



# СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 681.3.053

А.Н. Карпушин, С.Н. Ларин, П.И. Соснин

## КОМПЛЕКС СРЕДСТВ АСПЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПОТОКОВ РАБОТ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ОПЫТНОГО ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Карпушин Алексей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент. Окончил факультет информационных систем и технологий Ульяновского государственного технического университета. Имеет публикации в области концептуального проектирования разработки интерфейсного обеспечения автоматизированных систем. [e-mail: a.karpushin@ulstu.ru].

**Ларин Сергей Николаевич**, кандидат технических наук. Окончил самолетостроительный факультет Ульяновского государственного технического университета. Начальник комплексного технологического отдела ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет публикации в области автоматизации технологических процессов. [e-mail: larinmars@rambler.ru].

**Соснин Петр Иванович**, заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор. Окончил радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Заведующий кафедрой «Вычислительная техника» УлГТУ. Имеет многочисленные труды в области концептуального проектирования автоматизированных систем. [e-mail: sosnin@ulstu.ru].

### Аннотация

В статье предлагается и описывается комплекс средств аспектно-ориентированного проектирования потоков работ конструкторско-технологической подготовки опытного производства.

Важным достоинством разработанного комплекса средств является автоматизация процесса разработки технологической документации, плановых заданий и взаимообмена информацией (директивными, справочно-отчетными документами) между конструкторскими, технологическими службами и гибкими производственными комплексами. На текущий момент времени разработанная система средств псевдокодированного программирования интерфейсных прототипов прошла проверку и подтвердила устойчивую работоспособность в режиме реального производственного процесса.

Ключевые слова: псевдокодированное программирование, интерфейсный прототип, динамическая компиляция.

### Abstract

The article gives and describes a system of tools for aspect-oriented design of work flows of design and production engineering of pilot production. The important advantage of the developed system of tools is a computer-aided process of development of design documentation, plan tasks and interchange of information (instructions, reference and report documents) among design, engineering services and flexible production complexes. At present, the developed system of tools of pseudo-code programming of interface prototypes has passed tests and proves its operability in real production-process mode.

Key words: pseudo-code programming, interface prototype, dynamic compilation.

Для опытного приборостроительного производства, продукция которого предназначена для включения в автоматизированные системы (АС), характерна параллельная работа над несколькими изделиями, находящимися на разных стадиях жизненного цикла: проектирование, конструирование, макетирование, разработка технологии, создание опытного образца или опытной партии или даже мелкой серии [1]. Кроме того, параллельность работ обычно дополняется необходимостью учета применения приборостроительных изделий (ПИ) в системах типа АС, образующих линейки продуктов, номенклатура которых расширяется, а составляющие постоянно совершенствуются.

Отмеченная специфика опытного производства указывает на необходимость согласования жизненного цикла ПИ с жизненным циклом АС в соответствии со стандартом ISO/IEC 12207. В состав такого согласования следует включить спиралевидное параллельное комплексирование конструкторских и технологических решений, приводящих к созданию ПИ.

Легко согласиться, что ценность ПИ для АС в оговоренных условиях существенным образом зависит от того, насколько полезно будут объединены конструкторские и технологические решения и действия в опытном производстве ПИ. Заметим, что управляемое и эффективное объединение конструкторских и технологических составляющих в подготовке опытного приборостроительного производства представляет собой проблему, решение которой на настоящий момент времени отсутствует.

В статье предлагается набор средств для представления и смешивания конструкторских и технологических действий, в основу построения и использования которого положено аспектно-ориентированное проектирование систем потоков работ в программном комплексе TechWIQA, созданном авторами на базе вопросно-ответной моделирующей среды WIQA [2]. Дерево задач и вопросно-ответные модели задач, порождаемые в этой среде, позволяют моделировать потоки работ в различных версиях их оперативного смешивания, обеспечивая поиск рациональных решений с использованием библиотек для типовых конструкторских и технологических работ.

