

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ СИНХРОНИЗАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИЗДЕЛИЯ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

С. Е. Кондратьев, О. В. Ульянов

ФГУП «ВНИИА им. Н. Л. Духова», Москва

В настоящее время все больше предприятий, занимающихся разработкой и (или) производством сложных наукоемких изделий, переходят на использование систем управления жизненным циклом изделий (PLM-система – Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом изделий) в совокупности с системами автоматизированного проектирования (САПР). Для полноценной работы PLM-системы необходимы актуальные исходные данные, в которые входят обозначение и наименование продукции внешней поставки (материалы, стандартные и прочие изделия), используемой при разработке изделий. Эти данные изначально рождаются в каком-либо справочнике или базе данных нормативно-справочной информации, роль которой во ВНИИА выполняет справочник продукции внешней поставки (СПВП) собственной разработки. Все данные в течение своего жизненного цикла рано или поздно претерпевают изменения: происходит обновление, запрет на использование или удаление данных. Особенно актуальна задача синхронизации данных системы-потребителя (в нашем случае это PLM-система), с данными системы-источника данных (в нашем случае это СПВП).

Электронная структура изделия (ЭСИ) является электронным конструкторским документом (ДЭ), содержащим описание изделия (сборочной единицы, комплекта или комплекса), иерархические отношения между его составными частями и другие данные в зависимости от его назначения. Одной из разновидностей ЭСИ является конструктивная ЭСИ (КЭСИ), создаваемая в PLM-системе. КЭСИ выполняется на стадиях разработки эскизного проекта, технического проекта и рабочей конструкторской документации и представляет собой основной конструкторский документ. Одним из основных предназначений КЭСИ является организация информационного взаимодействия между PLM-системой и автоматизированными системами, входящими в состав интегрированной информационной среды (ИИС) предприятия.

Целью работы является сокращение времени передачи данных об изделии между PLM-системой и системой управления ресурсами предприятия (ERP-системой – Enterprise Resource Planning) за счет синхронизации библиотечных данных, необходимых для разработки изделия, и выполнения автоматической

проверки КЭСИ на этапе согласования и утверждения ДЭ. Достижение этой цели позволит на ранних стадиях подготовки производства приступить к решению задач снабжения, планирования и технологической подготовки производства изделий.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проанализированы процессы передачи данных о составе изделия в ИИС с целью определения наиболее «узких» этапов, которые могут занимать значительную часть времени в процессе и которые можно формализовать;

- изучены реализации на других предприятиях методов обмена данными, необходимыми для разработки КЭСИ;

- разработаны методы и алгоритмы обмена данными, необходимые для разработки КЭСИ в среде САПР и PLM-системы, между СПВП и электронными библиотеками материалов, ЭРИ, стандартных и прочих изделий, размещенными в PLM-системе;

- разработаны и реализованы в PLM-системе дополнительные средства контроля и проверки КЭСИ на этапе согласования, проведения изменений и постановки на учет ДЭ;

- реализованы в PLM-системе разработанные методы и алгоритмы обмена данными.

Вопросы управления данными об изделии и организации единого информационного пространства предприятия рассмотрены в работах Шиловичко О., Рыжикова Р. Н., Филатова А. Н., Кульги К. С., Донецкой Ю. В., Вичуговой А. А., Уварова Н. И., Голицыной Т. Д. и других ученых.

Заслуживает внимательного рассмотрения работа Уварова Н. И. [2], которая посвящена разработке информационно-математической модели оценки состояния предприятия на основе информационных параметров ИИС производства. В данной работе автор исследовал существующую информационную систему предприятия благодаря современным инструментам моделирования бизнес-процессов и потоков данных, разработал математическую модель оценки состояния реального производства с учетом планового задания посредством сравнения матриц состояния документов, по которым производится взаимодействие подразделений. Данный подход является достаточно эффективным и простым методом формализации текущего состояния подразделения

относительно планового задания и позволяет принимать меры по выполнению работ в срок в соответствии с планом-графиком. Бесспорно, разработанная система функционирования предприятия на основе математической модели предусматривает решение в дальнейшем таких задач, как обеспечение обмена данными между службами предприятия и перевод бумажной документации в электронный вид, которые были оговорены автором в начале работы. Однако, следует отметить, что в исследовании Уваровой Н. И. не совсем понятно, за счет чего и как будет происходить обмен данными между подразделениями, каждое из которых может использовать свое программное обеспечение, соответствующее основной деятельности, база данных (БД) которого совсем не обязательно должна быть интегрирована с общей БД, являющейся ядром системы, в котором, по мнению автора, должны храниться все информационные объекты. При этом недостаточно внимания уделено обзору уже существующих реализаций ИИС предприятий на основе концепций PLM и ERP и их сравнению с предлагаемой автором реализацией.

