



УДК 681.3.053

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ЗРЕЛЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В КОНТЕКСТЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

Ларин С.Н.

*Ульяновский государственный технический университет,  
г. Ульяновск, Российская Федерация*

**larinmars@rambler.ru**

В статье предлагается и описывается комплексный подход по управлению конструкторско-технологическими решениями. На основе моделей зрелости производственных процессов проведены исследования организационных предпосылок к системному совершенствованию конструкторско-технологических решений (КТР) в рамках потоков работ конструкторско-технологической подготовки производств. На основе объединения совокупности задач КТПП обосновывается необходимость создания инструментальной среды для моделирования потоков технологических работ. Представлены обобщенные задачи моделирующей среды TechWIQA.

**Ключевые слова:** конструкторско-технологическая подготовка, зрелость производственных процессов, методология зрелых производственных процессов (СММ), автоматизированное управление потоками технологических работ, проектирование, разработка технологии, поэтапное совершенствование.

### Введение

В настоящее время особую важность приобретает разработка автоматизированных систем (АС), интенсивно использующих программное обеспечение. Проблематичность данной предметной области регулярно подтверждается статистическими отчетами корпорации Standish Group. Чрезвычайно низкая успешность разработок АС указывает на то, что исследования этой проблемы исключительно актуальны [Соснин, 2008]. А значит, в разработках АС, ориентированных на использование критериев и факторов успешности, необходим конструктивный учет конструкторско-технологической деятельности, обеспечивающей создание аппаратных составляющих АС, согласованных с соответствующим программным обеспечением.

В статье предлагается адаптировать к конструкторско-технологической деятельности (в процессах разработок АС) модель профессиональной зрелости процессов, доведенную в ее приложении к программному обеспечению до стандарта Capability Maturity Model Integrated for Development: Version 1.3 (CMMI Dev.1.3). Адаптация доведена до модели профессиональной зрелости конструкторско-технологических процессов, для которой ниже будет использоваться аббревиатура СММ-КТР.

### 1. Исходные предпосылки

Модель профессиональной зрелости СММ ориентирует тех, кто ее внедряет в свои профессиональные процессы, на их постоянное совершенствование, нацеленное на эволюционное достижение нормативных уровней: «повторяемый» (repeatable, уровень 2), «определенный» (defined, уровень 3), «управляемый» (managed, уровень 4) и «оптимизированный» (optimized, уровень 5). Сам факт такого изначального абстрагирования подсказывает, что этот принцип «постоянного управляемого совершенствования профессиональных процессов» можно применить к любой профессиональной деятельности, а значит и к конструкторско-технологической деятельности (рис. 1).

Поскольку этот принцип наиболее последовательно и детально раскрыт и специфицирован в стандарте CMMI Dev.1.3, этот стандарт логично использовать как источник заимствований для построения аналога для конструкторско-технологической деятельности (для построения модели СММ-КТР).

В модели СММ-КТР различаются два вида активности – конструкторская и технологическая, которые принципиальным образом связаны друг с другом, что раскрывает следующий принцип:

Усилия по совершенствованию профессиональной технологических процессов осуществляются в конструкторских процессах, совершенствование которых должно выполняться в контексте технологических процессов.	зрелости должны в контексте процессов,
--	--

## 2. Специфика модели СММ-КТР

Анализ разработок, выполненных в предыдущие годы [Соснин, 2007], подтверждает осознанное стремление проектировщиков к интенсификации своего труда путем автоматизации и интеграции конструкторских и технологических разработок. Необходим механизм, который накапливает, хранит и предоставляет для использования проверенные на практике и специально подготовленные комплексы знаний по конструкторско-технологическому проектированию технических средств (ТС), подготовке и организации их производства.

Структура зрелости процессов, в которую вошли эти принципы качества, была впервые намечена Филиппом Кросби. Сетка зрелости управления качеством, приведенная Кросби, описывает пять эволюционных фаз во внедрении системы управления качеством. Эта структура зрелости была адаптирована для процесса управления конструкторско-технологическими разработками.

Модель зрелости процессов разработки КТР предоставляет организации-разработчику руководящие принципы управления своими процессами разработки и сопровождения КТР. СММ-КТР предназначена для выбора стратегий совершенствования процессов путем определения текущего уровня зрелости производственного процесса и выявления некоторых вопросов, наиболее значимых для повышения качества создаваемого КТР и совершенствования процессов.