Разработка нацелена на введение в процесс проектирования комплекса средств, обслуживающих интеллектуальные действия в группе технологов [3]. Комплекс осуществляет вопросно-ответный доступ к опыту, в том числе обеспечивает его формирование, моделирование, систематизацию, преобразование, хранение, накопление и использование.

В проведении работ использовалась методология объектно-ориентированного анализа и проектирования (ООАП), в результате чего была разработана технологическая версия этой методологии, в основу которой был положен специальный вид рассуждений (вопросно-ответные рассуждения (QA-рассуждения)) в коллективе технологов на этапе проектирования технологической документации. Такая система средств предназначена для *конструктивного обслуживания рассуждений группы технологов*, исполняющих работы по определенному проекту. Одной из составляющих такого обслуживания является управление технологической подготовкой производства.

## 1 ПОТОКИ РАБОТ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Комплекс работ, посредством которых осуществляется конструкторско-технологическая подготовка производства (КТПП), должен представлять собой связную совокупность конструкторских и технологических бизнес-процессов, каждый из которых имеет определенное функциональное назначение и место в этой совокупности. Однако в реальной практике организация подготовки производства не согласуется с этим требованием. Существующий порядок подготовки производства строится без учета рациональных конструкторско-технологических взаимосвязей и конкретных организационно-технических условий данного типа производства.

Проблема состоит в том, что, принимая оперативные технологические решения и специфицируя технологические действия, необходимо учитывать не только оценки стоимости конструктивных решений, но и другие их ценности, причем в контексте спецификаций разрабатываемой АС. То же самое справедливо и для оперативных конструктивных решений и действий.

Конструкторские и технологические составляющие общей работы должны продвигать друг друга к общему согласованному решению. К объединению совокупностей конструкторских и технологических работ целесообразно подходить с позиции потоков работ [4], которые рациональным образом смешиваются. Заметим, что (в наиболее общем плане) под потоком работ понимается автоматизация бизнес-процессов (полная или частичная, как правило, в рамках организационной структуры, описывающей функциональные роли и отношения), при которой документы, информация, задания передаются для выполнения необходимых действий от одного участника к другому в соответствии с набором процедурных правил.

Перейдем к деталям в отношениях между конструкторскими и технологическими составляющими подготовки производства. Традиционные методы осуществления КТПП не позволяют координировать такие важнейшие звенья подготовки производства, как обеспечение технологичности конструкций изделий, конструкторско-технологический анализ изделия; разработка трудовых нормативов; осуществление объективного оперативно-производственного и технико-экономического планирования; определение номенклатуры потребных средств технологического оснащения (СТО).

Задачи проектирования технологических процессов (ТП) являются многовариантными, к ним относятся задачи выбора оборудования, режущего инструмента, СТО, расчета режимов резания и т. п. В разрабатываемом технологическом процессе число возможных комбинаций переходов, схем базирования, методов обработки и компоновок операций даже для простых деталей значительно.

Разные варианты процессов изготовления одних и тех же изделий вследствие различий в структуре имеют различные выходные показатели: производительность, себестоимость, расход металла, загрузку оборудования и другое. Наличие нескольких вариантов решения задачи (вариантов ТП) естественным путем приводит к за-