Также вызывает интерес работа Донецкой Ю. В. [3], которая посвящена разработке и исследованию методов управления данными в САПР изделий приборостроения. Одной из задач, которую необходимо было решить автору, является разработка методики анализа и оптимизации процедуры обработки данных при проектировании. С помощью нотации IDEF3 автор подробно описала методику выбора электрорадиоэлементов (ЭРИ) при проектировании изделий. На 1-м этапе проектирования определяется наличие прав у разработчика на чтение и запись информации. Следующим этапом для всех ЭРИ, находящихся в справочнике, получают значение атрибута «Ограничение применения». Если указанный атрибут не содержит никакого значения, то данный элемент помещается в список ЭРИ, используемый при проектировании изделия. Если атрибут «Ограничение применения» содержит какое-либо значение, то возникает необходимость проанализировать значение атрибута «Ограничение по ТЗ». Если выполняется условие «Ограничение по ТЗ» \geq «Дата выдачи ТЗ», то данные об ЭРИ поступают в список для разработчика. Если условие не выполняется, то осуществляется проверка атрибута «Разрешено для». В случае, если значение атрибута «Обозначение» содержится в атрибуте «Разрешено для», тогда элемент поступает в список, в противном случае информация об элементе никуда не записывается и обработчик считывает информацию об очередном элементе справочника. Следующей рассматриваемой методикой является анализ записи об элементе при редактировании ЭСИ по замечаниям, полученным при согласовании или при изготовлении изделия. Необходимость описания этой методики вызвана возможностью достаточно частых изменений в наименованиях применяемых элементов. Автор достаточно подробно описывает все возможные случаи изменений, а также процесс ввода элемента в окон-

чательный перечень для разработки изделия. На данном этапе автор предлагает сверять номер изменения (итерации) элемента в справочнике с номером изменения этого же элемента в ЭСИ. Если изменения совпадают, то элемент вводится в справочник разработчика. Если они не совпадают, то осуществляется проверка возможности применения элемента, описанная выше.

По данной работе хочется отметить следующее:

– автором проведен детальный обзор САПР различного назначения, однако не рассмотрены уже существующие современные экосистемы, в которых уже реализована тесная взаимосвязь САПР и PDM/PLM-систем (например, NX и Teamcenter (Siemens), Creo и Windchill (PTC)), т. к. именно в PDM/PLM-системах происходят основные процессы управления данными об изделии;

– разработанные автором подсистемы «Редактор электронной структуры изделия» и «Загрузчик технических документов» отражают базовый функционал большинства современных PDM/PLM-систем и их целесообразно реализовывать при невозможности использования или перехода на современное ПО, что видно и сделали в рассматриваемой работе. Создается впечатление, что в данной работе автор упоминает PDM-систему в качестве хранилища, обеспечивающего версию ЭСИ и ее связи с документами, не подразумевая даже ее редактирования в случае изменения схемы изделия;

– не сказано как происходит сопоставление полученных из подсистемы «Редактор электронной структуры изделия» данных об элементах в схематических САПР.

Работа Вичуговой А. А. [4] посвящена созданию новых и развитию существующих теоретических и практических положений методологии управления жизненного цикла изделий, обеспечивающих повышение эффективности процессов проектирования путем сокращения их длительности за счет автоматизации процессов информационной поддержки изделия в ИИС. Автором разработана и подробно описана алгоритмическая и математическая модель взаимосвязей разнотипных информационных объектов, составляющих ЭСИ; разработан и реализован метод построения ИИС на базе PLM-системы и САПР, включая автоматическое заполнение справочных каталогов при построении ЭСИ. Однако автором не рассмотрен вопрос обмена данными между PLM-системой и системой планирования ресурсов предприятия, который является достаточно важным с учетом назначения самой ЭСИ.

Процесс передачи данных об изделии из PLM-системы в ERP-систему по сути начинается с запуска процесса согласования и утверждения, т. е. когда КЭСИ полностью подготовлена по мнению инициатора процесса, и заканчивается этапом постановки на учет в ОТД утвержденной документации на это изделие. На длительность процесса передачи данных об изделии также оказывает влияние качест-

во процесса формирования КЭСИ, которое завершается перед запуском процесса согласования.

