

УДК 004.9: 543.61: 661.11

А. М. Бессарабов, Л. В. Трынкина, В. Е. Трохин,
А. Г. Вендило, О. В. Стоянов

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ CALS-СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ШИРОКОГО АССОРТИМЕНТА ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ОСОБОЙ ЧИСТОТЫ

Ключевые слова: CALS-система, органические растворители, технические условия.

На основе информационного CALS-стандарта ISO 10303 STEP была создана типовая схема (протокол применения) для технических условий на ассортимент органических растворителей. С помощью CALS-системы проведена автоматизированная разработка технической документации для перспективного ассортимента особо чистой продукции.

Keywords: CALS-system, organic solvents, technical conditions.

There was created typical scheme (application protocol) for technical conditions for assortment of organic solvents based on information CALS-standard ISO 10303 STEP. Automatic development of design and technical documentation for the prospective assortment of high pure products was carried out by means of CALS-system.

Введение

Среди веществ особой чистоты, востребованных в различных отраслях народного хозяйства (научные исследования, промышленное производство, обеспечение образовательного процесса) высокочистые растворители занимают одно из ведущих мест, как по величине ассортимента, так и по разнообразию физико-химических свойств. Они применяются в электронной, электротехнической и радиопромышленности; тонком органическом и фармацевтическом синтезе, где требуется использование технологических сред, реагентов и вспомогательных веществ с гарантированными свойствами.

Одной из особенностей ассортимента особо чистых растворителей является наличие разноплановых линеек продуктов, которые можно объединить по одному или нескольким признакам, обеспечивающим возможность широкого применения в аналогичных процессах, требующих изменения или оптимизации условий применения: кетоны с различными температурами кипения – ацетон, метилэтилкетон, метилизобутилкетон; ароматические углеводороды: бензол, толуол, о-ксилол (п-ксилол); спирты; петролейные эфиры, алифатические углеводороды. Особое место занимают бифункциональные растворители, проявляющие свойства различных классов соединений: моноэтаноламин (амин и спирт), этилцеллозольв (спирт и простой эфир), хлорпроизводные ароматических углеводородов, циклогексиламин (циклоалкан и амин), и др.

Эффективная разработка технических условий на такой широкий и сложный ассортимент особо чистой продукции, как органические растворители, требует использования самых современных информационных систем. Наиболее перспективной системой компьютерной поддержки является CALS-технология (Continuous Acquisition and Life cycle Support — непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукта) [1].

Нами был проведен анализ широкого круга зарубежных и значительно меньшего количества отечественных работ, посвященных концепции CALS [2, 3]. По данным западных аналитиков, применение CALS-технологий позволяет экономить десятки миллиардов долларов в год и сократить сроки проведения всех работ на 15–20%. В настоящее время в мире действует более 25 национальных организаций, координирующих вопросы развития CALS-технологий (США, Канада, Япония, Великобритания, Германия, Австралия и др.) и в ближайшие годы мировой рынок наукоемких технологий, так же, как рынок промышленной кооперации, полностью перейдет на стандарты CALS.

Одним из наиболее эффективных методов освоения концепции CALS является создание фонда пилотных CALS-проектов. Работы в этом направлении проводились нами в биотехнологии [4], нанотехнологии [5], в экологических исследованиях [6], мониторинге противогололедных материалов [7] и др. В данной работе рассматривается информационный CALS-проект для автоматизированной разработки технических условий на перспективную продукцию – органические растворители особой чистоты.

1. Информационная модель технических условий для органических растворителей

На основе информационного CALS-стандарта ISO 10303 STEP была создана типовая схема (протокол применения) для технических условий на особо чистую продукцию [8]. При разработке типовой схемы в основу информационной структуры положен межгосударственный стандарт ГОСТ 2.114-95 [9], устанавливающий общие правила построения, изложения, оформления, согласования и утверждения технических условий на продукцию. Эта типовая структура баз данных включает в себя вводную часть и 8 основных информационных

категорий: технические требования; требования безопасности; требования охраны окружающей среды; правила приемки; методы контроля; транспортирование и хранение; указания по эксплуатации; гарантии изготовителя (рис. 1).

В категорию CALS-проекта «Вводная часть» заносится наименование продукции, ее назначение, область применения (при необходимости) и условия эксплуатации. Наименование продукции должно соответствовать наименованию, указанному в основном документе на эту продукцию. В компьютерном проекте используются типовые формы. Например, изложение вводной части начинается типовой формой: «Настоящие технические условия распространяются на», после чего следует наименование (условное обозначение) продукции, а затем опять типовая форма «предназначенной для» с последующим описанием соответствующей области применения. Ввод наименования продукции и области применения производится специалистом в контекстном меню информационной CALS-системы.

