

Введение Ситуация на мировом рынке наукоемкой продукции развивается в сторону полного перехода на безбумажную электронную технологию проектирования, изготовления и сбыта продукции. Проектно-конструкторские данные об изделии (технология, оборудование) занимают значительную часть в объеме информации, используемой в ходе его жизненного цикла. Публикации последнего времени говорят о том, что, несмотря на широкое применение компьютерных технологий, преимущества электронного представления информации практически не используются. В небольшом количестве проектных работ, использующих автоматизированные системы проектирования, полученные результаты все равно переводятся из электронного вида в форму бумажных документов. Основная причина этого – недостаточный уровень подготовки специалистов-химиков в области компьютерных технологий. Наиболее перспективной системой компьютерной поддержки является CALS-технология. Концепция CALS определяет набор правил, регламентов, стандартов, в соответствии с которыми строится информационное («электронное») взаимодействие участников процессов проектирования, производства, обслуживания и т.д. Данная концепция изначально базировалась на понятии жизненного цикла (ЖЦ) средств военной техники и получила обозначение CALS (Computer Aided Logistic Support). В настоящее время концепция сохранила существующую аббревиатуру (CALS), но получила более широкую трактовку: Continuous Acquisition and Life cycle Support — непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукта. Современные информационные CALS-технологии, в частности стандарт ISO 10303 (STEP Standard for the Exchange of Product Model Data), предлагают способ решения проблемы электронного представления проектно-конструкторской информации при помощи использования стандартизованного интегрированного описания изделия. Интегрированное электронное описание изделия – это набор данных различного типа, полученных в ходе проектирования, а затем преобразованных в стандартизованный вид и достаточных для решения задач последующих этапов ЖЦ. Например, конструкторское электронное описание в соответствии с CALS-стандартом содержит структуру и варианты конфигурации изделия, геометрические модели и чертежи, свойства и характеристики составных частей.

1. Построение CALS-проектов на основе PSS-EE Международный стандарт ISO 10303 STEP регламентирует логическую структуру базы данных, номенклатуру информационных объектов, хранимых в базе, их связи и атрибуты. Типовые информационные объекты, такие как «технологический регламент», «исходные данные на проектирование» и др., независимые от характера описания изделия, называются в стандарте «интегрированными ресурсами», на основе которых в данной работе построена схема баз данных об изделии для конкретной предметной области – химической промышленности. Применение CALS-технологий в химической промышленности впервые было предложено

именно во ФГУП «ИРЕА», где за последние 15 лет были разработан широкий ассортимент пилотных CALS-проектов для различных областей науки и техники. В CALS-проектах рассматривались как общие вопросы химической технологии [1, 2] и экологии [3], так и конкретные перспективные направления: биотехнология [4], нанотехнология [5] и др. Однако стоит отметить, что до настоящего времени работы проводились в программных комплексах PSS Lite или PSS Demo. Lite-версия – это полноценный клиент PSS и собственный сервер БД (Lite сервер), работающий с собственной встроенной СУБД. Конфигурация PSS Lite имеет двухуровневую архитектуру «Клиент-сервер». В качестве сервера выступает модуль Локальный сервер БД, входящий в дистрибутив клиентского модуля PSS. Любой компьютер, на котором установлен клиент PSS, может выступать в роли Lite-сервера БД. Конфигурация Lite имеет ограничения на объем обрабатываемых данных. Данная конфигурация предназначена для работы с небольшими объемами данных при тестировании системы, отработке процедур работы с PSS, отладке приложений, написанных на PSS API. Построение CALS-проектов в данной работе впервые предлагается на основе программы PDM STEP Suite Enterprise Edition (PSS-EE), на которую нами приобретена лицензия (APL-3451631-01). PDM STEP Suite представляет собой трехуровневую информационную систему, состоящую из сервера СУБД (Oracle Server 8.i), сервера приложений (Oracle Client 8.i & PSSOraSrv) и клиентского модуля (PSS). Клиентский модуль обеспечивает диалоговое взаимодействие с БД через сервер приложений. Трехуровневая архитектура обеспечивает эффективное распределение вычислительной нагрузки при одновременной работе большого числа пользователей. Функциональность программного комплекса PSS-EE может быть разделена на несколько уровней. Первый уровень – это извлечение, преобразование и загрузка данных. С системно-технической точки зрения данный уровень представлен локальной вычислительной сетью (ЛВС), объединяющей пользователей и поставщиков данных. Клиентская часть системы PSS осуществляет первичное структурирование информации, которая является рабочей для повседневной деятельности различных подразделений. Перед загрузкой в хранилище вся эта информация должна быть согласована, чтобы обеспечить целостность и непротиворечивость аналитических данных. Дальнейшая обработка данных происходит на серверах реляционной (SQL – ориентированной) базе данных Oracle, которая может функционировать на базе компьютеров под управлением Windows либо Unix. СУБД Oracle также является ядром хранилища данных PSS и представляет второй уровень системы. Согласованные данные перемещаются в СУБД на основе некоторого регламента. Централизованное хранилище содержит исторические данные, т.е. данные за достаточно большой промежуток времени. В оперативной системе данные хранятся в целостном виде за ограниченный промежуток, после чего они отправляются в архив. Третий уровень – это уровень анализа данных на основе

