

на правах рукописи



ТРОФИМОВА Майя Сергеевна

**Модели и алгоритмы информационного сопровождения процессов
управления качеством изделий машиностроения**

Специальность 05.13.01. – «Системный анализ, управление и обработка
информации (в науке и промышленности)» *по техническим наукам*

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Нижний Новгород – 2017 г.

Работа выполнена на кафедре «Теоретическая и прикладная механика»
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Панов Алексей Юрьевич

Официальные оппоненты: **Мартынов Александр Петрович**
доктор технических наук, профессор,
начальник научно-исследовательского
отдела ВГУП «Российский федеральный
ядерный центр – Всероссийский научно-
исследовательский институт
экспериментальной физики»
(г. Саров)
Банкрутенко Владимир Викторович
кандидат технических наук, доцент,
главный специалист отдела управления
ИТ-активами АО "Опытное
конструкторское бюро
машиностроения им. И.И.Африкантова"
(АО «ОКБМ Африкантов»)
(г. Н. Новгород)

Ведущая организация: **АО «НИЦ КД»** – Открытое акционерное
общество "Научно-исследовательский
центр контроля и диагностики
технических систем" (г. Н. Новгород)

Защита состоится «28» сентября 2017 г. в 12.00 часов в ауд. 1315 на
заседании диссертационного совета Д.212.165.05 в Нижегородском
государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева по адресу:
603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского
государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева и на сайте
<http://www.nntu.ru/content/aspirantura-i-doktorantura/dissertacii>.

Автореферат разослан «___» _____ 2017 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Суркова Анна Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Рост производства высокотехнологичной продукции с постоянно обновляемым модельным рядом требует организации последовательно-параллельного выполнения этапов подготовки производства, позволяющего повысить эффективность процессов проектирования. В связи с развитием технологического прогресса, **актуальной является задача** разработки информационного сопровождения процессов управления качеством, позволяющего выполнять оперативную работу по устранению и предупреждению дефектов. Основой таких исследований могут послужить методы функциональной систематики, позволяющие создать единую систему описания материальных объектов для различных отраслей машиностроения; обозначить эти объекты функциональными формулами, однозначно воспринимаемыми во всех областях знаний; усовершенствовать процесс проектирования за счет создания эффективной информационно-поисковой системы; сократить количество ошибок при выборе объектов производства, соответствующих требованиям потребителя; усовершенствовать процесс диагностики сложных технических систем и предотвращения отказов еще на стадии проектирования. Важной проблемой управления качеством изделий машиностроения является идентификация информационной модели формирования качества, определение параметров, оказывающих ключевое влияние на работоспособность изделий. Поэтому необходимой является компьютерная систематизация деталей машин по функциональным и конструктивно-технологическим параметрам. Таким образом, актуальность темы определяется необходимостью комплексного исследования, связанной с недостаточной разработанностью моделей и алгоритмов информационного сопровождения процессов управления качеством изделий машиностроения.

Степень теоретической разработанности темы.

С различных позиций вопросы повышения качества продукции на этапах подготовки производства изучались отечественными и зарубежными учеными, среди которых Г.Ф. Биктимирова, Н.В. Ващенко, А.В. Глазунов, Н.В. Горячева, Е.В. Колганов, В.А. Лapidус, М.И. Розно, Е.М. Goldratt, W.E. Deming, K. Ishikava, W.A. Shewhart и другие. Вопросам развития и применения методов функциональной систематики посвящены работы следующих отечественных и зарубежных ученых: С.М. Бреховских, С.А. Манцеров, А.П. Прасолов, В.Ф. Солинов, А.Ф. Ширялкин, С.Ф. Kirschman, G.M. Fadel и других. Проблемам идентификации динамических моделей управления посвящены работы В.В. Андреева, Н.П. Бусленко, В. Стрейца, Е.В. Тесленко, М.А. Arbib, R.E. Kalman, P. Falb и других. Исследования этих ученых целесообразно

развивать в направлении анализа взаимосвязей процессов и внутренних информационных потоков этапов подготовки производства, расширения возможностей структурных параметров в пространстве состояний динамической системы, применения методов функциональной компьютерной систематики изделий машиностроения.

Целью работы является построение информационного сопровождения этапов подготовки производства изделий машиностроения, позволяющего повысить эффективность функционирования системы управления качеством.

Задачи исследования:

1. Анализ существующих проблем в области информационного сопровождения этапов подготовки производства;
2. Построение модели информационных потоков процедуры «Перспективное планирование качества продукции»;
3. Модификация структуры формул функциональной компьютерной систематики изделий машиностроения;
4. Разработка модели возвратно-информационного цикла формирования параметров качества изделий машиностроения.
5. Разработка алгоритма построения функциональной системы изделий;
6. Разработка алгоритма информационного сопровождения процессов управления качеством изделий машиностроения;
7. Разработка структуры полей баз данных информационного сопровождения и компьютерной программы «Тахон 2.0»;
8. Разработка формы электронного функционального паспорта качества изделий машиностроения.

Объект исследования – информационные связи между процессами жизненного цикла изделий машиностроения.

Предмет исследования – модели и алгоритмы функциональной систематики и структуризации данных о качестве изделий машиностроения.

Область исследования соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.13.01. – «Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и промышленности)»:

- Пункт 4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации;
- Пункт 7. Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем;
- Пункт 12. Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации.

Научная новизна. По итогам диссертационного исследования получены следующие результаты, обладающие научной новизной и являющиеся предметом защиты:

1. Предложена модифицированная **структура формул функциональной компьютерной систематики изделий машиностроения** для классификации данных о выпускаемых деталях, *отличающаяся* систематизацией разнородных данных, *позволяющая* выполнять диагностику сложных технических систем. (Соответствует области исследования «Пункт 7» паспорта специальности).

2. Разработан **алгоритм построения функциональной системы изделий** для систематизации данных об изделиях машиностроения, *отличающийся* модифицированной структурой таксономической модели, *позволяющий* осуществлять генерацию формул функциональной компьютерной систематики. (Соответствует области исследования «Пункт 4» паспорта специальности).

3. Разработан **алгоритм информационного сопровождения процессов управления качеством изделий машиностроения на основании функциональной компьютерной систематики** для оптимизации процесса обработки информации и систематизации данных, *отличающийся* использованием в качестве поискового языка информационной системы функциональных формул, *обеспечивающий* целостность информационных потоков в режиме обратной связи между этапами жизненного цикла изделия. (Соответствует области исследования «Пункт 12» паспорта специальности).

Методологию и методы диссертационного исследования составляют методы системного анализа, методы моделирования, методы синтеза разнородных данных, методы таксономии и функциональной систематики, методы проектирования информационных систем.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы обеспечены корректным использованием математического аппарата, подтверждаются сравнением разработанных моделей и алгоритмов с результатами экспериментальных исследований и внедрением результатов работы на предприятиях и в организациях машиностроительного кластера.

Практическая значимость работы заключается в разработке программного комплекса «АРQP 1.0», обеспечивающего информационное сопровождение процессов последовательно-параллельного проектирования продукции, позволяющего сократить время на поиск информации о качестве изделий, вести статистический учет данных о возникающих дефектах и на его основе разрабатывать меры по устранению и предупреждению отказов изделий машиностроения, повышая качество продукции. Получено свидетельство о государственной регистрации программы «Тахон 2.0», № 2017611941.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Модифицированная структура формул функциональной компьютерной систематики изделий машиностроения.
2. Модель возвратно-информационного цикла формирования параметров качества изделий машиностроения.
3. Алгоритм построения функциональной системы изделий машиностроения.
4. Алгоритм информационного сопровождения процессов управления качеством изделий машиностроения на основании функциональной компьютерной систематики.

Сведения о внедрении результатов.