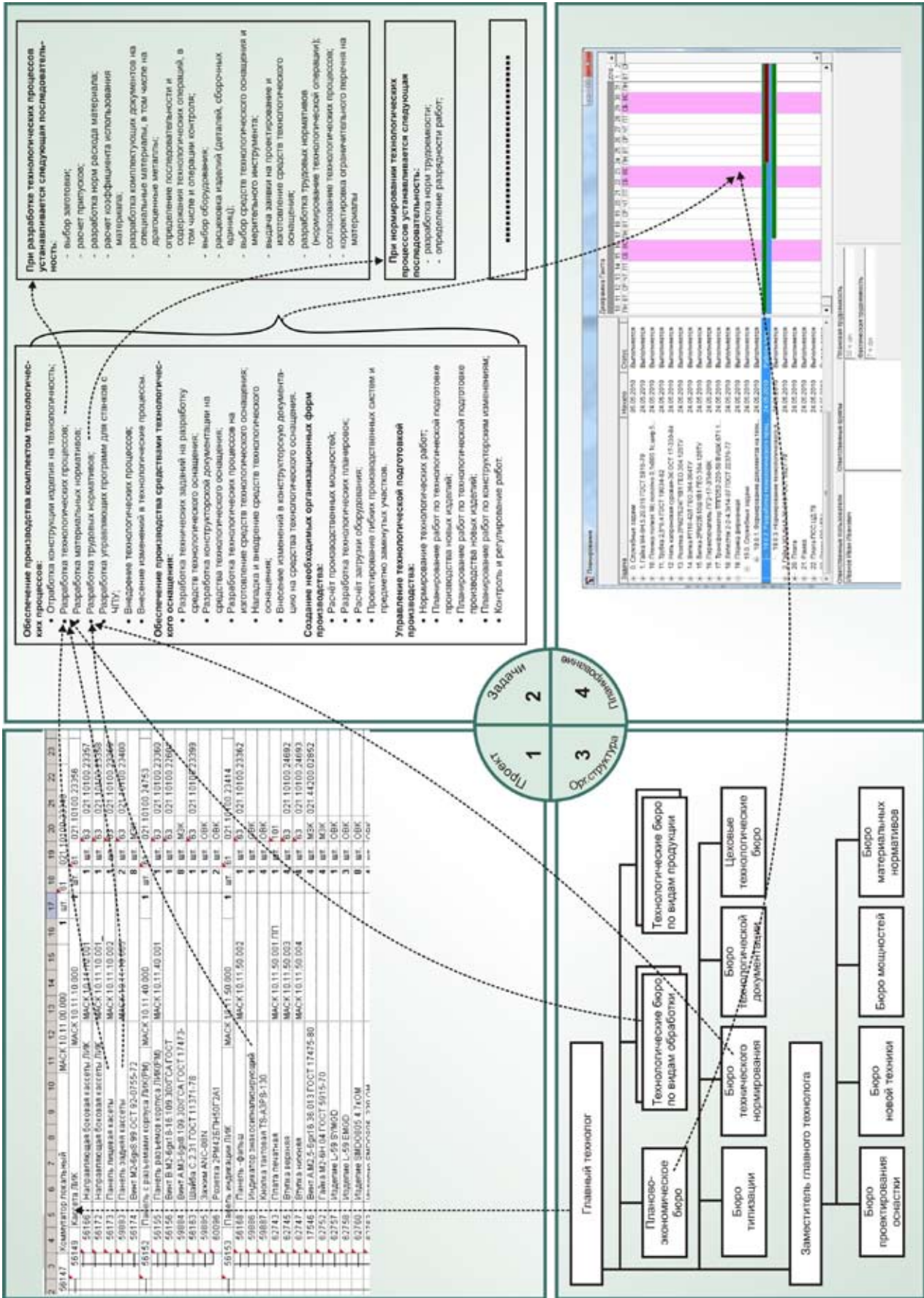


Рис. 1. Поток работ управления технологической подготовкой производства

даче выбора наилучшего варианта. В данном случае таковым будет вариант ТП, обеспечивающий выполнение в конкретных производственных условиях все требования конструкторской документации и дающий наилучшее значение выходных показателей. При этом необходимо отметить, что тенденцией современного этапа автоматизации разработки технологического процесса является создание комплексных систем, включающих конструирование, технологическое проектирование и изготовление ПИ.

Обобщенная схема конструкторско-технологической подготовки производства приведена на рисунке 1 для демонстрации задач, которые должны решаться коллективно в рамках определенной оргструктуры с использованием нормативно-справочной информации.