За время работы в PLM-системе Windchill, используемой во ВНИИА, конструкторы запустили порядка 550 процессов согласования и утверждения документации. В рамках этих процессов было значительное количество доработок ДЭ, и, в частности, КЭСИ. Порядка 7 % от общего количества замечаний от специалистов по нормативно-справочной информации (НСИ) и нормоконтролеров составляли замечания, касающиеся правильности записи наименования покупных изделий в документах-отчётах на основе КЭСИ и возможности их использования в данном изделии. Данные ошибки являются достаточно удобными для формализации, и, следовательно, для их максимально возможного исключения на этапе формирования и работы с КЭСИ. Основные ошибки в КЭСИ, связанные с использованием НСИ, следующие:

- применение библиотечного компонента, который отсутствует в СПВП;
- применение библиотечного компонента, который запрещен к применению;
- применение библиотечного компонента с неправильно записанным обозначением;
- применение библиотечного компонента, запись которого в СПВП была удалена.

В некоторых случаях, когда специалисты по НСИ или нормоконтролеры по каким-либо причинам не смогли выявить ошибку – данные ошибки выявляются уже на этапе загрузки данных об изделии в ERP-систему, когда все процессы согласования и утверждения или постановки ДЭ на учет в ОТД завершены. В этом случае придется дополнительно подключать автора КЭСИ, специалиста по НСИ, и, возможно, других специалистов, чтобы произвести замену в КЭСИ; в некоторых случаях замену можно провести только посредством проведения извещения об изменении, т. к. поставленные на учет спецификации могут быть уже разосланы абонентам.

В связи с тем, что КЭСИ в большинстве случаев согласуется вместе с другими ДЭ в составе комплекта ДЭ на изделие, на длительность этого процесса также оказывает влияние:

- качество разработки электронных чертежей, 3D-моделей, других сопроводительных документов,
- качество проверки этих документов согласующими лицами,
- количество доработок этих документов в рамках процесса согласования и утверждения.

В данной работе не рассматриваются причины этих доработок и методы их устранения, т. к. это предмет отдельного доклада.

Вопросы интеграции PLM-системы и ERP-системы описаны в работах таких ученых, как К. Кульга, С. Димитрюк, М. Кулагин, А. Лопатенко, Ed Miller, John MacKrell, B.Prashantha, R.Venkataramb и др.

В статье «Особенности внедрения на предприятиях и методы интеграции CAD/CAM/PDM/FRP/

MRP/MES/PLM- и ERP-систем» [5] автор (К. Кульга) описал основные цели интеграции информационных систем на предприятии, потенциальные риски при их внедрении, а также технические аспекты интеграции PLM- и ERP-систем. В этой статье рассмотрены следующие методы интеграции: с помощью файл экспорта-импорта, посредством API-функций и путем полной интеграции. Но при этом данные методы описаны достаточно поверхностно, не описаны технические проблемы интеграции и методы их устранения.

В статье «Интеграция T-FLEX PLM + ERP» [6] автор С. Димитрюк описывает функциональные возможности системы T-FLEX DOCs в части интеграции практически с любым программным обеспечением на основе общепризнанных открытых стандартов и протоколов передачи данных, рассматривает разные сценарии интеграции и условия их применения.

В докладе «Интеграция электронных библиотек и систем управления документами, как задача, решаемая системой обмена информацией между объектно-ориентированными информационными системами» [7] авторы (М. Кулагин и А. Лопатенко) поставили задачу обмена данными в корпоративной системе Вычислительного Центра РАН. Они провели полноценное обоснование, описали архитектуру системы и используемых программных моделей с перечислением основных проблем интеграции объектно-ориентированных систем и реляционных баз данных.

Однако, в данных статьях недостаточно описана проблема распространения изменения данных одной системы (источника) на данные другой системы (приемника) и методы решения этой проблемы.

С учетом вышесказанного можно сделать вывод, что проблема синхронизации данных для разработки изделия в ИИС является актуальной и приоритетной для исследования и решения. Поэтому необходимо уделить особое внимание разработке и реализации методов и алгоритмов синхронизации данных в ИИС, которые напрямую влияют на качество и время разработки изделий как гражданского, так и оборонного назначения.

Алгоритмы синхронизации данных между системой управления жизненным циклом и корпоративной информационно-управляющей системой

При внедрении PLM-системы в ИИС предприятия достаточно часто возникают вопросы синхронизации уже созданных в библиотеке PLM-системы данных. Рассмотрим на примере ВНИИА данную ситуацию.