Теоретические и прикладные результаты диссертационной работы внедрены:

- 1) в работу публичного акционерного общества «Нижегородский машиностроительный завод», г. Нижний Новгород;
- 2) в работу акционерного общества «Нижегородский завод 70-летия Победы», г. Нижний Новгород;
- 3) в научную работу ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»;
- 4) в учебный процесс ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» при подготовке бакалавров по направлению 221400 «Управление качеством» в рамках программы подготовки кадров для предприятий оборонно-промышленного комплекса, а также при подготовке бакалавров и магистров по направлениям 27.03.02 и 27.04.02 «Управление качеством».

Апробация результатов исследования. Результаты исследования докладывались и обсуждались на пятнадцати региональных, всероссийских и международных научных конференциях:

- XIII Всероссийская научно-практическая конференция «Управление качеством» (г. Москва, 2014);
- «Региональный молодежный проект – Эстафета качества» (г. Нижний Новгород, 2014, 2015);
- «Национальный молодежный проект – Эстафета качества» (г. Нижний Новгород, 2014, 2015);
- Региональная молодежная научно-практическая конференция «Система менеджмента качества в машиностроении» (г. Нижний Новгород, 2014);
- VI Международная Интернет-конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновационные технологии: теория, инструменты,

практика» (г. Пермь, 2014);

- VII Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум 2015» (г. Москва, 2015);
- XIII, XIV, XVI Международные молодежные научно-технические конференции «Будущее технической науки» (г. Нижний Новгород, 2014, 2015, 2017);
- XX, XXI, XXII Нижегородские сессии молодых ученых (технические науки) (г. Нижний Новгород, 2015, 2016, 2017);
- XXI Международная научно-практическая конференция «Системный анализ в проектировании и управлении» (г. Санкт-Петербург, 2017).

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 14 печатных работах, в том числе 4 представлены в научных изданиях, рекомендуемых ВАК Министерства образования и науки РФ; 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Панов А.Ю., Трофимова М.С., Косенков Н.В.. Свидетельство РФ на программу для ЭВМ № 2017611941 «Тахон 2.0».

Личный вклад автора. Все выносимые на защиту результаты и положения, составляющие основное содержание диссертационной работы, разработаны и получены лично автором. Автор принимал участие в программной реализации алгоритмов и внедрении созданного программного обеспечения. В большинстве работ, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит определяющая роль при исследовании задачи и получении результатов.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 159 страницах, состоит из введения, четырех глав, содержащих 45 рисунков и 23 таблицы, заключения и 4 приложений. Библиографический список включает 106 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности, описание целей и задач исследования, объекта, предмета и методов исследования, отмечены научная новизна и практическая значимость результатов.

В **главе 1** «Анализ проблем управления качеством на этапах подготовки производства машиностроительной продукции в области информационного сопровождения» построен алгоритм процесса подготовки производства изделий машиностроения (рис. 1) и определены проблемы, возникновение которых возможно при выполнении соответствующих этапов. Проведен анализ стандартов в области управления качеством на машиностроительном

производстве. Выполнен анализ существующих подходов к решению задач идентификации системы управления качеством и классификации изделий машиностроения.

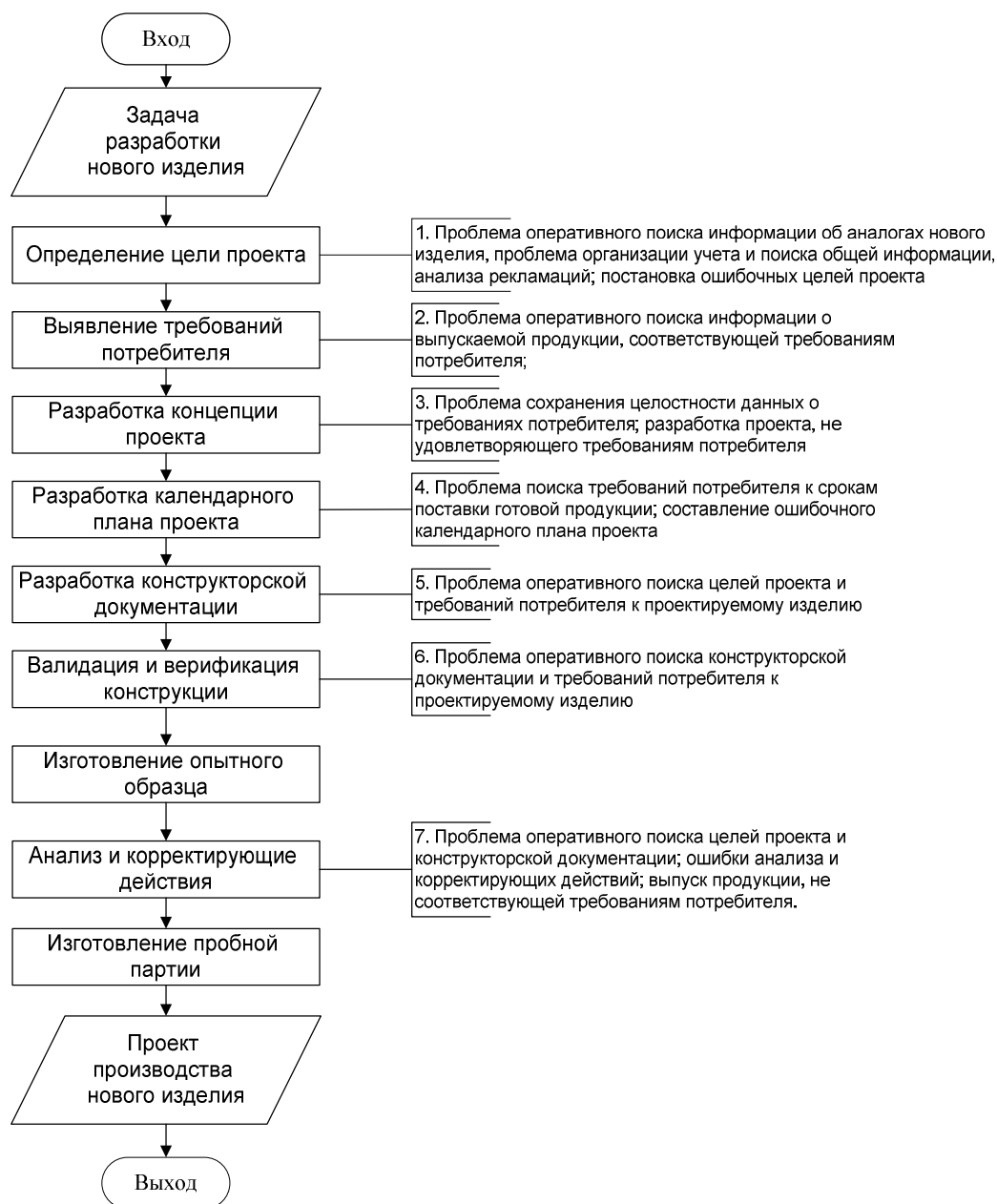


Рис. 1. – Алгоритм процесса подготовки производства изделий машиностроения и существующие проблемы в области информационного сопровождения

Обоснована актуальность задач построения модели информационных потоков процедуры «Перспективное планирование качества продукции» (APQP) и модели возвратно-информационного цикла формирования параметров качества изделий машиностроения, необходимость разработки алгоритмов построения функциональной системы изделий и информационного сопровождения процессов управления качеством изделий машиностроения на основании функциональной компьютерной систематики.

Материалы главы частично опубликованы в работах автора [1, 3, 6, 9, 10].

В главе 2 «Построение моделей управления качеством изделий машиностроения» проведен анализ требований национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р 51814.6-2005 «Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Менеджмент качества при планировании, разработке и подготовке производства автомобильных компонентов». В результате построены блок-схемы алгоритма процедуры APQP, на основании которых разработана модель информационных потоков (рис. 2) с применением методологии графического структурного анализа DFD-диаграммы потоков данных.