Технологический процесс, как объект проектирования, можно представить в виде иерархической структуры, разделенной на несколько взаимосвязанных уровней. В результате такой декомпозиции процесс проектирования ТП сводится к решению задач различной степени детализации на взаимосвязанных уровнях: от формирования состава и структуры маршрута обработки до разработки управляющих программ и расчета режимов резания для обработки отдельных поверхностей.

По глубокому убеждению авторов в автоматизации процессов КТПП, а значит и в разработках программных средств сопровождения КТПП, с формированием и решением системы иерархических задач рационально связать потоки работ конструкторско-технологической подготовки производства.

## 2 Реализация системы управления потоками в среде NetWIQA

Для автоматизированного сопровождения процессов КТПП с ориентацией на опыт управления потоками работ авторами была разработана специализированная версия вопросно-ответной моделирующей среды, предназначенная для разработки и управления процессами технологической подготовки производства. Потенциал среды достаточен для сопровождения не только технологических потоков работ, но и конструкторских потоков. Однако в содержательном наполнении средств поддержки конструкторской часть учтена только с позиций смешивания конструкторских и технологических задач.

Еще раз отметим, что в предлагаемой авторами версии реализуется поддержка разработки единичных технологических процессов изготовления, ремонта изделий и их составных частей.

В качестве базы была использована и адаптирована вопросно-ответная среда концептуального проектирования автоматизированных систем NetWIQA. Результат адаптации, получивший название TechWIQA, состоит из следующих компонентов:

### I. Серверная часть:

1. Информационная база,
2. Библиотека работы с базой данных,
3. Сервер приложения,
4. Клиентская библиотека;

### II. Клиентская часть:

1. Конфигуратор,

2. Рабочее место пользователя,
3. Плагин управления организационной структурой коллектива,
4. Плагин планирования на основе диаграмм Ганта.

Дополнительно были разработаны 2 компонента клиентской части системы:

1) Плагин управления структурой изделия, обеспечивающий пользовательский интерфейс ввода и редактирования иерархии структурных элементов разрабатываемого изделия, а также ведение необходимых справочников, соответствующих различным классификаторам, используемым при разработке технологических процессов.

2) Плагин разработки технологических процессов, обеспечивающий пользовательский интерфейс ввода и редактирования операций технологических процессов, данных технологического нормирования, а также формирование комплектов документов на единичные технологические процессы.

В ходе адаптации в структуре информационной базы были оставлены 14 таблиц, необходимых для хранения основных данных вопросно-ответной среды, достаточных для решения поставленных задач. Это следующие таблицы: проектов (Projects); вопросно-ответного протокола (QAReg); типов единиц QA-протокола (QATypes); статусов единиц QA-протокола (QAStatus); причин установления статусов единиц QA-протокола (Reason); штатного расписания (ManningTable); сотрудников – пользователей вопросно-ответной среды (Users); рабочих групп (Groups), вхождения пользователей в рабочие группы (GU); дерева организационной структуры (TreeNode); функциональных связей элементов организационной структуры (FuncLinks); назначения задач пользователям (UT); назначения задач рабочим группам (GT); плановых сроков выполнения задач (PlanDates).

В соответствии с этим в других серверных компонентах были оставлены только функции, необходимые для работы с данными вышеуказанных таблиц.

Было принято решение использовать вопросно-ответный протокол для хранения данных справочников, структуры изделия, технологических процессов и документов на них. По сравнению с добавлением специальных рабочих таблиц для этих данных такое решение позволило сократить время разработки серверной части системы, а самое главное, позволило использовать реализованные для вопросно-ответного протокола механизмы ввода и редактирования данных, поиска и фильтрации данных, управления доступом, ведения истории изменений. Кроме того, такое решение позволяет легко расширять атрибутику используемых данных, проще внедрять разработанные компоненты на рабочие места с различными установленными версиями вопросно-ответной среды за счет отсутствия необходимости изменения серверных компонент и упрощения переноса данных.