Категория № 1 CALS-проекта «Технические

требования» состоит из следующих подкатегорий: «Основные параметры и характеристики (свойства)», «Требования к сырью, материалам, покупным изделиям», «Комплектность», «Упаковка» и «Маркировка» (рис. 1). Подкатегория «Основные параметры и характеристики (свойства)» начинается с указания наименования (условного обозначения) продукции, затем используется типовая форма «должен (на, но) соответствовать требованиям настоящих технических условий и комплекта документации согласно», после чего указывают обозначение основного конструкторского или другого технического документа. При отсутствии конструкторской или другой технической документации подкатегория «Основные параметры и характеристики (свойства)», должна начинаться указанием наименования (условного обозначения) продукции, а затем использоваться типовая форма «должен (на, но) соответствовать требованиям настоящих технических условий». При наличии стандартов общих технических условий, а также стандартов на конкретное изделие, тут же должна быть ссылка на них.

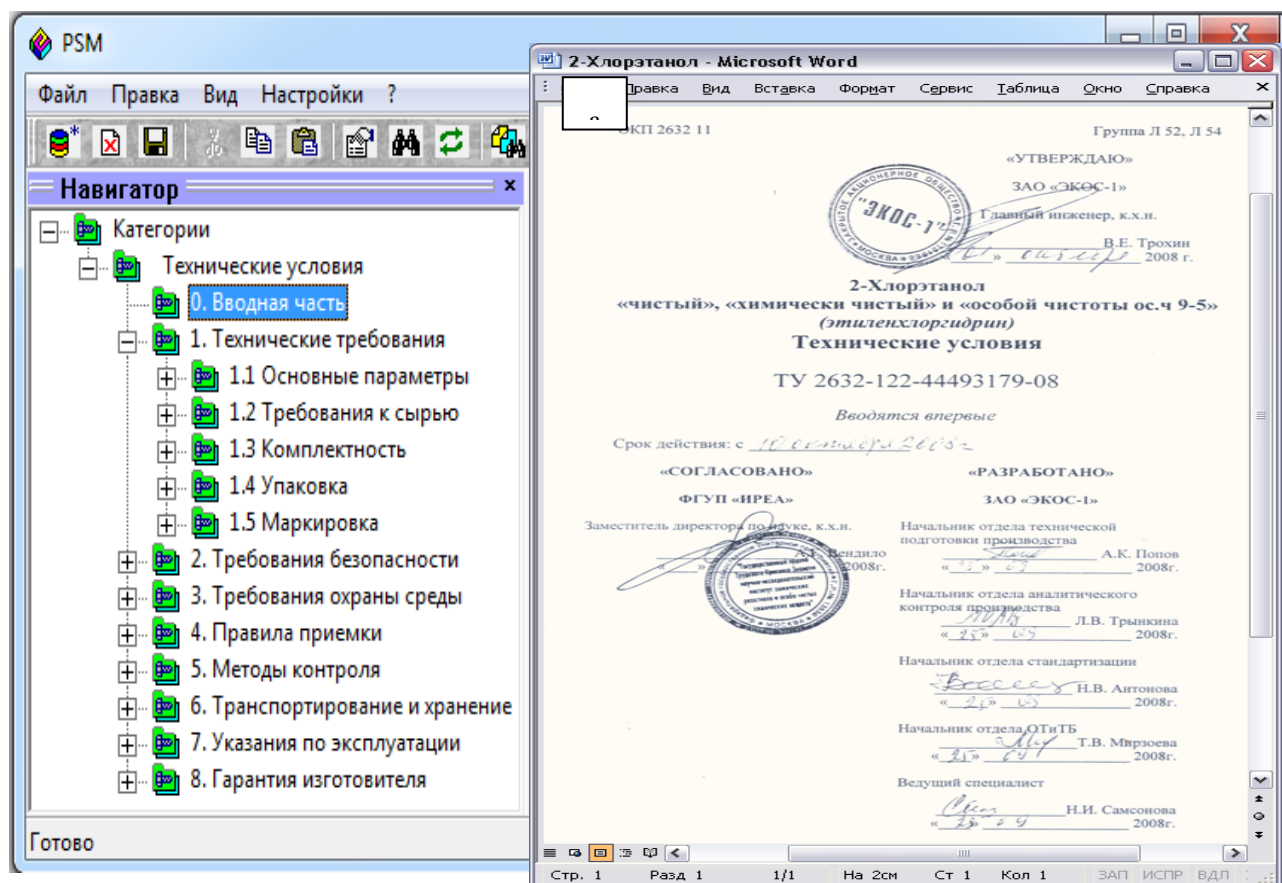


Рис. 1 – Информационный CALS-проект технических условий на примере 2-Хлорэтанола (а – титульный лист ТУ)