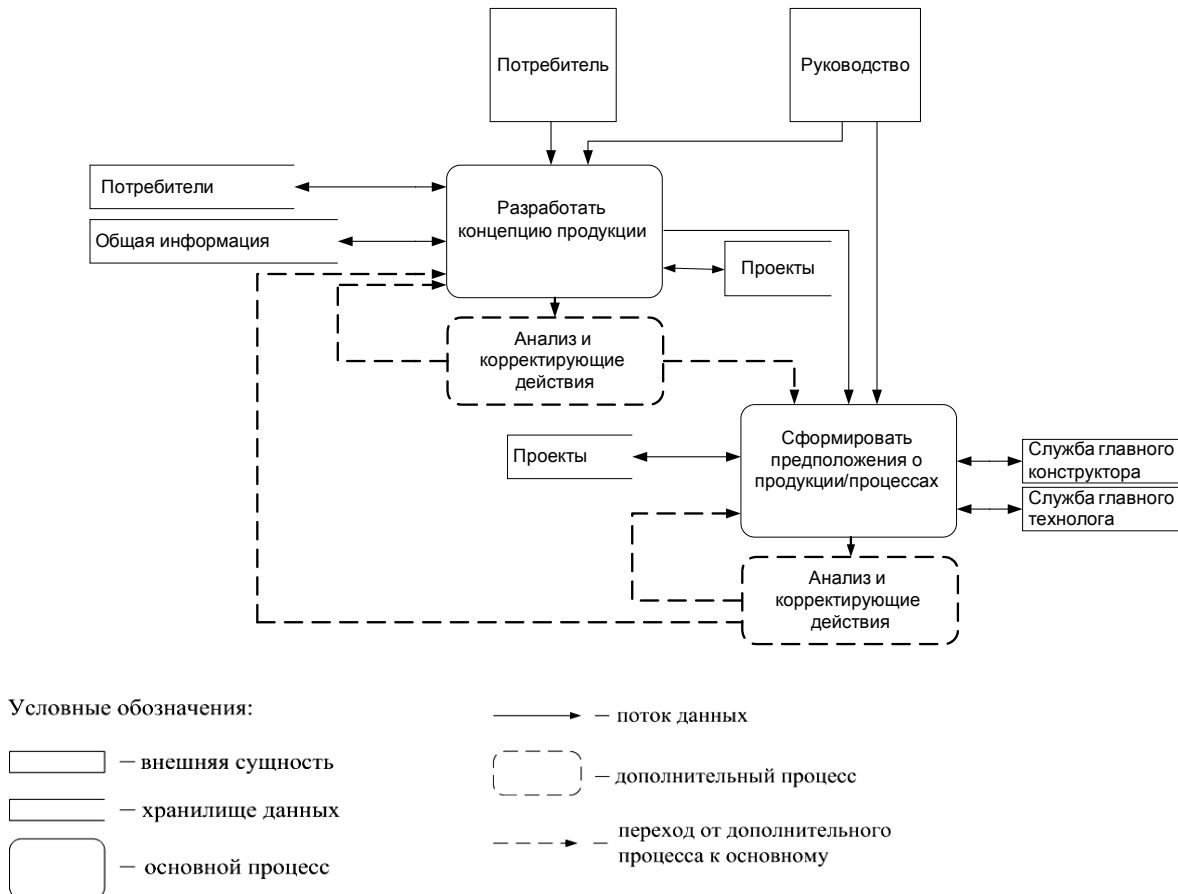


Рис. 2 – Фрагмент модели информационных потоков процедуры APQP

Главной задачей разработки этой модели было определение взаимодействия процессов с внешними субъектами (руководство, потребитель и субпоставщик) и с хранилищами данных, которые стали основой разрабатываемой информационной системы. Таким образом, построенная модель информационных потоков данных является основой для проектирования информационного сопровождения процессов управления качеством изделий машиностроения.

Данные об изделии составляют основной объем информационных потоков жизненного цикла продукции. Поэтому важной задачей является идентификация изделий в информационной системе, решение которой

возможно с применением методов функциональной систематики. В качестве идентификатора изделий предлагается применить формулы функциональной компьютерной систематики для изделий машиностроения.

Изделие можно представить как сложную систему, выполняющую определенные функции и обладающую конструктивно-технологическими особенностями, которые можно описать соответствующими функциональными (F) и конструктивно-технологическими (КТ) параметрами. Под функциональными параметрами понимаются параметры, характеризующие функциональное назначение изделия (воздействия объекта-функционала; объект, на который оказывается воздействие) и его взаимодействие с окружающей средой. Под конструктивно-технологическими параметрами понимаются тип, подтип, класс и подкласс изделия, характеризующие конструкцию, ее уровень сложности и форму изделия. Системная модель изделий имеет следующий вид:

$$I = \left\{ \begin{array}{l} \langle B_i^I, O_i^I, C^I, M^I, H^I \rangle, i = \overline{1, m} \\ \langle T^I, Pt^I, K^I, Pk^I \rangle \end{array} \right. \quad (1)$$

где m – число функциональных воздействий.

Уровень функциональных параметров: B_i^I – множество воздействий объекта-функционала на исходные объекты; O_i^I – множество объектов, на которые оказывается функциональное воздействие (меронов); C^I – множество критериев совместимости объектов-функционалов с факторами внешней среды; M^I – множество объектов, в которых реализуется функсон (архетипов); H^I – множество морфологических систем, в которых реализуется функсон.

Уровень конструктивно-технологических параметров: T^I – тип изделия; Pt^I – подтип изделия; K^I – класс изделия; Pk^I – подкласс изделия.

Структурная модель формирования массива элементов формулы функциональной систематики изделия представлена на рис. 3.

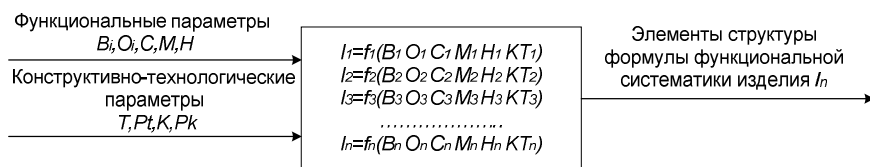


Рис. 3 – Структурная модель формирования массива элементов формулы функциональной систематики изделия машиностроения

На основании построенной модели разработана структура формул функциональной компьютерной систематики изделий машиностроения, имеющая следующий общий вид:

$$M3\{[BO]C6(M3 H5.1. j)\}(KT), \quad (2)$$

что означает Изделие {[для воздействия на объект] функсон реализуется в (финальном изделии)} (конструктивно-технологический параметр).

Полученная структура может быть применена для описания различных изделий машиностроительной отрасли и использована в качестве идентификатора при организации обратной связи на этапах жизненного цикла изделий, что позволит однозначно распознавать изделия в процессе анализа требований потребителя, рекламаций и проектировании новой продукции.

При построении информационной модели (рис. 3) получена зависимость $In=fn(Bn On Cn Mn Hn KTn)$. Так как изделия машиностроения выполняют свои функции в других изделиях, то параметры Cn , Mn , Hn в структуре формулы приняли вид $C6$, $M3$ $H5.1.j$, они являются постоянными. Остальные параметры будут различаться, и качество этих элементов будет влиять на качество проектируемого изделия. В итоге, получена следующая функциональная зависимость качества изделий:

$$In=fn(Bn On KTn) \quad (3)$$

Параметры Bn On и KTn являются динамическими характеристиками системы, их качество зависит от качества изготовления изделия в момент времени t_0 и его состояния в момент времени t .

