

# Автоматизированные системы управления технологическими процессами

УДК 621.0:004.82

DOI: 10.14529/ctcr170312

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**А.Г. Лютов, Ю.В. Рябов, Р.И. Шайдуллин, И.И. Шамбазов**

*Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа*

Рассмотрена модель автоматизированного управления процессами в машиностроительном производстве, основанная на процессном подходе и применении механизма обратных связей. Предложен новый подход к синтезу технологических операций на основе формирования последовательных цепочек знаний переходов. Гибкость процесса технологической подготовки достигается выбором наилучшего решения, удовлетворяющего требованиям текущей производственной ситуации. Предложен новый метод представления знаний на основе XML-схем, основанный на создании элементов знаний для технологических объектов и переходов. Элементы знаний включают атрибуты, определяющие их свойства и типы данных.

*Ключевые слова: обратные связи, структурный синтез, технологический процесс, элементы знаний, цепочки исполняемых переходов, XML-схема.*

### **Введение**

Исходной информацией для формирования и моделирования технологического процесса (ТП) является 3D-модель изделия с атрибутами PMI. По результатам формирования технологического процесса создаются его структура и комплект документации, а для автоматизированного оборудования – управляющие программы. Вся эта информация передается на вход производственных процессов.

Качество изделий определяется контролем процессов производства на всех этапах его жизненного цикла и принятием управленческих решений в случаях отклонения параметров процесса от принятых границ его нормального протекания. Для учета данного обстоятельства необходима модель управления как конструкторско-технологическими, так и производственными процессами [1].

Эффективность в управлении достигается, прежде всего, за счет применения механизма обратных связей, обеспечивающих преобразование ресурсов на «входе» (в рамках производственных процессов) в полезную работу на «выходе» для достижения заданных целей на основе каскада обратных связей.

### **1. Постановка задачи**

Модель автоматизированного управления процессами в машиностроении с обратными связями для регулирования отклонений процессов производства и технологической подготовки приведена на рис. 1.

Управление циклом конструкторско-технологической подготовки производства изделий осуществляется через PDM-систему [1]. В этом случае в PDM-системе организуется структура данных об изделии, о технологической оснастке и о сквозном технологическом процессе, формируется единая база данных технологических ресурсов. PDM-система позволяет организовать различные потоки данных, связанные с работой архива конструкторской документации (КД), архива технологической документации (ТД), библиотеки управляющих программ (БУП), базой данных технологическими ресурсами (оборудование, оснастка, материалы), базой данных результатов производств (ДРПП), а также предоставляет возможность подключения программных модулей для решения технологами различных задач и моделирования рассматриваемых видов обработки.

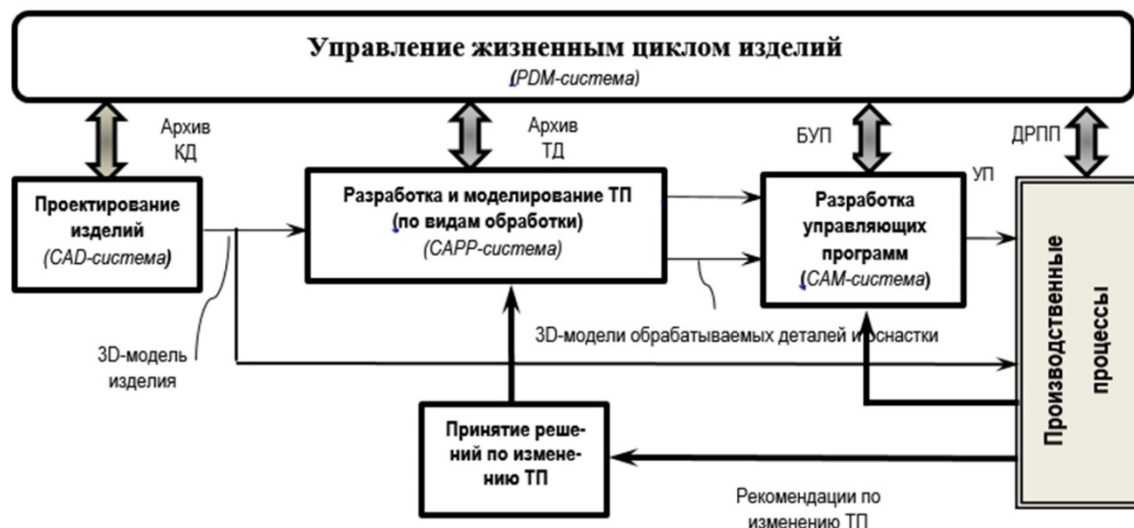


Рис. 1. Модель автоматизированного управления процессами в машиностроительном производстве

Принятие решений по изменению технологических параметров процесса должно осуществляться с учетом информации о ходе процесса и результатах процесса (параметры изделия). Получение такой информации можно производить за счет обратных связей, реализующих коррекцию управляющих программ (УП) и параметров технологического процесса.