Объединение преимуществ систем 3D-моделирования с возможностями информационных систем, обеспечивающих коллективную работу конструкторов, проектантов, технологов, операторов станков с ЧПУ (системы PDM и Work Flow), позволяет использовать процессные методы организации управления и на этой основе кардинально изменить систему КТПП. Для этого необходимо запараллелить последовательный процесс: конструкторская разработка – конструкторская документация – технологическая разработка – технологическая документация – разработка программ для станков с ЧПУ.

Практическая реализация workflow-систем для управления КТПП ставит ряд вопросов интеграции, связанных с необходимостью свести все элементы многокомпонентной системы воедино, преодолеть функциональную несовместимость различных систем. Для этого необходим взаимоувязанный

набор практик, поддерживающих интеграцию различных задач в рамках ТПП.

Концептуальная структура зрелости производственного процесса упорядочивает стадии КТР таким образом, что усовершенствования на каждой предшествующей стадии являются фундаментом усовершенствований последующей стадии. Таким образом, стратегия усовершенствования, предлагаемая концептуальной структурой зрелости производственного процесса, обеспечивает наиболее прямой путь постоянного улучшения уровня конструкторско-технологических решений.

Каждое описание уровней зрелости КТР разбивается на составные части. Разбиение каждого уровня зрелости, кроме первого, варьируется от кратких обзоров уровня до его рабочего определения в ключевых практиках, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Распределение групп ключевых процессов по уровням зрелости.

В разработках аппаратного обеспечения АС, необходим конструктивный учёт конструкторско-технологической деятельности  $R^{КТР}$ , обеспечивающей взаимосвязь множества проектных задач, согласованных с соответствующим программным обеспечением.

Конструктивные и технологические составляющие общей работы по подготовке производства взаимно дополняют друг друга, формировать единый поток работ, приводящий к

общему согласованному конструкторско-технологическому решению.

$$R^{KTP} = R_{Z_1}^K \cup R_{Z_2}^{TO} \cup R_{Z_3}^{TC}, \quad (1)$$

Где  $R_{Z_1}^K$  - конструкторская деятельность;

$R_{Z_2}^{TO}$  - деятельность по освоению новых и модернизируемых аппаратных средств АС;

$R_{Z_3}^{TC}$  - деятельность по обеспечению высоких технико-экономических показателей серийных изделий.

Деятельность по освоению новых и модернизируемых аппаратных средств АС  $R_{Z_2}^{TO}$  представляет следующее множество:

$$R_{Z_2}^{TO} = \{Z_m^{TP}; Z_m^{TC}; Z_m^{OF}; Z_m^{UP}\} \quad (2)$$

Где  $Z_m^{TP}$  - обеспечение производства комплектом технологических процессов;

$Z_m^{TC}$  - обеспечение производства средствами технологического оснащения;

$Z_m^{OF}$  - создание необходимых организационных форм производства;

$Z_m^{UP}$  - управление технологической подготовкой производства;  $m$  – количество задач.

Несмотря на имеющиеся разработки и прикладные решения, инструментарий проектировщика ТС не имеет обобщенных прикладных компонентов, обеспечивающих принятие зрелых, эффективных КТР. Таким прикладным компонентом становится программный комплекс TechWIQA, созданный на базе вопросно-ответной моделирующей среды WIQA [Ларин и др. 2011]

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 конструктивных и технологических работ.

На рисунке 2 показано дерево задач (Z) ТПП исследуемого изделия.