Важной проблемой управления качеством изделий машиностроения является идентификация структурной модели (рис. 3) в форме ее представления в пространствах параметров (ПП) и состояний (ПС). Для решения задач проектирования изделий в условиях неопределенности недостаточно отображать просто параметры, необходимо также рассматривать структурные параметры, характеризующие состояние системы в определенный момент времени. Зависимость возникновения одних дефектов от других будет структурной, так как меняются конструктивно-технологические (KT) параметры деталей (например, разрыв оси приведет к повреждению шестерен, соединенных с ней). Но при этом меняется состояние сложной технической системы, качество ее функционирования (B , O) (например, разрушение дифференциала приводит к возникновению сильного стука в картере заднего моста). В то же время параметры B и O можно отнести к структурным, потому что в зависимости от необходимого функционирования и свойств объекта, на который оказывается воздействие, формируется структура проектируемого изделия. В пространстве состояний можно описать состояние системы в определенный момент времени, что будет с системой при выходе одного элемента из строя (в этом случае параметр элемента будет равен 0).

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Параметры B , O и KT отражают структурную информацию.
2. Применение параметров B , O и KT расширяет возможности пространства параметров и позволяет описывать свойства технической системы в пространстве состояний.

Структурная модель формирования состояний изделий машиностроения в зависимости от функциональных и конструктивно-технологических параметров представлена на рис. 4.

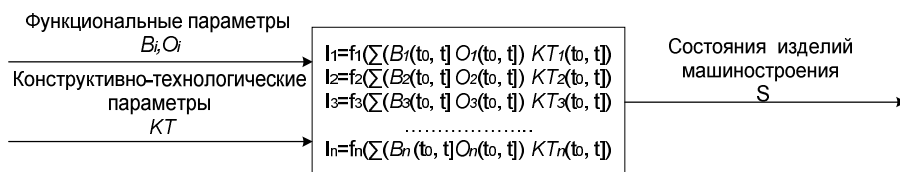


Рис. 4 – Структурная модель формирования состояний изделий машиностроения

В работе выполнена декомпозиция модели (рис. 4) для ситуации, когда изделие машиностроения устанавливается на предприятии-изготовителе в узел или агрегат, который может быть собран в конечную продукцию на заводе-изготовителе, собран на предприятии-потребителе или установлен в устройство потребителя в качестве запасной части. Полученная модель является динамической и отражает возвратно-информационный цикл процесса формирования параметров качества изделий машиностроения (рис. 5).

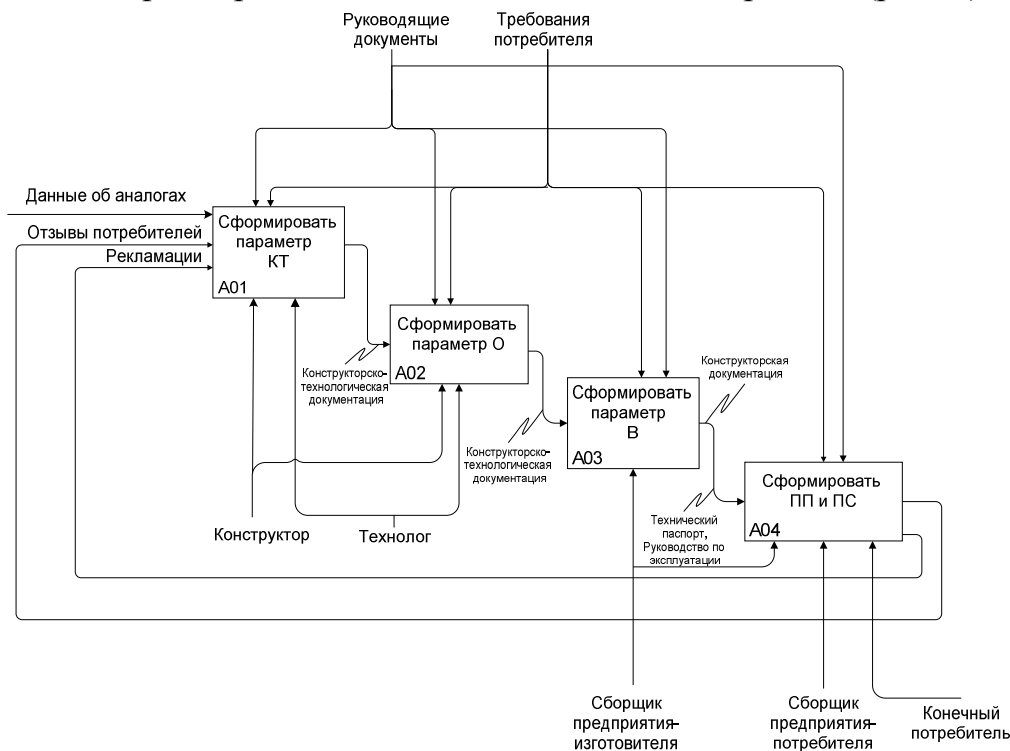


Рис. 5 – Модель возвратно-информационного цикла формирования параметров качества изделий машиностроения

Разработанная модель показывает последовательный процесс формирования пространства параметров и пространства состояний сложной технической системы, на основании которой формируются параметры, кто регламентирует и выполняет эти процессы. Полученная модель стала основой для разработки формы электронного функционального паспорта качества изделий.

Одним их критериев, характеризующих уровень качества выпускаемой продукции являются рекламации от потребителей, возникающие когда мгновенные значения выходных параметров из множества $\{Y\}$ выходят за границы допустимых значений этих параметров из множества $\{G\}$. Связь между состоянием системы и ее выходными характеристиками Y , предопределяемыми множеством $\{G\}$, устанавливается оператором H . Функциональную взаимосвязь качества изделия от качества объектов (O), на которые оно оказывает воздействие и характера этого воздействия (B) устанавливает внутренний оператор системы Φ . Характеристики изделия, регламентируемые стандартами и требованиями потребителей, основанные на анализе данных об аналогах, рекламациях, образуют множество мгновенных значений входных воздействий $\{U\}$, ограниченных множеством допустимых входных воздействий $\{\Omega\}$. Состояния изделия на этапах его жизненного цикла образуют множество состояний системы $\{X\}$. Моменты времени, фиксирующие изменение состояний системы образуют множество моментов времени $\{T\}$. Исходя из этого, простые детали машиностроения можно рассматривать как агрегат, сложное изделие – как множество взаимосвязанных агрегатов, описываемых независимо от функциональных особенностей обобщенными математическими моделями вида $\Sigma = \{T, X, U, \Omega, Y, G, \Phi, H\}$.

При моделировании процесса управления качеством изделий машиностроения предлагается использовать теоретико-множественную модель технической системы (ТС) как объекта проектирования: $Y = F(X, \Lambda, U)$, где X – вектор функциональных и конструктивно-технологических параметров системы, определяющий состояния ТС в зависимости от изменения внешних условий; U – вектор управляющих воздействий (данные об аналогах, отзывы и рекламации потребителя, техническое задание); Y – вектор выходных параметров детали; F – теоретико-множественный функционал, выражающий соответствие $q=(X,Y,F)$ с учетом воздействия внешних факторов Λ и управляющих воздействий U (рис. 6).