специализированных технологий (рис. 1). Рис. 1 – Архитектура системы «сервер (Oracle Server 8.i) – клиентский модуль (PSS)» для предметной области «Химическая промышленность»

Одной из важнейших возможностей системы PDM STEP Suite является возможность доступа к ее базе данных с помощью библиотеки функций (API). Использование API системы PDM STEP Suite позволяет без особого труда разрабатывать специализированные приложения для решения конкретных задач. Стандартизированный доступ к библиотечным функциям позволяет значительно расширить функциональность системы и повысить эффективность ее использования. Это достигается с помощью класса CapILoadData, формируя на клиенте массив структур описывающих цепочку данных, которые нужно прочесть из БД в кэш клиента. Вызов определенных функций преобразовывается в набор SQL запросов, которые читают данные из Oracle в кэш (локальное хранилище данных) на сервере приложений. После отработки всех записей, полученные сервером приложений, данные передаются клиенту. Важной особенностью взаимодействия с системой через API является автоматическая оптимизация способов получения данных. Методы и программные средства управления данными об изделии играют системообразующую роль в интегрированной информационной среде (ИИС) предприятия, обеспечивая сбор и хранение рационально структурированных данных о конструкции изделия, технологии его изготовления и эксплуатации, а также о ресурсах, требуемых для осуществления процессов, и предоставление этой информации другим автоматизированными системами Система PDM STEP Suite предназначена для управления данными об изделии на всех стадиях жизненного цикла. Использование PDM STEP Suite позволяет объединить данные различных служб предприятия в едином информационном пространстве, гарантируя их актуальность, достоверность, полноту, целостность и непротиворечивость. В СУБД Oracle введенные данные представлены в виде таблиц своего (конкретного) табличного пространства. Каждое поле таблицы рассматриваемого табличного пространства имеет уникальное имя и ID, благодаря которым система безошибочно отображает сведения, запрашиваемые пользователем. Обращение к конкретному документу, хранящемуся в БД, происходит через серию SQL-запросов. Для предметной области «химическая промышленность» предложена структура базы данных (рис. 2), включающая следующие таблицы: «Классы», «Вещества», «Продукты», и «Квалификации». В систему занесена информация о 7 производимых нами неорганических кислотах различных квалификаций. В окне программы PSS вся информация представлена пользователю в виде раскрывающегося дерева папок, обеспечивая точность и инвариантность перехода от соответствующего класса к веществу и т.д. Рис. 2 – Структура базы данных в предметной области «Химическая промышленность»

Систематизация веществ по классам осуществлялась в соответствии с Межгосударственным классификатором стандартов. На верхнем уровне