Конструкторы направляют заявку на создание необходимого библиотечного компонента в службу, которая занимается разработкой в САПР Creo Parametric, используемой во ВНИИА, 3D-моделей стандартных изделий. Эти 3D-модели являются библиотечными компонентами, размещаемыми в PLM-системе Windchill. Сотрудник службы создает

базовую 3D-модель библиотечного компонента с таблицей семейств экземпляров и совокупность составных частей, связанных с этими экземплярами. На основе базовой 3D-модели и таблицы семейств компонент с необходимыми геометрическими параметрами генерируется «на лету». Таким образом, нет необходимости создавать 3D-модель отдельно на каждый компонент. При этом используется встроенный в функционал САПР Creo Parametric генератор наименований в соответствии с геометрическими параметрами экземпляра. При этом обозначение составной части формируется на основе наименования файла связанного с ней экземпляра таблицы семейств.

В связи с изложенным выше, в электронной библиотеке PLM-системы Windchill содержится совокупность составных частей со связанными экземплярами таблицы семейств базовой 3D-модели. Однако на первый взгляд, совершенно непонятно, можно ли их применять в КЭСИ или нет. Для того, чтобы это можно было однозначно определить, как конструктору при создании КЭСИ, так и проверяющим на этапе согласования и проведения изменения КЭСИ, необходимо, чтобы применяемый компонент обладал определённым признаком.

При этом синхронизация данных заключается в передаче определённого признака компоненту. Таким признаком является глобальный идентификатор соответствующей записи из общесистемного справочника ИИС (во ВНИИА таким справочником является СПВП), который должен фигурировать в обозначении составной части. Этот идентификатор в обозначении показывает, что компонент разрешен к применению, т. е. присутствует в ограничительном перечне, и имеет правильно записанное наименование в соответствии с нормативно-технической документацией.

Алгоритм синхронизации данных о продукции внешней поставки представлен на рис. 1.

Утилита синхронизации данных СПВП и электронной библиотеки стандартных изделий PLM-системы Windchill, разработанная автором (рабочее название утилиты – SetIdSPVP2) реализует описанный выше алгоритм. Данная утилита представляет собой Java-приложение, которое запускается автоматически в ночное время с помощью планировщика заданий операционной системы, установленной на сервере приложений PLM-системы. По результатам обработки утилиты администраторы PLM-системы получают на электронную почту письмо с данными об обновленных библиотечных компонентах. На утилиту авторами получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016661621 «Программа для синхронизации информации о продукции внешней поставки, размещенной в электронной библиотеке PLM-системы Windchill, с информацией, содержащейся в справочнике продукции внешней поставки».

Одной из основных проблем при интеграции и организации информационного взаимодействия

между системами является проблема распространения изменений данных одной системы, которая является исходной, на данные другой системы, которая является потребителем этих данных. Проблемы проявляются в ошибках, которые могут быть совершены при работе с КЭСИ. Как правило, эти ошибки касаются применения библиотечных компонентов в КЭСИ и правильной записи наименований покупных компонентов. Ниже приведены возможные проблемы нераспространения изменений данных системы-источника в данные системы-потребителя:

- запись в базе данных исходной системы (СПВП) удаляется. При этом, на основе этой записи мог быть создан компонент в электронной библиотеке PLM-системы, который применяется в различных КЭСИ на разных стадиях ЖЦ, и, который, после удаления исходной записи, должен быть запрещен к применению;

- на существующую запись исходной системы накладывается ограничение применимости, например, «в новых разработках не применять» или «применять только в макетных изделиях». На основе этой записи также может быть создан библиотечный компонент PLM-системы, используемый в различных КЭСИ, и, этому компоненту тоже должно быть назначено соответствующее ограничение применимости;

- у записи в базе данных исходной системы может измениться значение в одном из полей, значения которого передаются в PLM-систему. Например, у записи изменяется значение в поле «Образец обозначения в КД», а в PLM-системе существует библиотечный компонент, наименование которого создано на основе значения в поле «Образец обозначения в КД»; это изменение также должно быть передано в PLM-систему.

С целью сокращения количества ошибок в ДЭ и количества доработок КЭСИ на этапе согласования и проведения изменений авторы разработали алгоритм передачи изменений данных СПВП в PLM-систему (см. рис. 2).