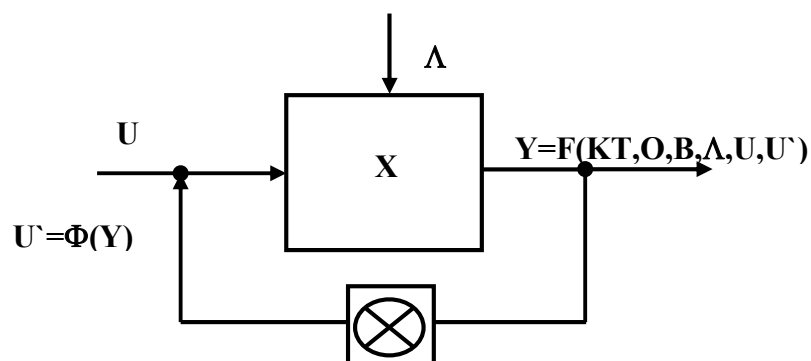


Рис. 6 – Схема управления процессом формирования параметров качества изделий машиностроения

Для параметров \mathbf{KT} , \mathbf{O} , \mathbf{B} введем множество допустимых значений $\mathbf{D}_{\mathbf{KT}}$, $\mathbf{D}_{\mathbf{O}}$, $\mathbf{D}_{\mathbf{B}}$ соответственно. Теоретико-множественная модель $\mathbf{Y}=\mathbf{F}(\mathbf{T},\mathbf{S},\mathbf{U},\mathbf{U}',\mathbf{KT},\mathbf{D}_{\mathbf{KT}},\mathbf{O},\mathbf{D}_{\mathbf{O}},\mathbf{B},\mathbf{D}_{\mathbf{B}},\mathbf{\Lambda})$ (4), определяющая связь между выходным параметром \mathbf{Y} , входными параметрами \mathbf{U} и \mathbf{U}' , состояниями системы в зависимости от параметров элементов $\mathbf{KT},\mathbf{D}_{\mathbf{KT}},\mathbf{O},\mathbf{D}_{\mathbf{O}},\mathbf{B},\mathbf{D}_{\mathbf{B}}$ при воздействии внешних факторов $\mathbf{\Lambda}$, описывает поведение динамической системы управления качеством при проектировании изделий машиностроения. Модель (4) предназначена для принятия конструкторских решений при проектировании новых изделий и внесении изменений в конструкцию уже выпускаемой продукции.

Поведение динамической модели системы управления качеством при несоответствии параметров \mathbf{KT} , \mathbf{O} , \mathbf{B} допустимым значениям $\mathbf{D}_{\mathbf{KT}}$, $\mathbf{D}_{\mathbf{O}}$, $\mathbf{D}_{\mathbf{B}}$ может быть описано следующей функциональной зависимостью:

$$\bar{\mathbf{Y}}=\bar{\mathbf{F}}((\overline{\mathbf{KT}}(t_0vt_1))\wedge(v)(\overline{\mathbf{O}}(t_0vt_2))\wedge(v)\overline{\mathbf{B}}(t_0vt_3), \mathbf{\Lambda}(t_0, t_1, t_2, t_3)), \quad (5)$$

запись означает, что отказ (выход из допустимого предела критического параметра) может возникнуть в результате неверно назначенных одного или совокупности параметров \mathbf{KT} , \mathbf{O} и \mathbf{B} при проектировании изделия (t_0) под влиянием внешних воздействий $\mathbf{\Lambda}$ или в результате изменения значений параметров в процессе проведения испытаний или эксплуатации изделия в моменты времени t_1, t_2, t_3 в зависимости от внешних воздействий $\mathbf{\Lambda}$. При этом моменты времени могут быть равны ($t_1=t_2=t_3$) или различаться.

Поведение динамической модели системы управления качеством при $\mathbf{KT}\rightarrow\mathbf{0}$ будет $\bar{\mathbf{Y}}\rightarrow\mathbf{0}$ или $\bar{\mathbf{Y}}=\mathbf{0}$. Параметр \mathbf{KT} характеризует форму и конструктивные особенности изделия. Поэтому при изменении этого параметра (например, при износе или разрушении) возникнет отказ, и система будет работать с нарушением функций или не сможет продолжать функционировать.

Поведение динамической модели системы управления качеством при условиях $\mathbf{O}\rightarrow\mathbf{0}$ и (или) $\mathbf{B}\rightarrow\mathbf{0}$ может иметь вид: $\bar{\mathbf{Y}}=\mathbf{0}$ или $\bar{\mathbf{Y}}=\bar{\mathbf{F}}(\mathbf{KT}, \overline{\mathbf{O}}\wedge(v)\overline{\mathbf{B}}, \mathbf{\Lambda})$. Параметры \mathbf{O} и \mathbf{B} характеризуют качество объекта, на который проектируемое изделие оказывает воздействие, и характер этого воздействия. Поэтому при уменьшении значений этих параметров система может как перестать функционировать, так и продолжить работать, но выполняя функции с нарушением качества работоспособности узла, в который установлено изделие.

Материалы главы частично опубликованы в работах автора [2, 3, 5, 7, 8,11].

В главе 3 «Управление качеством подготовки производства на основе методов функциональной систематики» разработан алгоритм построения функциональной системы изделий (рис. 7).

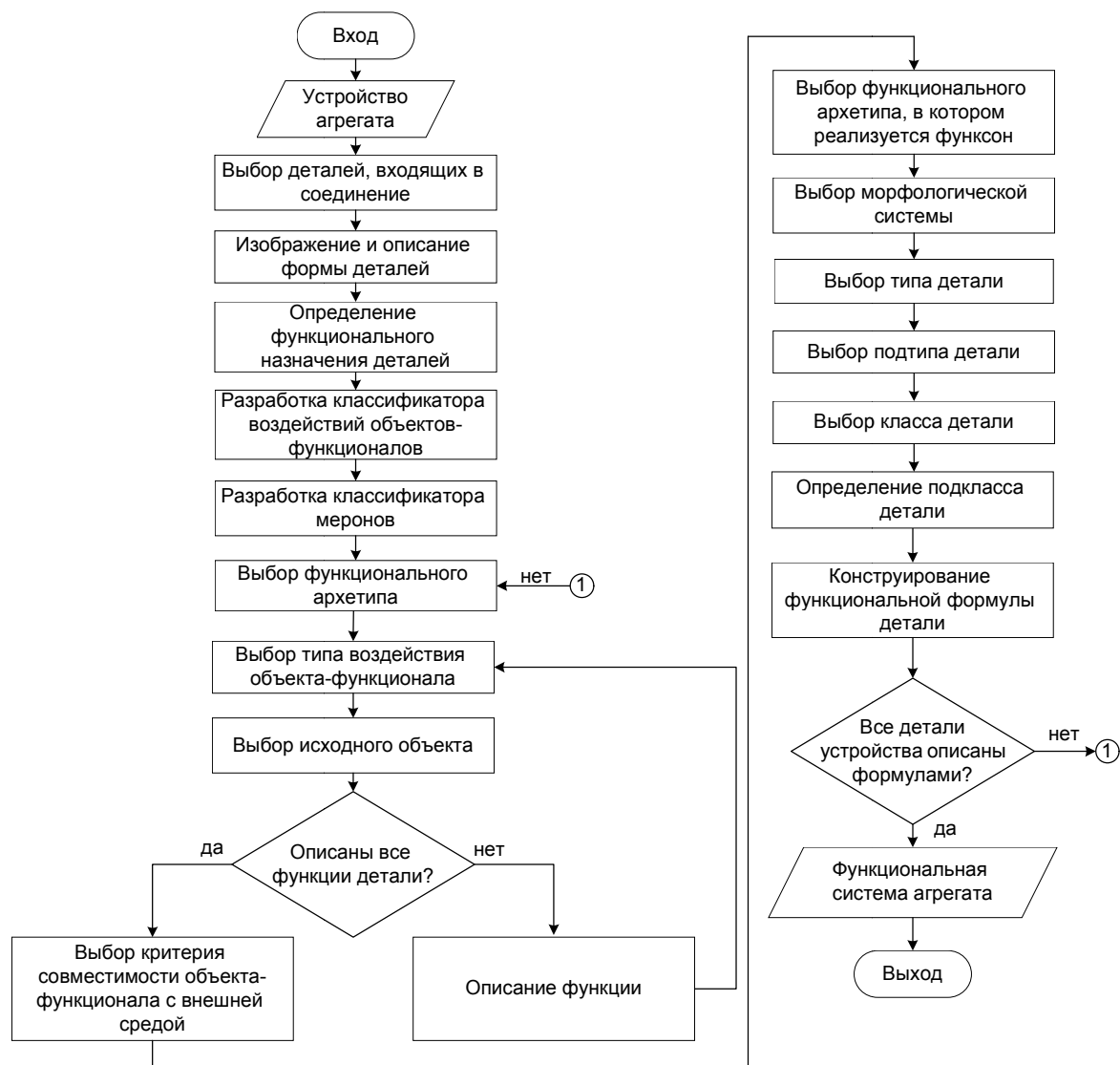



Рис. 7 – Алгоритм построения функциональной системы изделий

Рассмотрим процесс построения функциональной системы изделий машиностроения согласно предложенному алгоритму на примере деталей устройства заднего моста грузового автомобиля.