Для подкатегории «Требования к сырью, материалам, покупным изделиям» устанавливают требования к покупным изделиям, жидкостям, смазкам, краскам и материалам (продуктам, веществам); к драгоценным материалам, металлам и сплавам, порядок их учета; к вторичному сырью и отходам

промышленного производства.

В подкатегории «Упаковка» указывают: правила подготовки продукции к упаковыванию (включая демонтаж, консервацию) с указанием применяемых средств; потребительскую транспортную тару, в том числе многооборотную тару, вспо-

могательные материалы, применяемые при упаковке, а также требования технической этикетки (для товаров народного потребления); количество продукции в единице потребительской упаковки и транспортной тары; способы упаковки продукции в зависимости от условий транспортирования (в таре, без тары и т.п.); порядок размещения и способ укладки продукции; перечень документов, вкладываемых в тару при упаковке, и способ их упаковки.

В подкатегории «Маркировка» устанавливают следующие требования к маркировке продукции, в том числе к транспортной маркировке: место маркировки (непосредственно на продукции, на ярлыках, этикетках, на таре и др.); содержание маркировки; способ нанесения маркировки. На продукцию, для обеспечения безопасности которой для жизни и здоровья людей при ее применении необходимо выполнять определенные условия, в этой подкатегории излагают требования о содержании в маркировке следующих указаний: условиях применения и мерах предосторожности при транспортировании, хранении и употреблении; безопасности (пожаро- и взрывобезопасность и др.); сроках периодического осмотра, контроля, переконсервации и др.

Во 2-й категории CALS-проекта «Требования безопасности» устанавливают требования, которые должны содержать все виды допустимой опасности и устанавливаться таким образом, чтобы обеспечивалась безопасность продукции в течение срока ее службы (годности).

В 3-ю категорию "Требования охраны окружающей среды" включают показатели и нормы, определяющие требования по допустимым (по уровню и времени) химическим, механическим, радиационным, электромагнитным, термическим и биологическим воздействиям на окружающую среду; требования по устойчивости загрязняющих, ядовитых веществ в объектах окружающей среды (водная среда, атмосферный воздух, почва, недра, флора, ионосфера и т.д.); требования при утилизации и к местам захоронения опасной продукции и отходов и т.д.

В 4-й категории «Правила приемки» указывают порядок контроля продукции, порядок и условия предъявления и приемки продукции органами технического контроля предприятия-изготовителя и потребителем (заказчиком), размер предъявляемых партий, необходимость и время выдержки продукции до начала приемки, сопроводительную предъявительскую документацию, а также порядок оформления результатов приемки.

В 5-й категории CALS-проекта «Методы контроля» устанавливают приемы, способы, режимы контроля (испытаний, измерений, анализа) параметров, норм, требований и характеристик продукции, необходимость контроля которых предусмотрена в категории «Правила приемки». Для каждого метода контроля (испытаний, измерений, анализа), в зависимости от специфики проведения, должны быть установлены: методы отбора проб

(образцов); оборудование, материалы и реактивы и др.; подготовка к контролю (испытанию, измерению, анализу); проведение контроля (испытания, измерения, анализа); обработка результатов.

В 6-й категории «Транспортирование и хранение» правила хранения продукции излагают в следующей последовательности: место хранения; условия хранения; условия складирования; специальные правила и сроки хранения (при необходимости). В 7-й категории CALS-проекта «Указания по эксплуатации» приводят указания по установке, монтажу и применению продукции на месте ее эксплуатации (применения); требования к условиям охлаждения с указанием, при необходимости, критериев и методов контроля; возможность работы в других средах; особые условия эксплуатации и др. В последней 8-й категории CALS-проекта «Гарантии изготовителя» устанавливают права и обязанности изготовителя по гарантиям в соответствии с действующим законодательством.