Алгоритм реализован в виде Java-утилиты, которая состоит из 6 Java-классов и нескольких конфигурационных файлов.

Класс Main отвечает за запуск утилиты, создание объектов-обработчиков инцидентов, формирование электронных сообщений авторам КЭСИ.

Класс WorkerDeleted служит для обработки случаев удаления записи из СПВП.

Класс WorkerConstraint – для обработки случаев наложения/снятия ограничения на компонент.

Класс WorkerPattern – для обработки случаев изменения значения записи в поле «Образец обозначения в КД».

Класс UsageHelper – для формирования карты (класс HashMap), содержащей данные об авторах КЭСИ и применимости компонентов.

Класс Sender – для осуществления отправки почтовых сообщений.

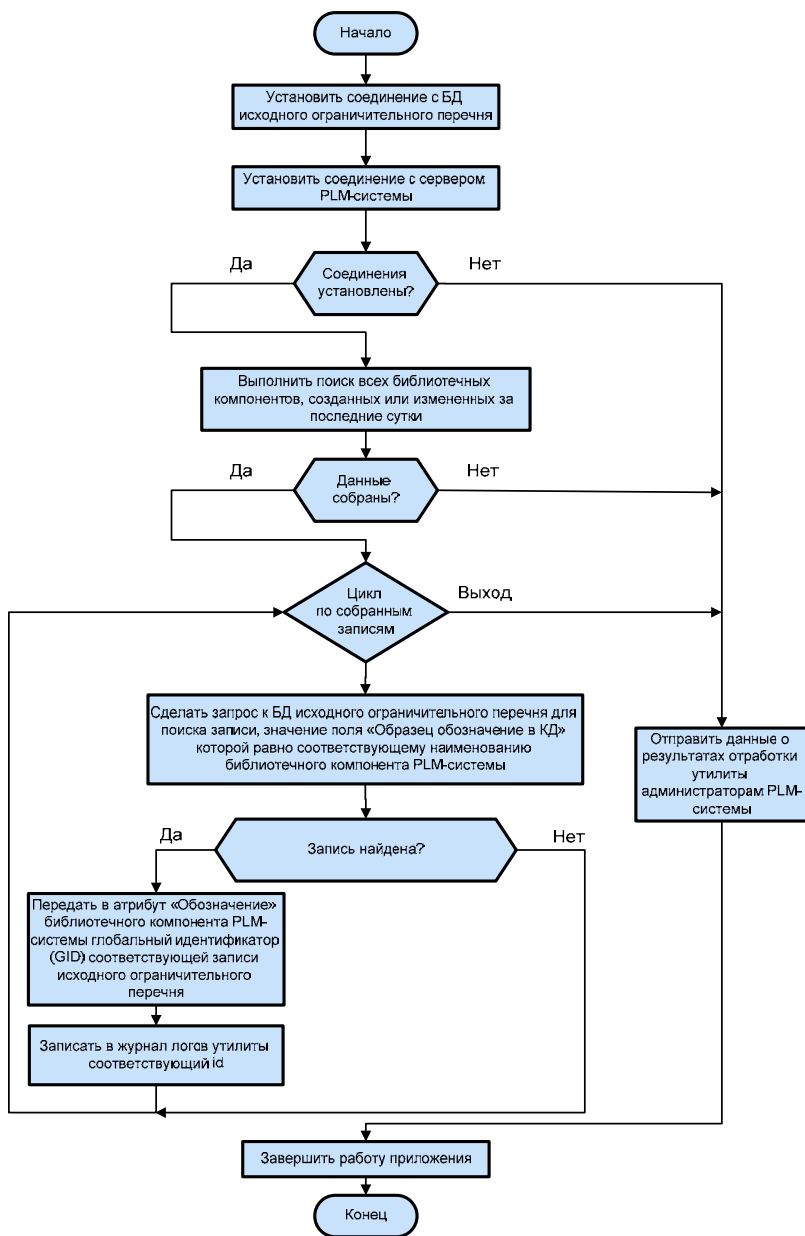


Рис. 1. Алгоритм синхронизации данных о продукции внешней поставки между СПВП и PLM-системой (передача глобального идентификатора компонента)

Класс Configs – для работы с конфигурационными файлами.

Данная утилита запускается автоматически в ночное время с помощью планировщика заданий операционной системы, установленной на сервере приложения PLM-системы.