На первом этапе проводится анализ конструктивной формы каждой детали, входящей в соединение, описываются ее функции и взаимодействие с другими деталями (таблица 1).

Табл. 1 – Фрагмент анализа формы и выполняемых функций деталей

Наименование детали	Описание формы детали с изображением	Функциональное назначение
Гайка ведущей шестерни	<p>Деталь резьбового соединения или винтовой передачи, имеющая отверстие с резьбой</p> 	Соединение фланца ведущей шестерни с ведущей шестерней

В известных работах по функциональной систематике отсутствуют классификаторы функциональных воздействий и объектов, на которые оказываются воздействия для изделий машиностроения. Поэтому на основании проведенного анализа необходима разработка классификаторов всех возможных выполняемых функций и объектов, на которые оказывается воздействие. Для описания функциональной системы заднего моста в работе разработан классификатор различных воздействий деталей на другие объекты (таблица 2) и классификатор меронов (таблица 3).

Табл. 2 – Фрагмент классификатора воздействий объекта-функционала

Обозначение	Название воздействия объекта-функционала
V1	Крепление
V2	Передача крутящего момента

Табл. 3 – Фрагмент классификатора меронов

Обозначение	Мерон
O1	Балка
O2	Вал ведущей шестерни

Описание конструктивно-технологических параметров изделий предлагается выполнять в виде кода, который генерируется на основании данных о типе, подтипе, классе и подклассе деталей (таблица 4).

Табл. 4 – Фрагмент классификации деталей заднего моста

Наименование детали	Тип	Подтип	Класс	Подкласс	Код
Тормозной барабан	Однородно-комбинированный	С совмещенными осями, при отличии диаметральных размеров ОЭ более чем в 1,6 раза	Вращения	Круглые	VS

В результате получена система функциональных формул описания деталей устройства заднего моста грузового автомобиля. Например, формула функциональной компьютерной систематики тормозного барабана имеет следующий вид: $M3\{[B7O9]C6(M3H5.1.15)\}(VS)$, (6) что означает Изделие {[для остановки задних колес] функсон реализуется в (финальных изделиях для транспорта)}(круглые($D1/D2 > 1,6$) – (диски, шестерни, кольца, валы, штоки и другие)).

Предложенный алгоритм применяется при разработке информационного сопровождения процессов управления качеством изделий машиностроения с целью организации функционирования возвратно-информационного цикла проектирования изделий машиностроения.

Материалы главы частично опубликованы в работах автора [4, 12].

В главе 4 «Практическая реализация алгоритмов функциональной систематики» разработан алгоритм информационного сопровождения (рис. 8) и описана реализация алгоритмов работы с системой информационного сопровождения процессов управления качеством изделий машиностроения на основании функциональной систематизации данных, проведена проверка работоспособности разработанной системы в задачах технической диагностики сложных систем.

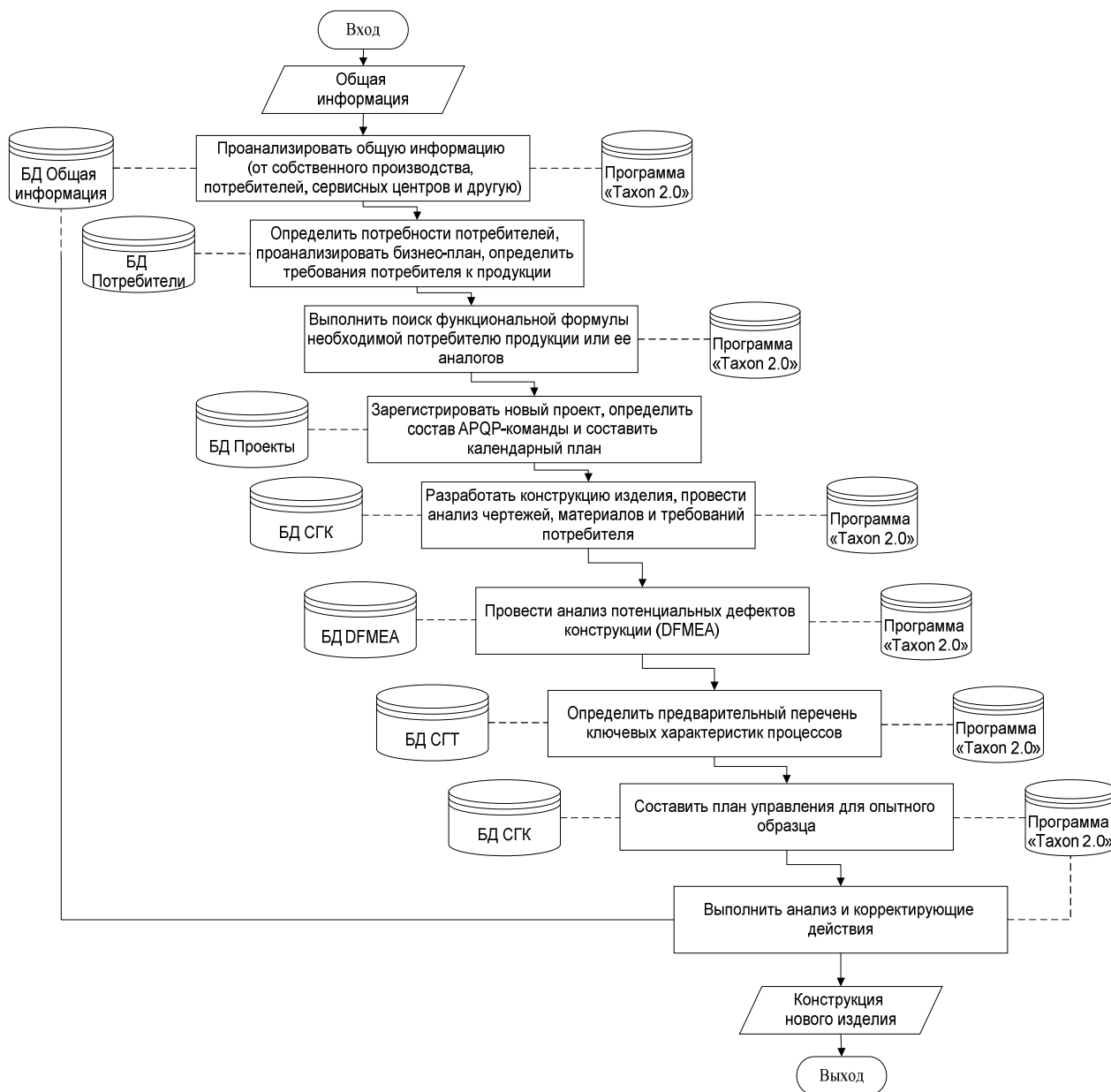


Рис. 8 – Алгоритм информационного сопровождения процессов управления качеством изделий машиностроения на основании функциональной компьютерной систематики

Программный комплекс «APQP 1.0» состоит из базы данных «APQP 1.0» и компьютерной программы «Тахон 2.0». Разработка базы данных основана на модели информационных потоков, построенной во второй главе.