систематизации выделены 2 класса химических соединений: «Неорганические химические вещества 71.060» (ID класса = 01) и «Органические химические вещества 71.080» (ID класса = 02). В классе «Неорганические вещества» выделено 5 групп: химические элементы (ID вещества = 01), оксиды (ID вещества = 02), кислоты (ID вещества = 03), основания (ID вещества = 04) и соли (ID вещества = 05). На следующих уровнях иерархии для всех исследуемых веществ выделены конкретные продукты (азотная, борная, серная и другие для рассматриваемого подкласса «Кислоты») и категории чистоты – квалификации продуктов: технический «тех» (ID квалификации = 1), чистый «ч» (ID квалификации = 2), чистый для анализа «чда» (ID квалификации = 3), химически чистый «хч» (ID квалификации = 4) и особой чистоты «осч» (ID квалификации = 5). Созданная на базе PSS-EE и Oracle прикладная система позволяет оперативно решать задачи, представляющие для нас первостепенный интерес. Одной из важнейших задач в рассматриваемой нами предметной области является автоматизированная разработка современной нормативной документации.

2. CALS-проекты нормативной документации (технологические регламенты) В разработанной нами БД заложены несколько типов нормативной документации для производства химических реактивов и особо чистых веществ: технические условия, технологический регламент, лабораторный регламент, исходные данные на проектирование. Наибольшее внимание в работе уделено технологическим регламентам, в основе информационной структуры которых лежит «Положение о технологических регламентах производства продукции на предприятиях химического комплекса» (от 06.05.2000). Это «Положение» устанавливает состав, порядок разработки, оформления и утверждения технологических регламентов производства продукции химического комплекса на предприятиях независимо от их организационно-правовой формы собственности. Для постоянных, временных и разовых технологических регламентов в базы данных (рис. 3) занесены следующие 14 основных разделов: общая характеристика производств; характеристика производимой продукции; характеристика исходного сырья, материалов, полупродуктов и энергоресурсов; описание технологического процесса и схемы; материальный баланс; нормы расхода основных видов сырья, материалов и энергоресурсов; нормы образования отходов производства; контроль производства и управление технологическим процессом; возможные неполадки в работе и способы их ликвидации; охрана окружающей среды; безопасная эксплуатация производства; перечень обязательных инструкций; чертеж технологической схемы производства; спецификация основного технологического оборудования и технические устройства, включая оборудование природоохранного назначения. Каждому разделу регламента соответствует свой уникальный ID таблицы «Разделы регламента». Рис. 3 – Структура базы данных «Технологический регламент» Каждый из 14 разделов регламента включает иерархическую

структуру подразделов 2-го, 3-го и т.д. уровня. Например, категория «характеристика производимой продукции» (ТР-2) включает следующие 5 подкатегорий 2-го уровня: техническое наименование продукта в соответствии с нормативно-технической документацией; наименование государственного или отраслевого стандарта, технических условий, стандарта предприятия, в соответствии с требованиями которых выпускается продукция, с перечислением технических требований; основные свойства и качество выпускаемой продукции, физико-химические свойства и константы: внешний вид, плотность, растворимость, температуры застывания или плавления, кипения, упругость паров, вязкость, электропроводность, диэлектрическая постоянная и другие показатели; область применения (основная); сведения о регистрации информационных карт потенциально опасных химических и биологических веществ (карт ПОХВ); сведения о регистрации паспортов безопасности (ПБ) веществ (материалов). Пользователь программы PSS может получить всю необходимую информацию по любому подразделу регламента, занесенную в БД. Выбрав класс (например, органические химические вещества – ID 02) и необходимое наименование вещества, – например, галогензамещенные углеводороды (ID 04), а также требуемый продукт – например, ЧХУ квалификации «ос.ч ОП-3» (ID 0028), – и вид нормативной документации – технологический регламент (ID 02), – в окне программы PSS отображается перечень подразделов регламента в виде раскрывающегося дерева папок, вложенными файлами в которых могут являться тексты нормативной документации (ГОСТ, ОСТ, СТП, ТУ), таблицы свойств и характеристик и др. (рис. 4). В папке может располагаться несколько вложенных документов различного формата – чертежи, рисунки, текстовые документы и таблицы. При необходимости вложенные файлы могут быть открыты в отдельном окне соответствующей программы. Каждый из подразделов регламента содержит связанные документы и характеристики, отображающие технологию производства. Так подраздел №02.2 «Наименование ГОСТ, ОСТ, ТУ, СТП...» содержит файл технических условий на рассматриваемый продукт – ЧХУ «ос.ч ОП-3» (рис. 4-а). Нами выпускается 9 наименований четыреххлористого углерода различных квалификаций [6]. В рассматриваемой папке «Особой чистоты» представлены два наименования ЧХУ: «ос.ч 18-4» и «ос. ч ОП-3». ЧХУ марки «ос.ч 18-4» предназначен для очистки и обезжиривания деталей в электронике и радиотехнике. ЧХУ квалификации «ос.ч ОП-3» применяется в ИКи ЯМР-спектроскопии. В папке «Химически чистый» представлены 5 наименований ЧХУ: «хч БХС», «хч», «хч для УФ», «хч для ЭВС» и «хч для хроматографии», – а в папках «Чистый для анализа» и «Чистый» – по одному наименованию ЧХУ: «чда» и «ч». Область применения каждого продукта определяет, какими показателями будет лимитироваться конкретный вид ЧХУ. Так, чистота рассматриваемого реагента – ЧХУ «ос.ч ОП-3» – лимитируется такими показателями, как массовая