Алгоритм автоматической проверки КЭСИ на этапе её согласования и утверждения

Процесс согласования и утверждения КЭСИ в большинстве случаев (особенно на начальном этапе внедрения) представляет собой проверку электронной спецификации, полученной на основе

КЭСИ. В рамках этого процесса электронная спецификация проверяется на соответствие государственным и отраслевым стандартам по аналогии с бумажной спецификацией в случае использования подлинников ДЭ, выполненных в бумажной форме. При этом КЭСИ в процессе согласования может подробно не проверяться.

На первый взгляд, согласующие лица должны проверять КЭСИ в частности на предмет наличия компонентов из разделов спецификации «Материалы», «Стандартные изделия» и «Прочие изделия». Подобные компоненты являются библиотечными данными и должны быть созданы на основе данных СПВП (ограничительного перечня). У данных ком-

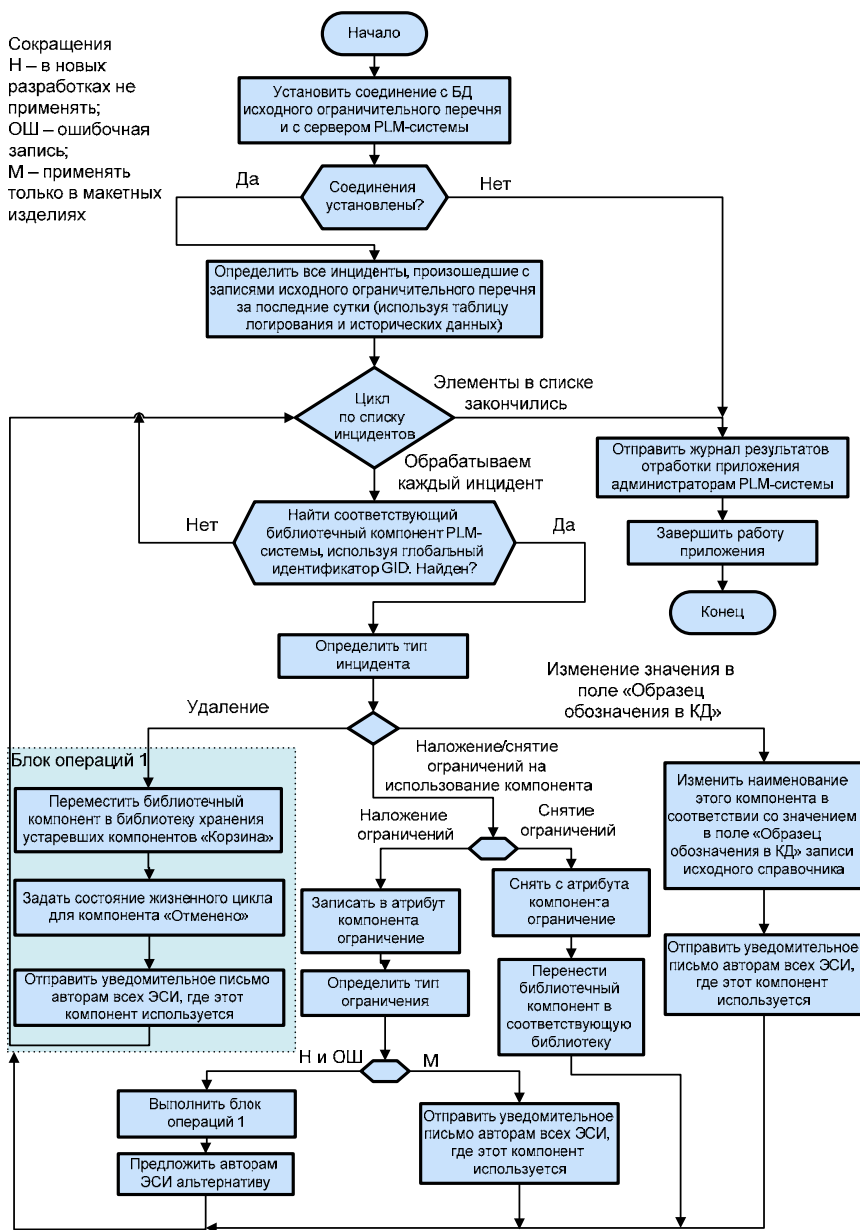


Рис. 2. Алгоритм передачи изменений данных СПВП (исходного ограничительного перечня) в PLM-систему

пунктов должно быть состояние жизненного цикла «Выпущено», т.е. это состояние говорит о том, что элемент создан на основе данных СПВП или был согласован в рамках запроса на создание библиотечных компонентов. Также у таких компонентов не должно быть ограничений в части использования в новых разработках, т.е. значение атрибута «Ограничения» для данного компонента должно быть не заполнено. В случае, когда согласование проходит макетное изделие, допустимо использование библиотечных компонентов с ограничением «только для макетных изделий». Помимо этого, в поле «Обозначение» данного компонента должен фигурировать глобальный идентификатор соответствующей записи из СПВП, который при генерации спецификации не отражается на бланке. Перечисленные выше критерии

при проверки КЭСИ достаточно четко формализованы и поэтому вполне применимы для автоматической проверки.