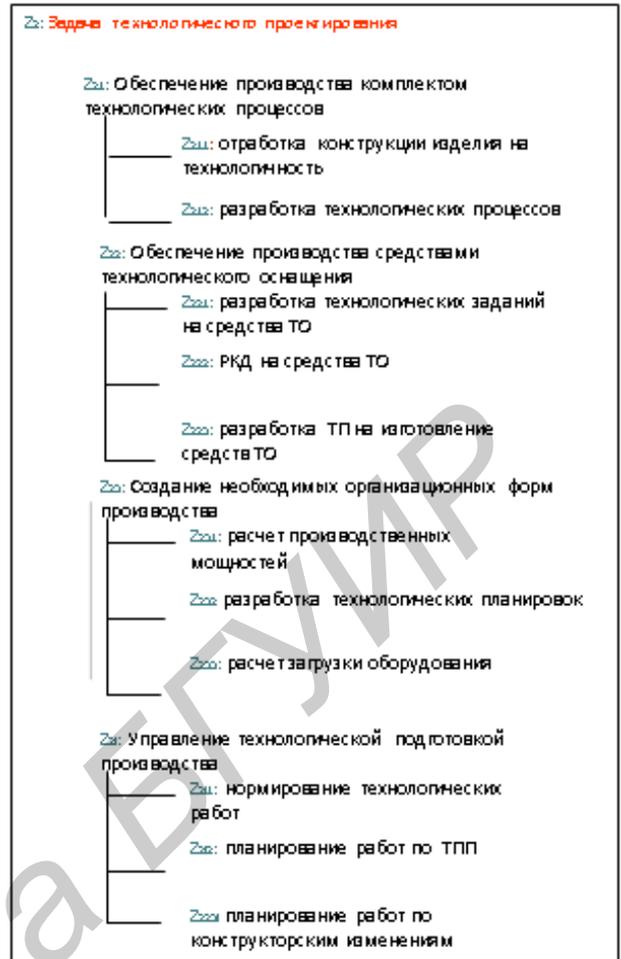


Рисунок 2 – Дерево задач технологического проектирования.

Технологическая подготовка производства наукоемких изделий является важнейшим элементом технической подготовки производства, весьма значительным по своему объему и сложности. На основании уровней зрелости СММ технологическая подготовка разделена на 5 уровней, на каждом из которых решается  $n$  типов задач  $Z_n$  (рис. 2). Каждая задача характеризуется различным содержанием, объемом работы и степенью точности создаваемой информации. Например, первая задача – первичная технологическая подготовка – характеризуется созданием информации, необходимой для планирования материально-технического снабжения и запуска установочных партий изделий. На этом этапе решаются следующие задачи:

- разработка межцеховых технологических маршрутов;
- составление графиков проектирования и изготовления инструмента с разбивкой на очереди;
- расчет норм расхода материала на детали и сборочные соединения;
- укрупненный расчет размера партий и длительности циклов;
- укрупненный расчет нормативов опережения запуска и выпуска.



Рисунок 3 – Технологические задачи, порождаемые уровнями зрелости КРТ.

Требования СММИ, в части постоянного совершенствования производства и улучшения качественных и экономических показателей выпускаемой продукции вызывают необходимость непрерывной работы технологов и конструкторов по дальнейшему усовершенствованию ранее разработанных мероприятий технологической подготовки производства.

В общем случае объем и содержание технологической подготовки производства характеризуются следующими задачами, основными из которых являются следующие:

- составление технологической документации на подготовку производства (технологические карты, инструкции и др.);
- составление ведомости необходимого технологического оборудования;
- составление ведомости необходимого покупного инструмента;
- проектирование и изготовление специального оснащения;
- проектирование и изготовление нестандартного оборудования;
- составление ведомости норм расхода материалов;
- расчет рабочей силы и обслуживающего персонала;
- расчет необходимых производственных и вспомогательных площадей;
- проектирование внутрицехового и межцехового транспорта;
- разработка системы технического контроля производства;
- разработка системы планирования производства.

На основании проведенных исследований очевидно, что обеспечение технологичности конструкции изделия играет исключительную роль в функции подготовки производства, которая предусматривает взаимосвязанное решение конструкторских и технологических задач, направленных на повышение производительности труда (СММ-КТР (3 уровень)), и сокращение времени на производство (СММ-КТР (4 уровень)),

достижение оптимальных трудовых и материальных затрат (СММ-КТР (5 уровень)).

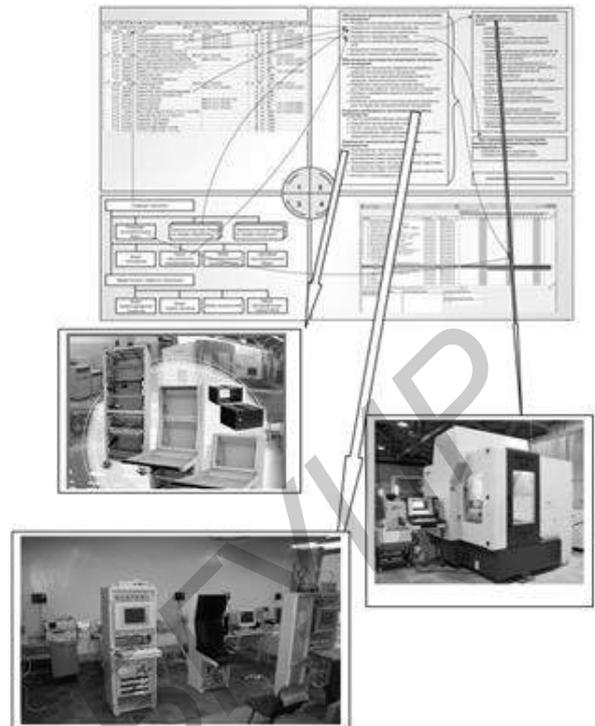


Рисунок 4 – Структура программного комплекса TechWIQA.