Как показывает практика производственной деятельности, брак при изготовлении изделий во многом определяется следующими факторами:

- недоработка конструкторской документации;
- недоработка технологической документации;
- нарушение технологического процесса;
- организационные недостатки;
- неисправности оборудования;
- несоответствие параметров применяемых материалов;
- неисправная оснастка или инструмент;
- недоработка конструкции приспособления;
- сбой управляющей программы для станка с ЧПУ.

При этом чаще всего отклонения производственного процесса связаны с нарушением технологического процесса исполнителями. Модель автоматизированного управления (см. рис. 1) позволяет решать проблемы, связанные с применением многоагентных автоматизированных человеко-машинных систем, их взаимодействием в процессе проектирования и управления технологическими и производственными процессами.

Для сведения отклонений процессов к минимуму управление производственным процессом включает три ключевых стадии получения и обработки информации о функционировании рабочих центров.

На первой стадии управления производится обработка и выполнение управляющих программ в соответствии с данными технологического процесса.

Вторая стадия управления характеризуется контролем параметров производственного процесса и параметров изделий. В этом случае управление направлено на формирование обратной связи, определяющей корректирующие действия по выявлению потенциальных проблем, которые могут быть связаны с неопределенностью, изменчивостью и противоречивостью ситуаций.

С целью снижения рисков и их причин в работе производственных процессов принимаются решения по изменению технологического процесса за счет обратной связи по корректирующим действиям. На основании произведенных изменений может меняться структура и содержание технологического процесса. Основанием для принятия решения являются фактические данные параметров, полученных от производственного процесса.

В связи с этим необходим поиск наиболее эффективного пути решения задачи автоматизированной разработки и корректировки ТП.

## 2. Предлагаемый подход

Для решения задачи поставленной задачи наиболее целесообразным является метод синтеза проектных решений. Процесс формирования технологического процесса представляет собой совокупность процедур структурного и параметрического синтеза. Структурный синтез реализуется на уровнях формирования операций и переходов, а параметрический – на уровне выбора базы, определения межпереходных размеров, расчета режимов обработки и т. д. [2].

Для формирования технологического процесса РТК предлагается метод структурного синтеза технологических операций на основе последовательных цепочек знаний переходов, формируемых, в свою очередь, на основе навыков и опыта технологов и операторов, участвующих в различных ТП изготовления изделий и представленных в виде элементов знаний.

Синтез исполнительных переходов по обработке и сборке изделия – это последовательность методов обработки, необходимых для достижения требуемых атрибутов, определенных чертежом изделия. Такими атрибутами являются:

- геометрический тип поверхности;
- точность размера;
- шероховатость;
- вид термообработки и т. д.

Формирование последовательности операций выполняется путем выявления признаков технологической совместимости и предшествования. Две операции попарно совместимы, если состояние детали на выходе одной операции может быть исходной для другой.

Синтез структуры операций необходим для создания цепочки исполняемых переходов (рис. 2), последовательность которых определяет целостность операции, выполняемой на выбранном оборудовании.