Для информационной поддержки 5-й категории технических условий (методы контроля) используется разработанная нами CALS-система компьютерного менеджмента качества (КМК-система) [10]. Система осуществляет ввод, обработку и хранение информации об основных элементах аналитического мониторинга: перечень объектов для контроля (классификатор веществ); сведения об используемых аналитических методах (включая предварительные этапы – отбор пробы и подготовка ее к анализу); сведения об эксплуатации используемых приборов; метрологическое обеспечение работы; блок нормативно-технической документации.

При создании 1-й очереди CALS-системы технических условий на ассортимент органических растворителей особой чистоты были разработаны две важнейшие для химиков-аналитиков информационные категории: «технические требования» (№1) и «методы контроля» (№5). Из категории «технические требования» в 1-й очереди системы разрабатывается только подсистема «основные параметры и характеристики».

2. Информационная модель категории «Технические требования»

При описании подкатегории CALS-проекта «основные параметры и характеристики» необходимо учитывать, что выбор показателей качества продукта обоснован анализом информации о показателях одноименного продукта из научно-технической литературы, изучением вопроса об областях его применения, анализом результатов научно-исследовательских работ по технологии его получения. При этом изучается и анализируется информация о показателях качества продукции по каталогам зарубежных фирм, стандартам, а также информация об экономически обоснованных технических требованиях заказчика [11]. Правильно выбранные показатели качества, включаемые в технические условия, являются гарантией выпуска промышленностью высококачественных реактивов и особо чистых веществ.

На базе многолетних исследований аналитических подразделений ОАО «Экос-1» и Научного центра «Малотоннажная химия» нами проведена разработка CALS-системы по аналитическим методам и приборам [12], в которой определяются по сходным методикам массовая доля основного вещества и три основные группы микропримесей: катионы металлов (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой), анионы (ионная хроматография), микрочастицы (лазерная дифракция).

В разработанном на основе этих работ CALS-проекте технических условий на органические растворители особой чистоты используются 5 групп показателей качества: основное вещество, катионы металлов, анионы, взвешенные частицы и дополнительные показатели (содержание воды, нелетучий остаток и некоторые другие показатели, определяемые для небольшого числа растворителей). Каждому показателю качества соответствует соответствующая категория CALS-проекта (рис. 2).

№	Наименование показателей	Норма	Результаты исследования
1	Внешний вид	Бесцветная прозрачная жидкость	п. 1
2	М.д. основного вещества (этиленхлоргидрина), %, не менее	99,8	п. 2
3	М.д. воды, %, не более	0,05	п. 3
4	М.д. кислот (в пересчете на соляную кислоту), %, не более	0,005	п. 4
5	М.д. нелетучего остатка, %, не более	0,0005	п. 5
6	М.д. примесей металлов, %, не более:		п. 6
	Алюминий (Al)	$1 \cdot 10^{-6}$	
	Барий (Ba)	$1 \cdot 10^{-6}$	
	Железо (Fe)	$1 \cdot 10^{-6}$	
	Кальций (Ca)	$1 \cdot 10^{-6}$	
	Марганец (Mn)	$1 \cdot 10^{-6}$	
	Медь (Cu)	$1 \cdot 10^{-6}$	
	Никель (Ni)	$1 \cdot 10^{-6}$	
	Хром (Cr)	$1 \cdot 10^{-6}$	
	Цинк (Zn)	$1 \cdot 10^{-6}$	

Рис. 2 – CALS-проект технических условий по категории «Технические требования» – «Основные параметры и характеристики» (а – таблица требований на примере 2-хлорэтанола ос.ч 9-5)

При создании подсистемы технических требований по подкатегории «основные параметры и характеристики» мы учитываем, что допустимое содержание примесей в веществах особой чистоты может изменяться в широких пределах. Это зависит от области применения вещества, от сложности технологии его получения и трудоемкости анализа [3].

Особо чистые органические растворители со строго выдержанным количественным и качественным составом примесей наиболее широко применяются в наиболее перспективных отраслях промышленности. Допустимый уровень концентрации лимитируемых примесей во многих веществах особой чистоты оценивается в настоящее время величиной $10^{-6} - 10^{-8} \%$.

Практически химически чистым считают вещество наивысшей возможной степени очистки на данном уровне развития науки и техники. При этом для некоторых органических растворителей необходимо учитывать наличие взвешенных частиц, так как даже разбавленный раствор взвешенных частиц с линейными размерами меньше 1 мкм может внести заметный вклад в суммарную концентрацию

примесей или привести к дефектам структуры обрабатываемых поверхностей, в связи с чем в данном рода веществах должно лимитироваться содержание взвешенных частиц. Всем пяти показателям качества (категория № 1) соответствуют свои специфические методы контроля. Они рассматриваются в 5-й категории CALS-проекта технических условий – «Методы контроля».