Использование вопросно-ответного протокола для хранения данных предполагает автоматизированное добавление в него иерархий задач, вопросов и ответов на основе вопросно-ответных шаблонов. В текущей версии системы в серверную часть были включены 6 файлов таких шаблонов:



1. Вопросно-ответные шаблоны справочников (файл Directory.ini), содержащие названия и типы справочников (иерархический или списковый), а также вопросы для отражения атрибутов справочников. При необходимости использования новых справочников данный файл может быть легко дополнен, что позволяет расширять число используемых классификаторов без участия программистов.

2. Вопросно-ответный шаблон структуры изделия (файл Structure.ini), включающий вопросы для отражения атрибутов элементов изделия и списки возможных значений некоторых атрибутов. Иерархия элементов структуры изделия реализуется на базе иерархии задач QA-протокола.

3. Шаблон задач, решаемых при создании и управлении технологическими процессами (файл Tasks.ini), включающий, например, «Формирование документов на технологический процесс», «Нормирование операций технологического процесса» и т. д., а также номенклатуру необходимых документов.

4. Вопросно-ответный шаблон структуры технологического процесса (файл TechProc.ini), включающий вопросы для отражения атрибутов операций ТП, используемого оборудования и трудозатрат в этих операциях, комплектации изделий деталями, сборочными единицами и материалами, применяемыми в ходе технологического процесса.

5. Вопросно-ответный шаблон маршрутной карты (МК.ini), включающий вопросы, ответы на которые необходимы для формирования маршрутных карт по всем видам форм в соответствии с выбранным видом описания технологического процесса.

6. Вопросно-ответный шаблон технологической инструкции (TI1.ini), включающий стандартное содержание технологической инструкции, например по термической обработке полимеров, а также вопросы, ответы на которые необходимы для формирования такой инструкции для конкретного технологического процесса.

В состав сервера приложения и клиентской библиотеки были включены функции для работы с данными вышеуказанных шаблонов. В окончательной версии системы набор шаблонов будет расширен за счет включения вопросно-ответных шаблонов всех остальных видов документов, создаваемых при разработке единичных технологических процессов в соответствии с ГОСТ 3.1119-83 [5].

При доработке плагина управления организационной структурой коллектива была реализована возможность задания плановых сроков начала и завершения работ при назначении задач пользователям и рабочим группам.

### 3 ИНТЕРФЕЙСНЫЕ РЕШЕНИЯ

Специфику функциональных возможностей и принципов использования дополнительно разработанного компонента представим фрагментарно с помощью базовых интерфейсных решений инструментария TechWIQA.

На рисунке 2 представлен внешний вид вкладки компонента «Управление структурой изделия», предназначенной для работы с данными классификаторов, используемых при работе с технологическими процессами. В данном окне имеется возможность просмотра содержимого справочников, работы с их элементами (группами элементов), задания значений атрибутов, а также импорта содержимого из других проектов, использующих аналогичные классификаторы.