В связи с вышесказанным возникает вопрос: в какой момент должна обрабатываться процедура автоматической проверки КЭСИ? Процедура взятия на изменение/сдачи на хранение объекта КЭСИ в PLM-системе является основной базовой функцией, и если решить встроить в нее дополнительные проверки – значит необходимо сделать декомпиляцию исходного программного кода, внести в него изменения и собрать проект заново. Даже если проект будет работоспособен – данные действия при кастомизации системы производить крайне не рекомендуется, т.к. в дальнейшем при обновлении системы работоспособность проведенной кастомизации не гарантирует-

ся, и при этом может существовать вероятность негативного влияния на связанные процедуры. Таким образом, данный тип кастомизации, именуемый в зарубежных источниках как «code injection», проводить не следует.

Одним из подходящих вариантов реализации данной процедуры могло бы быть использование программного сервиса, который бы отслеживал все события «сдачи на хранение» КЭСИ, происходящих в PLM-системе, и после этого проверял сданную на хранение КЭСИ. Но ввиду большого объема данных операций, происходящих в системе, данный вариант также не является целесообразным.

Шаблоны рабочих процессов WorkFlow PLM-системы Windchill предоставляют удобные средства использования программного кода, написанного собственноручно. Следует также отметить, что рабочие процессы согласования, утверждения и проведения изменений подразумевают доработку

отправленных ДЭ, и, в частности, КЭСИ. Поэтому было принято решение процедуру автоматической проверки КЭСИ встроить в шаблоны рабочих процессов согласования, утверждения и изменения ДЭ ещё до отправки ДЭ согласующим лицам. Для этого был использован API (Application Programming Interface – интерфейс программирования приложений) и модуль «Администрирование шаблонов рабочих процессов» PLM-системы Windchill. Функционал этого модуля позволяет встраивать программный код в базовые объекты шаблонов. Алгоритм процедуры автоматической проверки КЭСИ представлен на рис. 3.

Серверная часть PLM-системы Windchill написана на языке программирования Java, и само API представляет собой, по большей части, библиотеку java-классов. В связи с этим в java-класс WFUtils был добавлен метод с сигнатурой «public String checkPossibilityOfUsingNSIParts()». Этот метод проверяет все отправленные на согласование КЭСИ