3. Информационная модель категории «Методы контроля»

В категории «Методы контроля» (рис. 3) устанавливают приемы, способы, режимы контроля показателей качества продукции на соответствие установленным нормам, требованиям и характеристикам продукции, необходимость контроля которых предусмотрена в 4-й информационной категории «Правила приемки». Для каждого метода контроля (испытаний, измерений, анализа), в зависимости от специфики проведения, вводится в систему следующая информация: методы отбора проб (образцов); оборудование, материалы и реактивы и др.; подготовка к контролю; проведение контроля; обра-

ботка результатов [8].

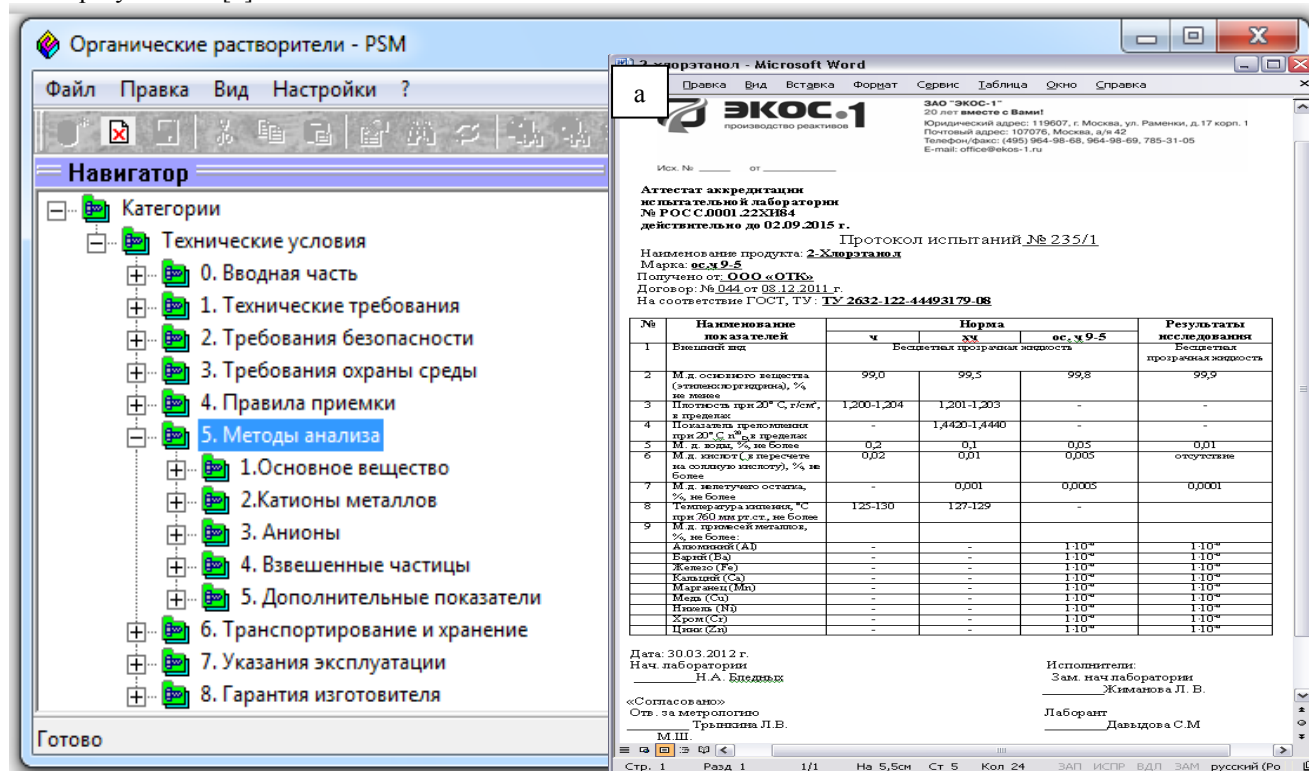


Рис. 3 – CALS-проект технических условий по категории «Методы контроля» (а – протокол испытаний)

Основными методами определения первой группы показателей качества – содержания основного вещества в органических растворителях являются: газовая хроматография, хромато-масс-спектрометрия, высокоэффективная жидкостная хроматография [11]. Для анализа основного вещества в органических растворителях нами используется метод газовой хроматографии. Значительный эффект для данного анализа может быть достигнут наложением результатов при использовании возможности регистрации примесей на различных детекторах. На детекторе – катарометре (детекторе по теплопроводности) определяется примесь воды (подтверждается титрованием по методу К.Фишера). На пламенно-ионизационном детекторе (ПИД) – массовая доля основного вещества и близких по природе примесей. На детекторе с электронным захватом (ЭЗД) – определения галогенорганических примесей (органический хлор). На пламенно-фотометрическом детекторе (ПФД) – определения примесей содержащих в молекуле фосфор и серу. Фотоионизационный детектор (ФИД) – подтверждает результаты анализа на ПИД и позволяет дополнительно выделить примеси ароматических соединений.