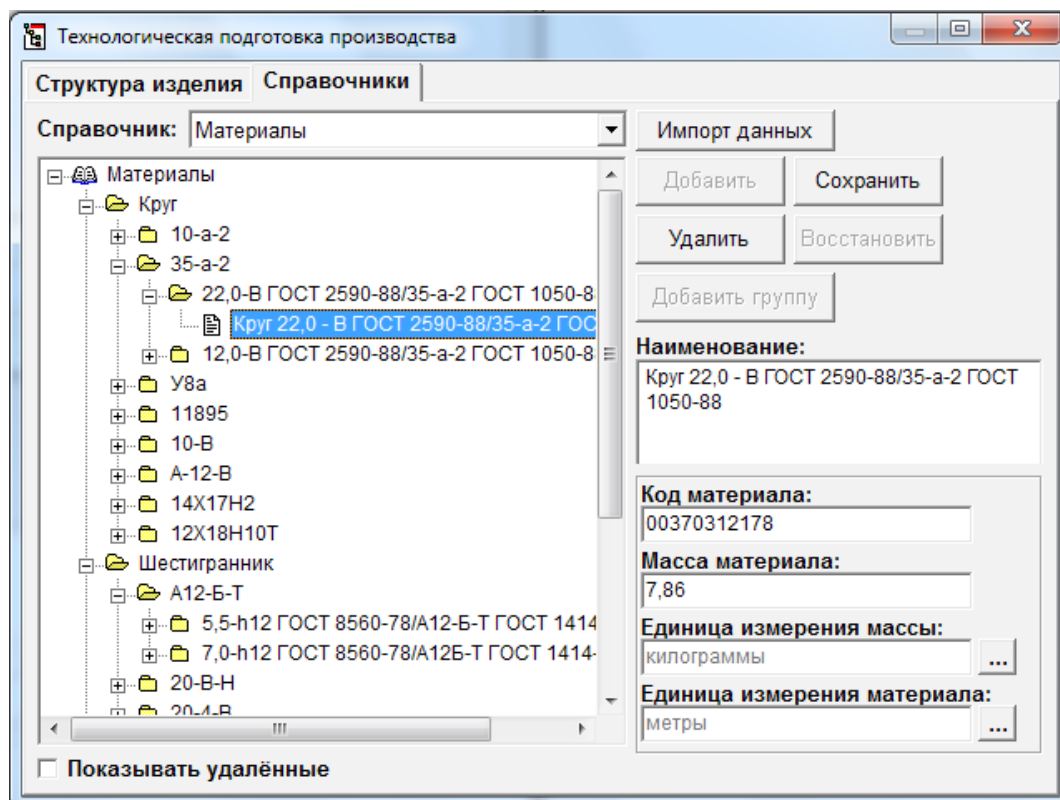


Рис. 2. Интерфейс работы со справочниками

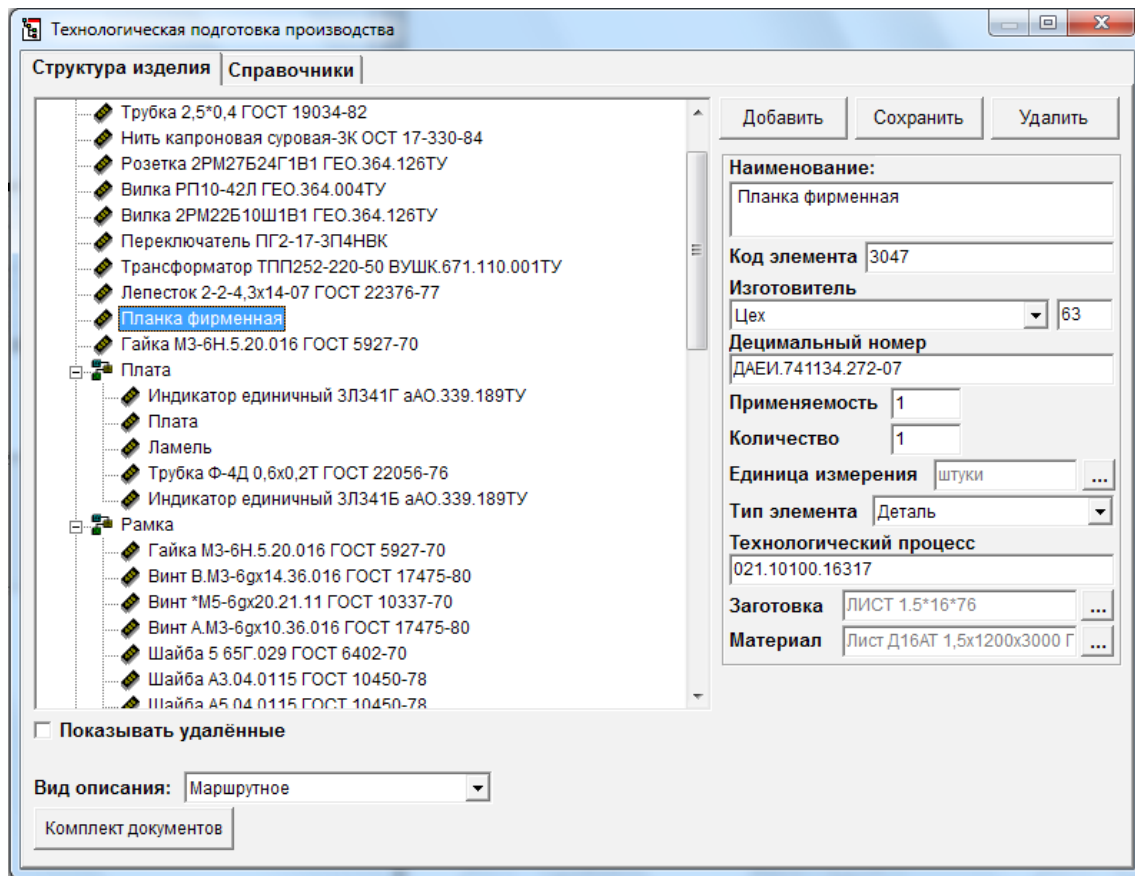


Рис. 3. Интерфейс управления структурой изделия

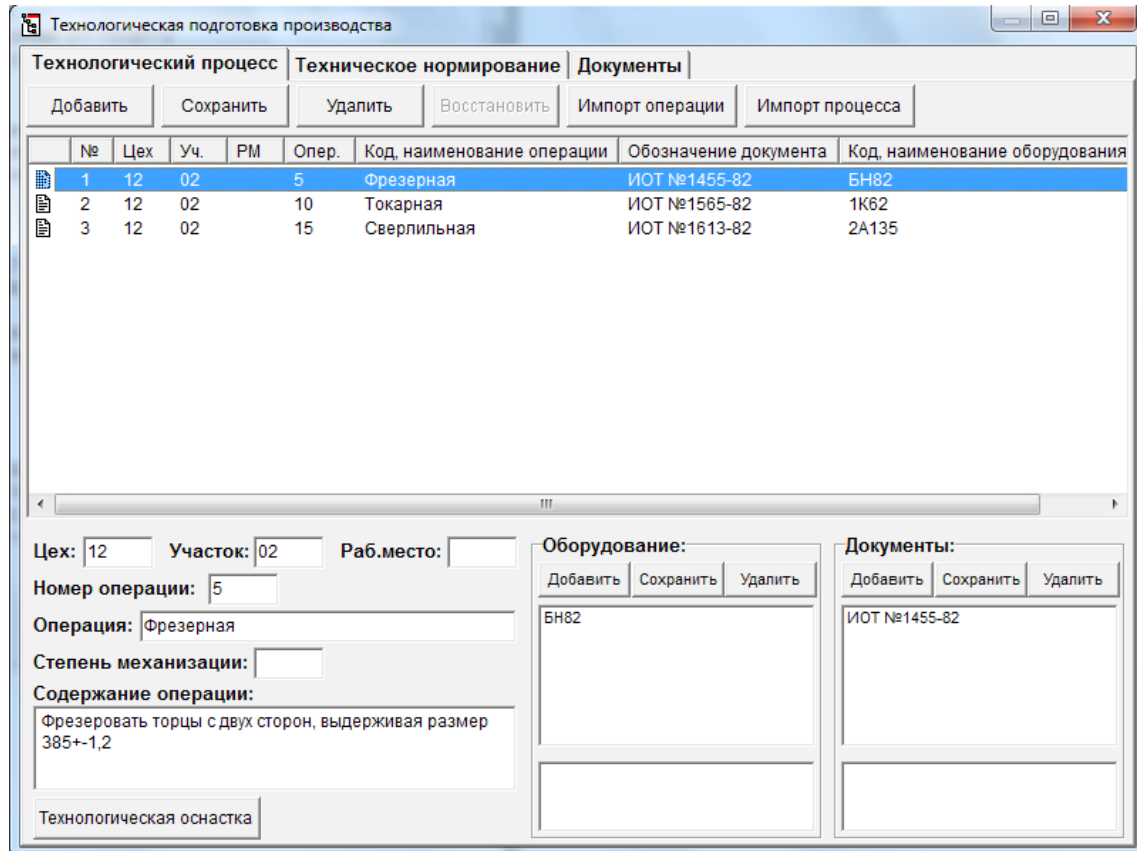


Рис. 4. Интерфейс задания операций технологических процессов

Рисунок 3 представляет интерфейс управления структурой изделия, подразумевающий ввод структурных элементов изделия с учетом их иерархии, задание значений их атрибутов, регистрацию задач работы с технологическими процессами для изготавливаемых элементов, выбор вида описания технологических процессов, а также задание номенклатуры изготавливаемых документов на них.

На рисунке 4 представлен интерфейс компонента «Технологические процессы» в части работы с операциями разрабатываемых технологических процессов. Работая с данным компонентом, сотрудники, ответственные за разработку технологических процессов, добавляют или редактируют их операции, указывая основные параметры – обозначения цеха, участка и рабочего места, где выполняется операция; номер и наименование операции; степень механизации; списки применяемого оборудования и используемых документов.

При выбранном маршрутном описании технологического процесса также указывается содержание операции и списки применяемых инструментов и приспособлений (технологическая оснастка). При выбранном маршрутно-операционном или операционном описании также указываются данные по комплектации изделия деталями, сборочными единицами или материалами.

