача сокращения сроков проектирования, что является одним из основных аргументов для внедрения САПР. Когда структура проектной организации является сложной и сформирована с учетом разделения по специальностям, самым очевидным способом сокращения сроков проектирования видится распараллеливание процесса между отдельными специальностями. Препятствием к этому является логика выполнения проектных работ, когда результаты работы одного подразделения являются элементами задания на проектирование для другого подразделения или есть технические средства, по которым проходит «граница» специальностей.

Новый двухстадийный подход в значительной степени может решить эту проблему. Использование унифицированных технических средств, список характеристик которых формируется на эскизной стадии проектирования по соображениям достаточности, а не полного выбора всех его параметров позволяет выполнять проектирование с меньшим объемом исходных данных. При этом обеспечивается формирование большей части отчетов для передачи в смежные отделы как задания для выполнения проектирования по их специальностям.

Концепция автоматизированного проектирования в части автоматизированного выполнения самой процедуры проектирования также обеспечивает дополнительную возможность распараллеливания процесса проектирования за счет изменения динамики формирования, заполнения проекта и проектных документов. Как в традиционной ручной технологии, так и в технологии автоматизации проектирования присутствует обязательный элемент продолжительного заполнения проекта элементами и подключениями с непосредственным участием проектировщика с последующим «автоматическим» формированием отчетов — проектных документов разных видов. Если САПР предусматривает автоматизацию этой «ручной» процедуры, то усилия проектировщика могут быть перенаправлены на решение задачи оптимизации самой процедуры проектирования и обеспечения системы входными данными в таком объеме, чтобы процесс проходил полностью в автоматическом режиме, так как в данном случае на каждом шаге проектирования или выбора всегда есть только один верный,

подходящий вариант. Таким образом, если входных данных все-таки недостаточно, можно выполнять проектирование с определенной степенью достоверности и перепроектирование или допроектирование по мере уточнения входных данных с минимальными трудозатратами. Таким образом еще более снижается зависимость от внешней информации.

Характеристики САПР

Для полноценной реализации двухстадийной технологии автоматизированного проектирования САПР должна соответствовать определенным критериям:

- обеспечивать настраиваемую процедуру автоматизированного проектирования;
- использовать процедуры экспорта/импорта данных, в том числе и в автоматическом режиме;
- иметь возможность автоматической корректировки схемы подключения от унифицированной к частной и обратно;
- реализовывать процедуру подбора оборудования по характеристикам в автоматическом режиме, если подходит только один вариант;
- база данных САПР должна «уметь» хранить описания как унифицированных, так и частных технических средств и вариантов схем их подключения, монтажа;
- иметь механизмы автоматического формирования проектных документов и внесения в них изменений после изменения проекта.

Заключение

При выборе ПО для автоматизации проектирования проектная организация чаще всего ориентируется на «формальные» показатели САПР. Это в первую очередь позиционирование программного продукта как САПР, возможность получения определенного комплекта проектных документов, состав базы данных в комплекте поставки, число доступных команд и т. д. При этом часто упускается из виду вопрос процедуры применения системы в конкретной организации и возможность адаптации этой процедуры для получения эффективной технологии автоматизированного проектирования в данной организации и в данной предметной области. Повторение «ручной» технологии построения (набирания) проекта, свойственной существующей технологии автоматизации проектирования, с одной стороны, является понятным проектировщикам, но с другой — резко ограничивает возможности реализации действительно автоматизированного проектирования. Такой подход сохраняет недостатки существующей системы и при этом не учитывает, а часто отторгает те новые возможности, которые могло бы предоставить оригинальное

автоматизированное проектирование. Рассматриваемая в данной статье двухстадийная (эскизное, рабочее) технология автоматизированного проектирования структурно сложных электротехнических систем является примером возможной реализации новых инструментов проектирования с учетом особенностей сложившегося проектного процесса, что позволяет выйти на качественно новый уровень автоматизации и еще более продвинуть САПР от автоматизированного проектирования к автоматическому.

Результаты применения новой технологии

- Сокращение срока проектирования за счет:
 - возможности выполнения проектных работ на более ранних сроках проектирования в условиях отсутствия или недостаточности исходных данных;
 - возможности распараллеливания процесса проектирования.
 - Упрощение информационного обеспечения САПР:
 - база данных: унифицированные структурные решения отделены от частных вариантов подключения технических средств;
 - пользовательские процедуры и операции работают с унифицированными объектами, что обеспечивает большую универсальность решений.
 - Снижение трудозатрат за счет:
 - более высокой степени автоматизации формирования состава проекта как в части используемых технических средств, так и в части их подключений на стадии эскизного проекта;
 - возможности автоматизированного внесения многократных изменений на стадии рабочего проекта.
 - Повышение качества проекта в целом (как результат вышеперечисленных пунктов).
- В настоящее время представленная технология автоматизированного проектирования исследуется в процессе реальной разработки систем управления для тепловых электростанций Калининградской генерации. Проект выполняется в институте АО «Зарубежэнергопроект» (г. Иваново).

Список литературы

1. Целищев Е. С., Глянцева А. В. Методы достижения максимальной эффективности применения САПР при разработке проектов АСУТП // Автоматизация в промышленности. 2013. № 9.
2. Целищев Е. С., Кудряшов И. С., Корольков В. В. Опыт использования средств САПР AutomatiCS при выполнении проекта АСУТП блока Березовской ГРЭС в ОАО «Зарубежэнергопроект» // CAD master. 2015. № 1.
3. Целищев Е. С., Котлова А. В., Кудряшов И. С. Повышение эффективности применения САПР при проектировании схем вторичной коммутации механизмов собственных нужд // Автоматизация в промышленности. 2015. № 9.

Кудряшов Иван Сергеевич — главный специалист ООО "СиСофт Иваново",

Целищев Евгений Сергеевич — д-р техн. наук, старший науч. сотрудник, проф. каф. ИТ,

Ильичева Мария Дмитриевна — магистрант Ивановского государственного энергетического университета.

Контактный телефон (4932) 26-96-55.

E-mail: tselishev@ivanovo.csoft.ru, kudryashov@ivanovo.csoft.ru