Для управления большими объемами информации по аналитическому оборудованию, применяемому при определении содержания основного вещества и других показателей качества, нами на основании концепции CALS была разработана база данных аналитических приборов [12]. Для каждого из указанных методов определения основного вещества в базу занесены соответствующие приборы,

сгруппированные по странам-производителям и фирмам-разработчикам (рис. 4).

По рассмотренному нами подуровню газовой хроматографии для определения основного вещества в базу занесены 15 приборов 10 фирм-разработчиков. Все приборы в базе данных газовых хроматографов разбиты по подкатегориям «Страна производитель/Фирма». Из всей совокупности разработчиков только 3 производителя предлагают серии приборов: Япония (Shimadzu) – GC2010, GC2014; Россия (Цвет) – Цвет-800, «ЦВЕТНАЛИТИК»; Россия (Кристалл) – Кристалл-2000, Кристалл-2000М, Кристалл 5000. Все остальные производители выпускают единичные марки газовых хроматографов: Корея, Асме-6100; США, Agilent 6850; США, Clarus 500; США, PerkinElmer AutoSystem XL; Россия, ГАЛС-311; Россия, Яуза-200; Россия, ЛГХ-3000. По каждому из рассматриваемых узлов в базу данных могут быть занесены дополнительные информационные подкатегории. Например, для важнейшего узла: «Детектор», – в газовой хроматографии занесены 5 основных типов детекторов (ПФД, ФИД и др.).

Нами широко используется хромато-масс-спектрометрический метод (рис. 4), применяемый при анализе органических веществ и определении следовых количеств веществ в объеме жидкости. Метод основан на комбинации двух самостоятельных методов – хроматографии и масс-спектрометрии. С помощью первого осуществляют разделение смеси на компоненты, с помощью второго – идентификацию и определение строения вещества, количественный анализ.