доля соединений со связями CH и $\text{C}=\text{C}$ и кислоты. Рис. 4 – CALS-проект технологического регламента получения четыреххлористого углерода особой чистоты (а – титульный лист технических условий на ЧХУ «ос.ч ОП-3») В созданной ранее системе компьютерного менеджмента качества для аналитического мониторинга ЧХУ [6] были структурированы и описаны все показатели качества для каждого рассматриваемого реагента. В рассматриваемой в данной работе системе все показатели качества структурированы в папке «Основные свойства и качество выпускаемой продукции» раздела №02 технологического регламента. Так, группа показателей «Внешний вид» содержит сведения о результатах испытаний образца по данному показателю, группа показателей «Характеристики состава» в свою очередь имеет 9 подкатегорий: «Основное вещество», «Углеводороды», «Нелетучий остаток», «Кислоты (в пересчете на HCl)», «Свободный хлор», «Хлориды», «Вода», «Вещества, реагирующие с серной кислотой» и «Фосген». В каждой подкатегории представлены результаты проведенных испытаний по указанному показателю качества. Так, в подкатегории «Углеводороды» выделены 4 подкатегории, соответствующие определяемым для данной квалификации ЧХУ примесным дихлорметану, хлороформу, 1,2-дихлорэтану и трихлорэтилену. Для каждой из указанных примесей перечислены методы их определения: для хлороформа это газовая хроматография, ИК-спектроскопия и ЯМР-спектроскопия [7].

3. Разработка конструкторской документации на основе концепции CALS Конструкторское электронное описание в соответствии со стандартом ISO 10303 STEP содержит структуру категорий, документы, статусы, группы изделий с их версиями, свойствами, классификациями и др. Благодаря прямой интеграции с CAD-системами, такими как SolidWorks, SolidEdge, AutoCAD 2000 и текстовым редактором Word, пользователь PSS-EE получает возможность редактировать различные документы. При этом в базе данных исходная версия документа «замораживается» и помечается как находящаяся в процессе редактирования. После завершения редактирования создается новая версия, и хранится вместе с предыдущей. При этом запоминается порядок создания версий документа образующий дерево. То есть для каждой версии документа можно определить ту, на основе которой она была сделана. Одна из версий документа является активной, то есть действительной на данный момент. При обращении пользователя к документу рассматривается именно активная версия. Но всегда можно обратиться к любой конкретной версии документа. Так, например, раздел № 13 технологического регламента содержит чертеж технологической схемы (в формате AutoCAD), а также чертежи и блок-схемы различных стадий производства, которые могут быть открыты для просмотра и изменения в окне AutoCAD. Рис. 5 – Элемент CALS-проекта. TP-13 «Чертеж технологической схемы» (а – технологическая схема ЧХУ ос.ч ОП-3; б – модуль предварительной ректификации; в – куб ректификационной колонны) На