Для удобства работы существует возможность импорта технологических процессов и отдельных их операций из других структурных элементов изделия или других проектов.

На вкладке «Техническое нормирование» сотрудники, ответственные за данную часть работ, вводят предварительно рассчитанные данные параметров технических норм для каждой из зарегистрированных операций.

Вкладка «Документы» обеспечивает интерфейс формирования комплекта документации на технологический процесс по предварительно выбранному перечню. Сначала осуществляется создание новых документов по шаблону либо импорт из других технологических процессов, затем выполняется загрузка данных с сервера, заполнение параметров документов и их сохранение. После этого возможно формирование документов в соответствии с ГОСТ в формате Microsoft Word, при этом данные операций технологических процессов и технического нормирования заимствуются и не требуют повторного ввода.

В текущей версии системы реализована поддержка формирования маршрутных карт технологических процессов по всем видам описания в соответствии с ГОСТ 3.1118-82 [6], а также технологических инструкций по стандарту ГОСТ 3.1105-84 [7].

Автоматизированная система вопросно-ответного концептуального проектирования технологической документации и управления процессами технологической подготовки производства при изготовлении приборостроительных изделий значительно повышает эффективность управления технологической подготовкой производства на предприятии за счет:

- сокращения сроков проведения технологических проектов и, соответственно, всего процесса производства в целом;
- обеспечения эффективного использования трудовых и информационных ресурсов при выполнении технологических работ в условиях проектного производства;
- повышения качества технологических решений в целом для объектов приборостроительного производства;
- снижения затрат на разработку технологической документации (маршрутных карт, ведомостей деталей).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Норенков А.П., Маничев В.Б. Основы теории и проектирования САПР. – М.: Высшая школа, 1990.
2. Соснин П. И. Концептуальное моделирование компьютеризованных систем: учеб. пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2008.
3. Соснин П. И. Вопросно-ответное моделирование в разработке автоматизированных систем. – Ульяновск: УлГТУ, 2007.
4. Основы ИПИ-технологий: учеб. пособие / под общ. ред А.Н. Тихонова, Ю.В. Полянского. – Ульяновск: УлГТУ, 2006.
5. ГОСТ 3.1119-83. ЕСТД. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на единичные технологические процессы. – М.: Издательство стандартов, 1985.
6. ГОСТ 3.1118-82. ЕСТД. Формы и правила оформления маршрутных карт. – М.: Издательство стандартов, 1987.
7. ГОСТ 3.1105-84. ЕСТД. Формы и правила оформления документов общего назначения. – М.: Издательство стандартов, 1992.