Основные задачи разработки программного комплекса «APQP 1.0» – информационное сопровождение процессов разработки концепции продукции,

формирования предположений о технико-экономических и других показателях создаваемой продукции и проектирования опытного образца в соответствии с требованиями национального стандарта ГОСТ Р 51814.6-2005. Особенность разработки заключается в применении в качестве поискового инструмента формул функциональной компьютерной систематики, позволяющих однозначно распознавать детали на всех этапах проектирования.

С целью обеспечения полноценной работы с функциональными формулами создана компьютерная программа «Тахон 2.0», которая нашла применение в задачах диагностики технических систем. Например, если известна проблема «Превышение давления внутри балки», достаточно ввести эти данные в окно поиска, и мы найдем деталь, отвечающую за функцию предотвращения превышения давления внутри балки.

Программа позволяет выполнять поиск функциональной формулы по наименованию продукции или известному параметру; расшифровку функциональной формулы; конструирование функциональных формул на основании выбора отдельных параметров.

С целью организации оперативной работы по предупреждению дефектов и выполнения статистического анализа обнаруженных дефектов разработана форма электронного функционального паспорта качества изделий машиностроения (рис. 9), который можно сформировать на основании информации, введенной в базу данных «APQP 1.0». В качестве уникального идентификатора изделия применяются разработанные формулы функциональной компьютерной систематики.

The screenshot shows a web-based form for a functional passport. It contains the following fields and data:

- Part ID:** M3{[B13016]C6(M3N5.1.15)}{VS}
- Name:** Манжета ведущей шестерни
- Code:** 453000
- Material:** Бутадиен-нитрильный каучук (NBR)
- Usage:** ГАЗ -2705; ГАЗ-2217
- Observed Defect 1:** Разрыв
- Potential Defect 1:** Разрыв
- Recommendation 1:** Рекомендуется производить регулярную очистку сапуна
- Company:** ОАО "ГАЗ"
- Date:** 03.03.2015
- Inspector:** Трофимова М.С.
- Company:** НГТУ
- Date:** 03.05.2017

Дата	Кол-во	Место	Обстоятельства
03.05.2017	1	Чебоксары	При эксплуатации транспортного средства
04.05.2017	2	Нижний Новгород	При эксплуатации транспортного средства

Рис. 9 – Функциональный паспорт изделия для манжеты ведущей шестерни

Представленный функциональный паспорт содержит информацию восьми различных документов (материал изделия, объекты использования изделий, потенциальные дефекты, рекомендации по предупреждению дефектов, предприятие-изготовитель, три рекламации). Экспериментальная проверка показала, что при ручной обработке данных потребовалось 0,55 ч. рабочего времени ($T_{р.о.д.}=0,55$) для поиска всей необходимой информации. Среднее время обработки данных о качестве изделия с применением функционального паспорта – 0,02 ч. ($T_{э.о.д.}=0,02$). При этом на обработку «входящей» информации и регистрацию ее в базе данных затрачено 0,06 ч. ($T_{в.и.}=0,06$). Рассчитаем эффективность применения функционального паспорта качества изделий по формуле:

$$\mathcal{E}_{ф.п.} = \frac{T_{р.о.д.}}{(T_{э.о.д.} + T_{в.и.})} \quad (7)$$

$$\mathcal{E}_{ф.п.} = \frac{0,55}{(0,02 + 0,06)} = 6,875$$

Таким образом, эффективность применения функционального паспорта, учитывающего возникновение 3 дефектов равна 6,875. При увеличении числа обнаруженных дефектов эффективность будет увеличиваться. На рис. 10 показана зависимость времени обработки данных от количества обрабатываемых документов.

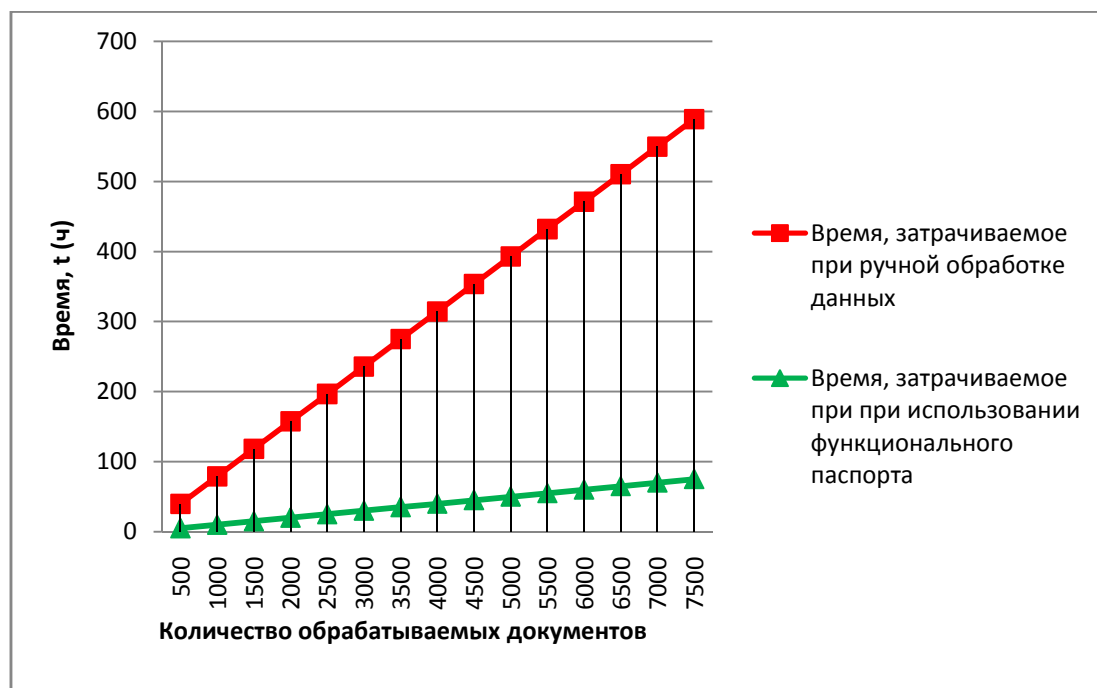


Рис. 10 – Зависимость времени обработки данных от количества обрабатываемых документов

В результате, получен алгоритм процесса подготовки производства изделий машиностроения с указанием решенных проблем (рис. 11).