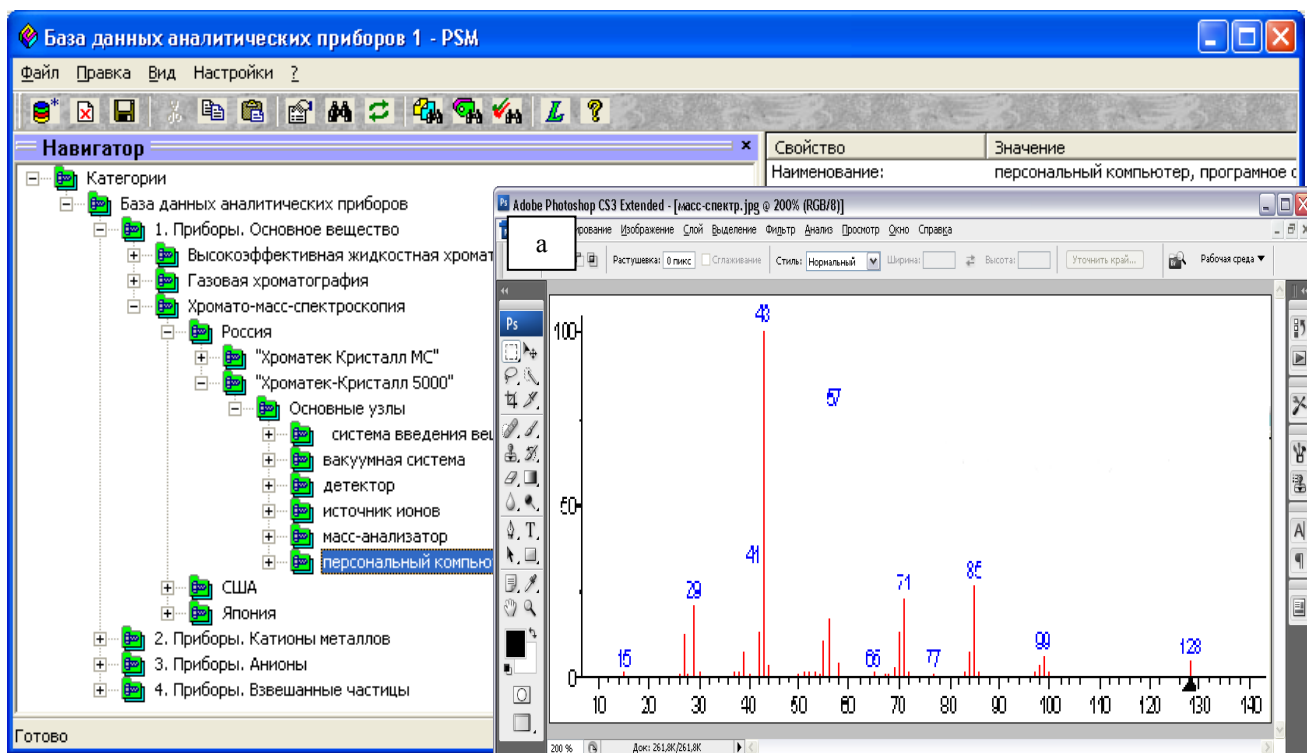


Рис. 4 – База данных аналитических приборов.
Категории – основное вещество – хромато-масс-спектрометрия (а – масс-спектр н-нонана)

Все приборы в базе данных хромато-масс-спектрометров для определения основного вещества, также разбиты по подкатегориям и в базу занесены 10 приборов 7 фирм-разработчиков. Из всей совокупности разработчиков только 2 производителя предлагают серии приборов: Япония (Shimadzu) – QP2010S, GCMS-QP2010; Россия (Кристалл) – Хроматэк-Кристалл 5000» с масс-спектрометрическим детектором (МСД) DSQII, Хроматэк-Кристалл МС. Все остальные 5 из рассматриваемых основных приборов производятся в США различными фирмами: Thermo Scientific «DFS», TSQ QUANTUM XLS™, ITQ™, ISQ™, FINNIGAN FOCUS DSQ. На примере российской фирмы-разработчика «Кристалл» показано, что в базе рассматриваются 2 хромато-масс-спектрометра и представлена типовая выходная документация, а именно масс-спектр н-нонана (рис. 4а).

При кажущемся разнообразии требований к реактивам по перечню анализируемых примесей и их точности (от качественных испытаний до определения точности содержания с жесткими требованиями к статистической обработке результатов) вполне возможно не только выделение основных групп методов аналитического контроля (катионы металлов методом ISP-МС, газожидкостной хроматографии, жидкостной хроматографии, ионная хроматография, лазерной дифракции), но и их сочетание. Это позволяет судить о формах состояния примесей, что имеет большое значение для разработки технологии глубокой очистки. Примером может служить сочетание методов газожидкостной хроматографии с использованием различных неподвижных жидких фаз и способов детектирования (опре-

деление воды, органических примесей, хлорорганических примесей, хлор, фосфор и серу содержащих примесей) с методами элементного анализа и определение микропримесей элементов с ISP-МС. Сочетание методов ионной и жидкостной хроматографии, газожидкостной хроматографии с химическими методами определения примесей соединений и элементов (фенола, фурфурола, альдегидов и др.). В результате, возможно, что при всем разнообразии требований и методов, создать единый системный подход к анализу любого химического реактива и особо чистого вещества, создав набор стандартизованных аналитических методик. Кроме того надо учитывать, что анализируемые вещества часто являются примесями в других продуктах и наложение методов их анализа может дать важные результаты: возможность оптимизировать приборное время, облегчить интерпретацию результатов анализа и др.

В современной наукоемкой промышленности требуются особо чистые органические растворители с содержанием катионов металлов и анионов на уровне 10^{-6} - 10^{-8} % масс. Присутствие примесей выше этого уровня приводит к снижению качества изделий для микроэлектроники, волоконной оптики и др.

В подкатегориях CALS-проекта «Катионы металлов» и «Анионы» разделяется определение примесей по методам их анализа [13]. Основными методами анализа микропримесей являются: атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС), атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП) и масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (МС-ИСП). Все эти методы относятся к разновид-

ности масс-спектрометрии, отличающейся высокой чувствительностью и способностью определять примеси металлов (и некоторых неметаллов) в концентрациях до 10^{-10} % масс.

Кроме того в CALS-проект занесены подкатегории «Взвешенные частицы» и «Дополнительные показатели», характеризующие наличие примесей в органических растворителях без разделения их на катионы и анионы. Взвешенные частицы определяют методом лазерной дифракции, а дополнительные показатели – различными физико-химическими методами [13].