Обеспечение технологичности конструкции изделия включает:

- отработку конструкции изделия на технологичность на всех стадиях разработки изделия при технологической подготовке производства и в обоснованных случаях при изготовлении изделия;
- совершенствование условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте изделий и фиксацию принятых решений в технологической документации;
- количественную оценку технологичности конструкции изделия;
- технологический контроль конструкторской документации;
- подготовку и внесение изменений в конструкторскую документацию по результатам технологического контроля, обеспечивающих достижение базовых значений показателей технологичности.

Знание этих свойств и применение математических методов для их количественной оценки (СММ-КТР (4 уровень)) позволяют воздействовать на них в требуемом направлении и оптимизировать (СММ-КТР (5 уровень)) перечисленные выше затраты при безусловном обеспечении установленных значений других показателей качества и принятых условиях разработки и изготовления.

Таким образом, обеспечение технологической рациональности конструкций и оптимизация уровня преемственности конструктивных решений (СММ-

КТР (5 уровень)) выступают в качестве основных источников повышения эффективности КТР и позволяют сформулировать следующий принцип:

*Повышение зрелости процессов принятия конструкторско-технологических решений должно приводить к существенному сокращению циклов подготовки производства и создавать предпосылки для использования концепций параллельного инжиниринга (Concurrent Engineering /параллельное проектирование/)*

Возможности разработанного и апробированного программного комплекса (TechWIQA) [Карпушин и др. 2012] позволяют выполнять такую интегральную оценку влияния локальных КТР и выдавать ее специалистам проектировщикам в режиме реального времени. Предложенная авторами версия системы автоматизированного проектирования с применением «технологического блока» в дальнейшем нашла развитие на базовом предприятии ФНПЦ ОАО «НПО «Марс» при создании программного обеспечения для информационного обеспечения САМ-систем.

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

- сокращения сроков проведения проектов и, соответственно, всего процесса производства в целом, за счет повышения зрелости производственных процессов;
- повышения качества КТР в целом для объектов наукоемкого производства;
- снижения затрат на разработку конструкторско-технологической документации (маршрутных карт, ведомостей деталей).

Важным достоинством разработанного комплекса средств является моделирование технологических процессов в формах потоков работ и средств управления потоками, базовой единицей которых является «задача».

Для представления «задач» и их связанных совокупностей используется разработанный программный комплекс TechWIQA, созданный на базе вопросно-ответной моделирующей среды WIQA.

В текущей версии TechWIQA поддерживается формирование маршрутных карт (рис. 5) и технологических инструкций.

Описание функциональных возможностей и принципов практического использования разработанных компонент, проведенный в контексте общего сценария разработки и управления

единичными технологическими процессами изготовления, ремонта изделий и их составных частей с использованием вопросно-ответной среды TechWIQA, детально раскрыт в рамках выполнения НИР «Комплекс программных средств разработки и управления процессами технологической подготовки производства изделий ФНПЦ «ОАО НПО «МАРС»».

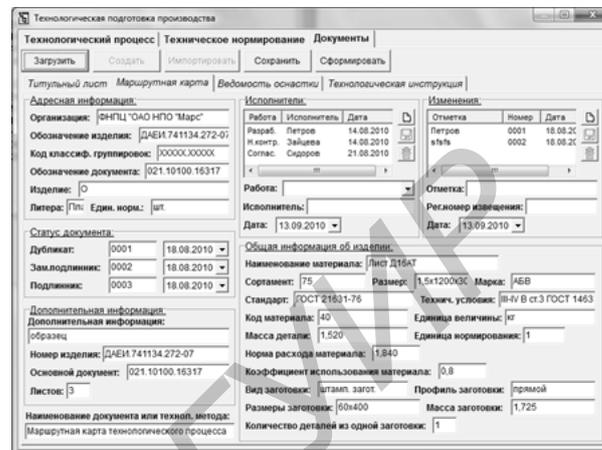


Рисунок 5 – Структура программного комплекса TechWIQA.