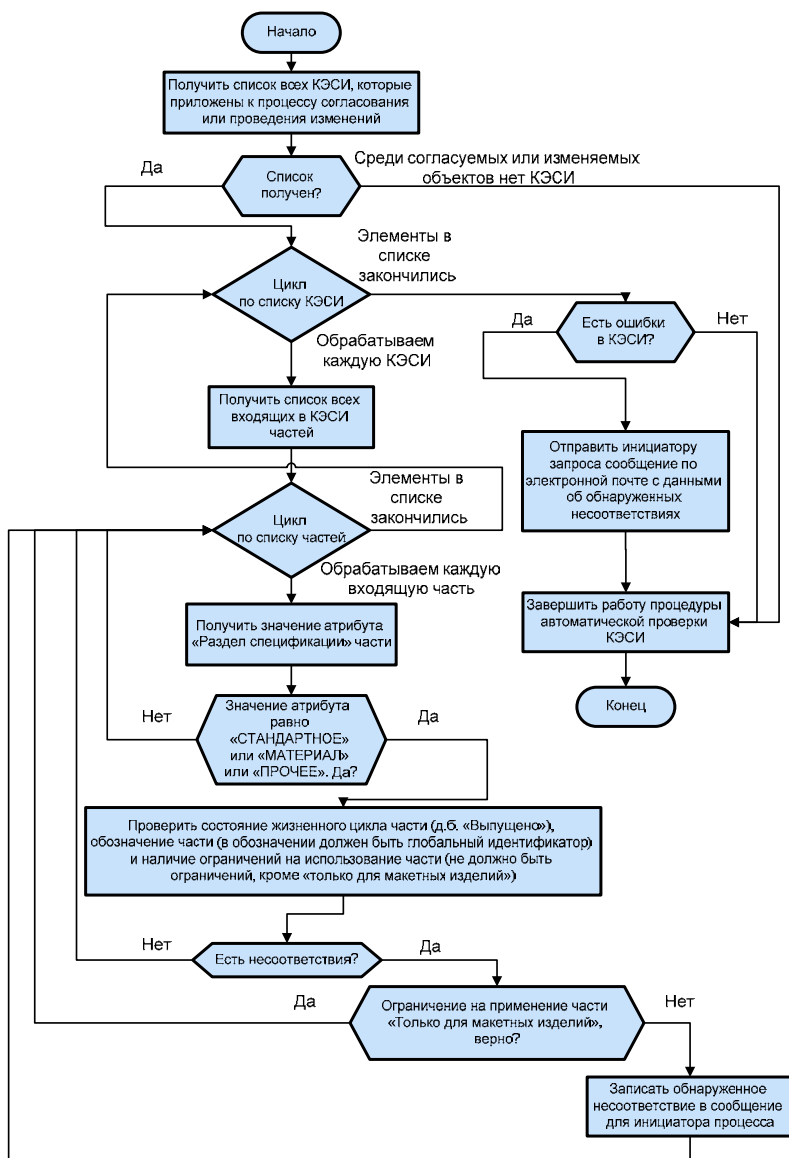


Рис. 3. Алгоритм автоматической проверки КЭСИ на этапе согласования и проведения изменений

на 1-м уровне вхождения на предмет возможности использования частей с разделами спецификации «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы».

Заключение

В заключение хочется отметить, что процесс интеграции системы управления жизненным циклом изделий в ИИС предприятия достаточно широко распространен, т. к., как правило, предприятий, которые используют в своей работе программное обеспечение от одного производителя, совсем немного. Для полноценной работы как системы управления жизненным циклом изделий, так и системы планирования ресурсов предприятия (т. е. ERP-системы, которая является одним из основных компонентов ИИС), а также систем других типов: MES, CRM, бухгалтерских систем и т. п. необходимы исходные данные. Для PLM-системы такими данными являются записи о продукции внешней поставки, которые необходимо использовать при разработке и конструировании изделия. Для ERP-системы такими данными являются данные об утверждённых составах изделий или КЭСИ, которые нужны для решения задач снабжения, планирования и технологической подготовки производства. Эти данные изначально рождаются в PLM-системе.

В современных источниках недостаточно полно описаны процессы обмена данными между этими системами, о том, как и какие данные передавать, как их изменять и синхронизировать. С такими вопросами может столкнуться любая организация, которая интегрирует в едином информационном пространстве несколько систем. При этом необязательно, чтобы этими системами были PLM и ERP системы. Вопросы синхронизации данных одной системы, созданные на основе данных другой системы, возникнут с большой долей вероятности, т.к. все данные рано или поздно претерпевают процесс изменений. Таким образом, в представленной работе разработаны ме-

тоды и алгоритмы процессов обмена данными об изделии в ИИС предприятия, которые позволяют сократить количество ошибок в КД и доработок КЭСИ, а также уменьшить время передачи данных об изделии из PLM-системы в ERP-систему.

Литература

1. ГОСТ 2.053-2013. Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия.
2. Уваров Н. И. Разработка информационно-математической модели функционирования предприятия на основе PLM-системы. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Комсомольск-на-Амуре, 2004.
3. Донецкая Ю. В. Разработка и исследование методов управления данными в САПР изделий приборостроения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург, 2011.
4. Вичугова А. А. Модели и алгоритмы автоматизированного управления жизненным циклом разнотипных взаимозависимых объектов в интегрированной информационной среде. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск, 2013.
5. Кульга К. Особенности внедрения на предприятиях и методы интеграции CAD/CAM/PDM/FRP/MRP/MES/PLM- и ERP-систем // САПР и графика. 2008. № 3. С. 91–94.
6. Димитрюк С. Интеграция T-FLEX PLM + ERP // САПР и графика, 2016. № 2. С. 54–57.
7. Кулагин М. В., Лопатенко А. С. Интеграция электронных библиотек и систем управления документами, как задача, решаемая системой обмена информацией между объектно-ориентированными информационными системами // Вторая Всероссийская конференция «Электронные библиотеки: Перспективные методы и технологии, электронные коллекции» 26–28 сентября 2000 г., Протвино.