Применение концепции CALS при аналитическом мониторинге позволяет существенно сократить время аналитических исследований и повысить качество (достоверность) проводимых работ. С помощью выбранной информационной технологии создается эффективная система контроля качества продукции, соответствующая международным стандартам.

Литература

1. Bessarabov, A. M. Development of information CALS-technologies in the industry of chemical reagents and high-pure substances / A. M. Bessarabov, O. A. Zhdanovich, A. M. Yaroshenko, G. E. Zaikov // Journal of the Balkan Tribological Association. – 2005. – Vol. 11, № 3. – P. 429-437.
2. Saaksvuori, A. Product Lifecycle Management / A. Saaksvuori, A. Immonen. 3rd edition. – Springer, 2010. – 257 p.
3. Давыдов, Ю. В. CALS-технологии - основа качества при производстве наукоемких изделий / Ю. В. Давыдов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2005. – №4. – С. 3-6.
4. Бессарабов, А. М. CALS-моделирование процесса сушки (золь-гель перехода) высоковязких экстрактов лекарственного сырья / А. М. Бессарабов, Р. М. Малышев, А. Ю. Демьянюк, В. Н. Малиновский, В. Е. Бомштейн // Химическая промышленность сегодня. – 2003. – №12. – С. 23-30.
5. Бессарабов, А. М. CALS-технология плазменно-криогенного синтеза нанодисперсного кремния / А. М. Бессарабов, М. Я. Иванов, А. В. Квасюк // Российские нанотехнологии. – 2012. – Т. 7, № 1-2. – С. 20-23.
6. Bessarabov, A. Utilization of waste for large-capacity productions of phosphorus-containing products based on the system analysis methods / A. Bessarabov, I. Bulatov, A. Kvasyuk, A. Kochetygov // Clean Technologies and Environmental Policy. – 2010. – Vol. 12, № 6. – P. 601-611.
7. Бессарабов, А. М. Разработка компьютерных систем для поддержания оптимального состояния муниципальной автодорожной инфраструктуры / А. М. Бессарабов, А. Н. Глушко, Т. И. Степанова, А. В. Лобанова, Г. Е. Заиков, О. В. Стоянов // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – № 10. – С. 293-299.
8. Лобанова, А. В. Информационные CALS-системы конструкторской и технологической документации в производстве химических реактивов и особо чистых веществ / А. В. Лобанова, А. В. Квасюк, К. К. Булатицкий, А. М. Бессарабов // Сб. научных трудов «Успехи в химии и химической технологии»: РХТУ им. Д.И. Менделеева. Москва. – 2010. – Т. XXV, № 1. – С. 87-89.
9. ГОСТ 2.114-95 «Единая система конструкторской документации. Технические условия», М.: Стандарты. 2003.
10. Бессарабов, А. М. Компьютерный менеджмент качества особо чистых веществ на основе концепции CALS (ISO-10303 STEP) / А. М. Бессарабов, А. А. Алякин, Е. А. Айвазян, О. А. Жданович // Приборы (и автоматизация). – 2005. – № 12. – С. 26-36.
11. Девярых, Г. Г. Выставка-коллекция веществ особой чистоты. / Г. Г. Девярых, Ю. А. Карпов, Л. И. Осипова. – М.: Наука, 2003. – 236 с.
12. Бессарабов, А. М. Разработка базы данных аналитических приборов для CALS-системы компьютерного менеджмента качества химических реактивов и особо чистых веществ / А. М. Бессарабов, Л. В. Трынкина, В. Е. Трохин, А. Г. Вендило // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2011. – № 11. – С. 45-56.
13. Девярых, Г. Г. Современное состояние получения высокочистых веществ / Г. Г. Девярых, М. Ф. Чурбанов // ЖВХО им. Д.И. Менделеева. – 1984. – Т. 29, № 6. – С. 6-14.

© А. М. Бессарабов – д-р тех. наук, проф., заместитель директора по науке, Научный центр «Малотоннажная химия» (НЦ МТХ); Л. В. Трынкина – зав. лаб., Научный центр «Малотоннажная химия» (НЦ МТХ); В. Е. Трохин – канд. хим. наук, директор, Научный центр «Малотоннажная химия» (НЦ МТХ); А. Г. Вендило – канд. хим. наук, доцент, генеральный директор, Научный центр «Малотоннажная химия» (НЦ МТХ); О. В. Стоянов – д-р тех. наук, проф., зав. кафедрой, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ov_stoyanov@mail.ru.