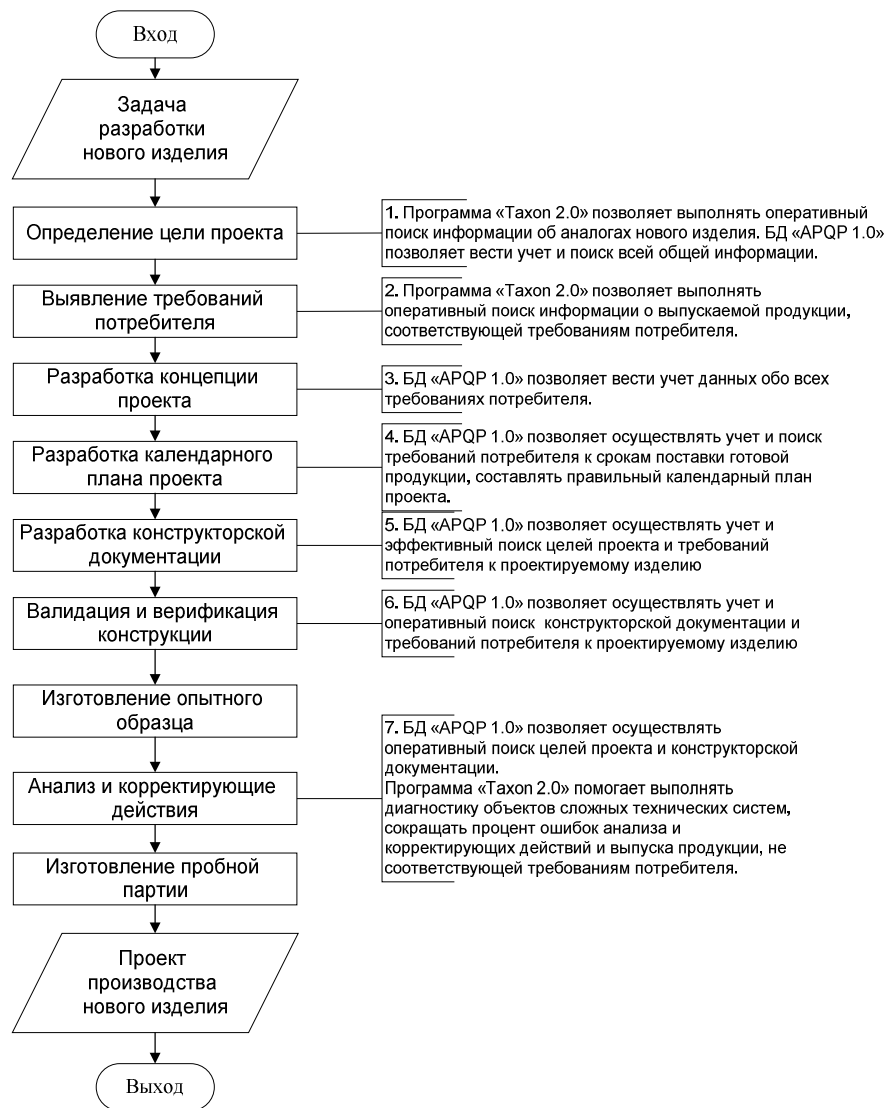


Рис. 11 – Алгоритм процесса подготовки производства изделий машиностроения с указанием решенных проблем

Разработанный программный комплекс позволяет выполнять информационное сопровождение процессов управления качеством изделий и решать задачи диагностики сложных технических систем машиностроительной отрасли.

Материалы главы частично опубликованы в работах автора [4, 13].

В **заключении** диссертации приведены основные результаты и выводы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ:

1. Проведен анализ существующих проблем в области информационного сопровождения этапов подготовки производства, на основании которого поставлены задачи исследования.
2. Построена модель информационных потоков процедуры «Перспективное планирование качества продукции», показывающая движение информационных потоков при последовательно-параллельном

проектировании. При построении модели в качестве хранилищ данных спроектированы базы данных разработанного информационного сопровождения.

3. Получена модифицированная структура формул функциональной компьютерной систематики изделий машиностроения, отличающаяся систематизацией структурных параметров, характеризующих динамическое состояние изделий машиностроения.
4. Построена модель возвратно-информационного цикла формирования параметров качества изделий машиностроения.
5. Разработан алгоритм построения функциональной системы изделий, позволяющий систематизировать данные об изделиях машиностроения путем генерации формул функциональной систематики, характеризующих выпускаемые изделия с учетом выполняемых функций и конструктивных особенностей.
6. Разработан алгоритм информационного сопровождения процессов управления качеством изделий машиностроения на основании функциональной компьютерной систематики, отражающий взаимосвязи основных процессов информационного сопровождения этапов подготовки производства с базами данных и программой «Тахон 2.0».
7. Разработано информационное сопровождение процессов управления качеством изделий машиностроения, представляющее собой программный комплекс «ARQP 1.0», состоящий из баз данных и программы «Тахон 2.0», позволяющий выполнять сбор, хранение и обработку данных на всех этапах проектирования изделий машиностроения, эффективный поиск данных о выпускаемой продукции и диагностику технических систем.
8. Разработана форма функционального паспорта качества изделий машиностроения, и выполнена оценка эффективности его применения.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, входящих в Перечень ВАК РФ:

1. Трофимова, М.С. Создание условий для российского производства автокомпонентов [Текст] / А.В. Каляшина, М.С. Трофимова // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 12-2. – С. 247-251.
2. Трофимова, М.С. Структуризация процедуры ARQP в виде блок-схемы как первый шаг к пониманию перспективного планирования качества продукции [Текст] / А.В. Каляшина, М.С. Трофимова, С.М. Трофимов // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – №2 – 11. – с. 2333-2339.

3. Трофимова, М.С. К вопросу о разработке методики эффективного управления проектом внедрения процедуры «Перспективное планирование качества производства» [Текст] / А.Ю. Панов, М.С. Трофимова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – №5. – С. 249-252.
4. Трофимова, М.С. Корпоративная информационная система сопровождения этапов процедуры APQR как инструмент развития поставщиков автокомпонентов [Текст] / А.Ю. Панов, М.С. Трофимова, Н.В. Косенков // Программные системы и вычислительные методы. – 2017. – №1. – С. 1-10.

Публикации в прочих изданиях, материалы конференций

5. Ананьева (Трофимова), М.С. К вопросу разработки модели информационного сопровождения APQR-процесса для отечественных предприятий-поставщиков автокомпонентов [Текст] / М.С. Ананьева (Трофимова)// Сборник материалов XIII Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки», 2014. – С. 94-95.
6. Трофимова, М.С. APQR-процесс как инструмент развития отечественных предприятий-поставщиков автокомпонентов [Текст] / М.С. Трофимова // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. –2014. – №5 (107). – С. 220-224
7. Трофимова, М.С. Установление информационных связей процедуры APQR как первый шаг разработки информационной модели процесса [Текст] / М.С. Трофимова // XX Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки: Материалы докладов / Отв. за вып. Зверева И.А. – Н.Новгород: Гладкова О.В., 2015. – С. 145-146.
8. Трофимова, М.С. Применение нотаций IDEF0 и DFD для описания бизнес-процессов как метод построения информационной модели APQR-процесса [Текст] / М.С. Трофимова // Сборник материалов XIV Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки», 2015. – С. 151-152.
9. Трофимова, М.С. Обзор методов и методик системного анализа применительно к управлению качеством предприятия [Текст] / М.С. Трофимова, С.М. Трофимов // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2015. –№14. – С. 74-96.
- 10.Трофимова, М.С. К вопросу о повышении конкурентоспособности отечественных автокомпонентов путем грамотного проектирования и разработки продукции [Текст] / М.С. Трофимова // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3-1. – С. 85-87.
- 11.Трофимова, М.С. Построение информационной модели подготовки производства продукции на основании процедуры APQR [Текст] /

А.Ю. Панов, М.С. Трофимова // XXI Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки: материалы докладов / Отв. за вып. Зверева И.А. – Княгинино: НГИЭУ, 2016. – С. 89-92

12. Трофимова, М.С. Методика построения функциональной системы агрегата транспортного средства [Текст] / А.Ю. Панов, М.С. Трофимова // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2016. – № 20. – С. 50-61

13. Трофимова, М.С. Реализация информационной системы сопровождения этапов процедуры APQP в высшей школе [Текст] / А.Ю. Панов, М.С. Трофимова, Н.В. Косенков // Инновационные технологии в образовательной деятельности: материалы Всероссийской научно-методической конференции, г. Н.Новгород, 1 февраля 2017 г./ Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2017. – С. 208-212

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

14. Свидетельство РФ на программу для ЭВМ Тахон 2.0 / Панов А.Ю., Трофимова М.С., Косенков Н.В. // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2017611941. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности РФ (Роспатент) от 13 февраля 2017 г.

В работах, опубликованных в соавторстве, лично соискателю принадлежат:

- в [1, 3] – анализ требований процедуры «Перспективное планирование качества продукции» (APQP) и ее структуризация;
- в [2, 9] – постановка задачи разработки информационного сопровождения процессов управления качеством изделий;
- в [4, 11, 12, 13] – разработка модели процедуры APQP, разработка информационного сопровождения процессов управления качеством изделий машиностроения.

Подписано в печать __. __. 2017. Формат 60x84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Усл.-изд. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ .

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Типография НГТУ. 603950, ГСП, Нижний Новгород, ул. Минина, 24