рисунке приведен элемент CALS-проекта технологического регламента получения ЧХУ «ос.ч ОП-3». Технологическая схема (рис. 5-а) состоит из двух стадий – предварительной и точной ректификации. Обе стадии являются выпускающими, т.е. с них производится вывод готовой продукции соответствующего ассортимента. Одна из этих стадий всегда завершает любую технологическую линию (траекторию) при получении соответствующего продукта. Стадия предварительной ректификации (рис. 5-б) предназначена для предварительного концентрирования технического сырья, необходимого для обогащения фракций, направляемых на точную ректификацию, и выделения товарных фракций [8]. Конструктивно установка состоит из отдельных узлов, занесенных в соответствующие подкатегории CALS-проекта: влагоотделителя (В-1), куба установки (Р-1), ректифицирующей части (РК-2), мерника сырья (Сб-12), паропровода (ПП-3), сборника водного слоя (Сб-6), сборника готового продукта (Сб-7), сборника предгона (Сб-5), флорентийского сосуда (ФС-1), холодильника-конденсатора (Т-5). Вся совокупность применяемого оборудования занесена в CALS-проект в соответствующую папку «Стадия предварительной ректификации». Программный комплекс PSS-EE оперирует такими понятиями, как «папка», «документ», «изделие», «версия изделия», «характеристика», «статус» и некоторыми другими. Одним из основных информационных объектов в PSS является изделие. Согласно ГОСТ Р ИСО 10303 изделие – это объект или вещество, полученные естественным или искусственным путем. Изделие может представлять собой материальный предмет, вещество, программный продукт, систему, состоящую из материальных предметов и программных средств, взаимодействующих между собой, являющихся результатом деятельности предприятия (ГОСТ Р 50.1.031-2001). Все перечисленные аппараты каждой стадии представлены в системе именно в виде «изделий». С изделием ассоциируется различного рода информация, которая накапливается на протяжении всего ЖЦИ: характеристики, документы, статусы (результаты согласований), технологическая информация. Основой аппаратного оформления стадии предварительной ректификации является установка периодической ректификации, состоящая из куба (рис. 5-в), обогреваемого паром и охлаждаемого оборотной водой через рубашку, и установленная на кубе и сообщенная с ним насадочная ректификационная колонна периодического действия, выполненная из стекла Simax. Параметры колонны, материал, из которого она изготовлена, занесены в CALS-проект в подпункт «Характеристики» и отображаются при вызове изделия «Ректификационная колонна». В качестве насадки используются керамические кольца Рашига (16x16 мм). Верх ректификационной колонны подключен к дефлегматору, а последний к емкостям для сбора продукта перегонки, при этом установка снабжена тремя емкостями для отбора продуктов реактивных квалификаций и флорентийским сосудом, установленным на выходе из дефлегматора и подключенным к

ректификационной колонне и емкости для сбора водной промежуточной фракции и предгона через флорентийский сосуд. Подаваемый в систему газ подвергается очистке во влагоотделителе, в котором происходит удаление частиц влаги, пыли и других примесей. Ректификационная колонна составлена из трех стеклянных царг одинаковой высоты, герметично соединенных между собой, куб выполнен из эмалированного чугуна, а дефлегматор и емкости для сбора продуктов перегонки – из стекла Simax, мерные и промежуточные емкости (флорентийские сосуды, сборники) – с уплотнениями из фторопласта-4. К схеме имеются все необходимые технологические подводки: пар – греющий агент, охлаждающаяся обратная вода, техническая артезианская вода, вакуум, инертный газ – азот, соединенные с атмосферой через фильтр – огнепреградитель. Для удобства отображения важнейших параметров того или иного изделия или документа в системе имеется возможность присоединения «характеристик». В рассматриваемых примерах CALS-проектов на особо чистые химические вещества в качестве характеристик выступают такие параметры, как массовая доля основного вещества и примесей, внешний вид, физические свойства и др. Перечень возможных характеристик может легко дополняться при помощи специального модуля «Настройка словарей». Важным атрибутом характеристики является тип, с помощью которого одна и та же характеристика может присоединяться к изделию на разных стадиях ЖЦ. Каждой характеристике ставится в соответствие своя единица измерения. Предварительно в программном модуле «Настройка БД» создается свой словарь по единицам измерения. Так, например, в представленной БД нами разработаны следующие словари характеристик: химические свойства, физические свойства, материалы и прочие. Словарь «Химические свойства» содержит набор характеристик, отображающих химический состав реактива: содержание основного вещества, содержание примесей кислот, катионов металлов, углеводов и других компонентов в зависимости от рассматриваемого продукта. Единицей измерения для перечисленных характеристик является «Процентное содержание». Для таких характеристик, как «Внешний вид», «Цвет» в качестве единицы измерения выбирается описательная. Для разделов №13-14 технологических регламентов (ТР-13 и ТР-14) в справочники и основные разделы БД занесены все используемые аппараты. Для описания характеристик аппаратов создан словарь размеров и технических характеристик, таких как «объем», «высота», «диаметр», «материал изготовления» и проч. С помощью созданного словаря характеристик каждый занесенный в БД аппарат описывается точно и однозначно. Благодаря встроенной функции «Сравнение изделий» пользователь PSS может выводить сравнительную таблицу выбранных изделий и их характеристик, что позволяет оценить возможность замены одного изделия другим. Система PSS также позволяет управлять различной нормативно-справочной информацией. Пользователь может создавать