Маршрутная карта может быть сформирована в готовом для печати виде по стандарту ГОСТ 3.1118-82 в документе Microsoft Word. Комплекс программных средств разработки и управления процессами технологической подготовки производства изделий предназначен для автоматизации формирования комплектов документов на единичные технологические процессы изготовления, ремонта изделий и их составных частей, а также формирования и управления потоками технологических работ, планирования сроков.

Разработанный программный комплекс TechWIQA обеспечивает:

- распределение зарегистрированных задач исполнителям и рабочим группам, а также ввод плановых сроков начала и окончания выполнения задач;
- автоматизированный ввод данных структуры изделий, а также регистрацию задач по формированию комплектов документов на изделия и их составные части;
- возможность групповой работы с данными, посредством удаленного авторизуемого доступа к серверу;
- моделирование организационной структуры коллектива, разрабатывающего единичные технологические процессы изготовления, ремонта изделий и их составных частей, а также комплекты документов на них;
- автоматизированный ввод и импорт необходимой справочной информации;
- автоматизированный ввод данных операций технологических процессов и данных технического нормирования;
- автоматизированный ввод данных

документов на единичные технологические процессы, в соответствии с выбранной комплектностью и видом описания;

Конкретные практики, подлежащие выполнению в каждой группе ключевых процессов, эволюционируют по мере достижения организацией более высоких уровней зрелости.

СММ-КТР обеспечивает понимание и организует системную работу по интеграции всех информационных ресурсов предприятия, что приводит к существенному снижению стоимости и повышению эффективности бизнес-процессов предприятия, что позволяет получить следующие результаты:

1. Получение оперативной информации о текущих результатах деятельности конструкторско-технологических подразделений как в целом, так и с полной детализацией по отдельным видам ресурсов;
2. Решение задач оптимизации производственных и материальных потоков;
3. Планирование и контроль за всем циклом принятия КТР с возможностью влияния на него в целях достижения оптимальной эффективности в использовании производственных мощностей и всех видов ресурсов.

## Библиографический список

[Соснин, 2008 ] Соснин П. И. Концептуальное моделирование компьютеризованных систем: учеб. пособие. УлГТУ, 2008-. Ульяновск. -220 с.

[Соснин, 2007 ] Соснин П. И. Вопросно-ответное моделирование в разработке автоматизированных систем.: УлГТУ, 2007-Ульяновск.- 333 с.

[Ларин и др. 2011] С.Н. Ларин, В.А. Маклаев, П.И. Соснин. Методический базис конструкторско-технологических решений с позиций зрелости производственных процессов/Автоматизация процессов управления. Вып. 4 (26) – Ульяновск., 2011 – С. 55-65.

[Карпушин и др. 2012] А.Н. Карпушин, С.Н. Ларин, П.И. Соснин. Комплекс средств аспектно -ориентированного проектирования систем потоков работ конструкторско-технологической подготовки опытного приборостроительного производства/Автоматизация процессов управления. Вып. 6 (28) – Ульяновск., 2012 – С. 66-75.

## PRACTICAL IMPLEMENTATION OF MODELS OF MATURE FIELDS PROCESSES IN THE CONTEXT OF AUTOMATED CONTROL OF THE FLOWS OF DESIGN-ENGINEERING WORKS

Larin S. N.

*Ulyanovsk State Technical University,  
Ulyanovsk, Russian Federation*

**larinmars@rambler.ru**

### Introduction

The paper proposes and describes an integrated approach for the management of design and technological solutions. Model-based maturity of production processes conducted a study of organizational preconditions for systematic improvement of design and technological solutions (KTR) within the workflow of design and technological preparation of production. By combining the targets etc is the necessity of the tool environment for modeling flows of technological work. Generalized task modelling environment TechWQA.

### Main Part

Practical implementation of workflow systems for the management of design and technological preparation of production poses a number of integration issues associated with the need to bring all the elements of a multicomponent system together, to overcome the functional incompatibility of different systems. This requires an interconnected set of practices that support the integration of different tasks within the technological preparation of production. A set of software development tools and management processes of technological preparation of production of products is designed to automate the formation of sets of documents on single technological processes of manufacture, repair products and their components, as well as the formation and management of technological flows of works, planning of deadlines

### Conclusion

Specific practices to be performed in each group of key processes evolve as the organization will achieve higher levels of maturity.

SMM-KTR understands and organizes systematic work on the integration of all information resources of the enterprise, resulting in significant cost reduction and increased efficiency of business processes of the enterprise