неограниченное количество справочников, группируя различные объекты: в рассматриваемой БД создан справочник по технологическому оборудованию «Аппараты». В качестве «элементов справочника» выбраны виды оборудования, такие как сборники, ректификационные колонны и др. К каждому элементу справочника можно присоединить характеристику: материал, из которого изготовлено оборудование, составные детали, прочностные характеристики. Присоединение характеристик так же как для описания химических свойств происходит из предварительно созданных словарей. Кроме того, содержащиеся в «элементах справочника» изделия имеют тот же набор характеристик и связанных документов, что и в основном дереве папок: чертежи, таблицы свойств и проч. При раскрытии изделия в дереве папок пользователь может посмотреть, в какие справочники входит данное изделие, а также полностью просмотреть сам справочник, что дает возможность оперативно найти замену нужному изделию. Одной из задач технологического процесса получения особо чистых веществ является выбор емкостного оборудования [9]. В созданном справочнике «Аппараты» все сборники, мерники и емкости занесены в элемент справочника «Сборники»: элемент аппаратного оформления стадии финишной ректификации (рис. 5) изделие «мерник сырья» (поз. Сб-1), сборник предгона (Сб-11), сборник водного слоя (Сб-7) и другие элементы обеих стадий. Отобразив справочники, в которые входит рассматриваемое изделие, пользователь получает возможность просмотреть все изделия, входящие в данный элемент справочника, т.е. для приведенного примера – все сборники и мерники. В поле «Характеристики» отображаются все присоединенные характеристики: чертеж, спецификация, составные части выбранного аппарата и проч. Так, например, рассматриваемый мерник сырья (поз. Сб-1) имеет следующие характеристики: материал изготовления – нержавеющая сталь (н/ст), объем – 250 л. Справочник может быть отображен в отдельном окне в виде таблицы или раскрывающегося дерева. Добавлять объекты в справочник можно как из уже имеющихся в БД записей, так и создавая новые. При добавлении в справочник объектов из БД они сохраняют присоединенные характеристики и документы, а при создании нового объекта пользователь может присоединить характеристики и документы из созданных ранее словарей. Помимо справочника объектов и понятий в системе PSS существует возможность создания справочника понятий, где могут храниться необходимые сведения о любом объекте БД. Добавление элементов в справочник понятий происходит аналогично добавлению элементов в справочники объектов. Применение концепции CALS в рассмотренной предметной области позволяет существенно сократить время и повысить качество выполняемых работ. С помощью современного программного комплекса PSS-EE разработана информационная система, содержащая всю необходимую информацию для генерации технологических регламентов производства особо чистой продукции. В систему занесены такие важные

индикаторы, как показатели качества продукции, образцы нормативной документации, чертежи и схемы производства и др. Созданы словари характеристик на особо чистую продукцию, а также справочники используемого в производстве технологического оборудования, структурированные по видам аппаратов. Это позволяет осуществлять комплексный подход к выбору аппаратного оформления каждой стадии производства с учетом возможности замены узлов.