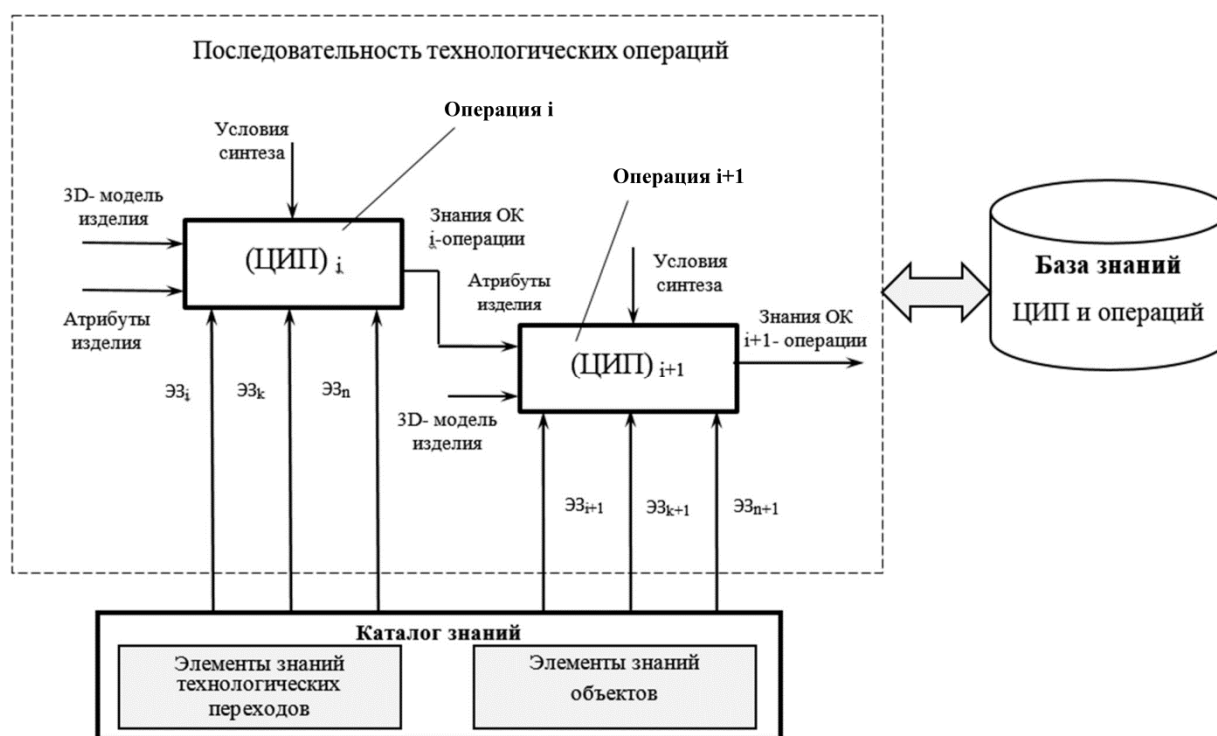


Рис. 2. Синтез технологического процесса с применением элементов знаний

Метод структурного синтеза предусматривает формирование различных цепочек исполняемых переходов (ЦИП) технологической операции на основе элементов знаний и в соответствии с условиями технологического процесса.

Для технологической операции, не говоря уже о технологическом процессе в целом, характерна многовариантность, которая предполагает выбор наилучшего решения, удовлетворяющего требованиям текущей производственной ситуации. В итоге необходима гибкость технологиче-

## Автоматизированные системы управления...

ской подготовки, достигаемая методом синтеза технологических операций в виде цепочки исполняемых переходов, которые предлагается представлять в виде элементов знаний (ЭЗ).

Для решения данной задачи предложен новый метод представления знаний на основе XML-схем. Предложено разбивать знания на элементы с дальнейшим гибким формированием цепочек знаний.

Элементы знаний создаются как для технологических объектов и деталей, так и для технологических переходов (см. рис. 2). Последние определяют отношение между объектами.

Вновь созданные цепочки исполняемых переходов (ЦИП) помещаются в базу знаний для длительного хранения. В дальнейшем их можно использовать при разработке и моделировании технологических процессов. В настоящее время широко используется моделирование таких процессов, как литье, штамповка, механообработка, сварка и термообработка.

Например, моделирование ТП механообработки вполне возможно осуществлять в САМ системе, позволяющей производить анимацию съема металла различным режущим инструментом и показывать возможные столкновения инструмента с объектами станка и приспособления [3]. Технолог может моделировать процесс обработки детали на любом станке, предварительно созданном на основе его кинематической схемы и твердотельной модели. Данные возможных ЦИП можно брать из базы знаний (см. рис. 2) для создания различных вариантов моделируемой обработки. Обмен данными между САМ системой и базой знаний можно осуществлять с помощью технологии XML [4].

Моделирование сборочных процессов, выполняемых роботизированными комплексами можно производить с помощью САД системы. Данные сборочных переходов также можно брать из базы знаний для реализации различных вариантов сопряжений деталей сборочного процесса.

Элементы знаний технологических объектов определяются основными характеристиками технологического оборудования, инструмента, оснастки (приспособления, штампы, пресс-формы, литейные формы).

Элементы знаний технологических переходов определяют технологические действия, связанные с обработкой элементарных поверхностей детали или с выполнением вспомогательных переходов. Примером рабочих переходов в механообработке могут быть:

- подрезание торца;
- точение поверхности;
- обработка канавки;
- сверление отверстия;
- фрезерование поверхности.

Рабочие переходы имеют такие свойства (атрибуты), как номер перехода, скорость главного движения, величина подачи, время перехода, вид обрабатываемой поверхности. При описании перехода необходимо указывать обрабатываемые поверхности, материал детали и способ выполнения перехода.

Вспомогательные переходы определяют установку и снятие детали, выверку и закрепление детали, переустановку детали.

### 3. Метод представления знаний

Описание ЭЗ предлагается производить на языке XSD, так как XML-схемы содержат метаданные и с их помощью можно создавать базу знаний [5]. Ниже приведен пример XML-схемы ЭЗ перехода «точить поверхность» со всеми необходимыми элементами и их атрибутами. Главный элемент «точить\_поверхности» включает атрибуты, определяющие его свойства и атрибуты входящих объектов: обрабатываемая деталь, металлорежущий станок, инструмент. Для всех атрибутов определены также типы данных.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<!--Created with Liquid XML Studio Developer Edition 9.0.11.3078 (http://www.liquid-technologies.com)-->
<xs:schema elementFormDefault="qualified" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
  <xs:element name="Точить_поверхности">
    <xs:complexType>
      <xs:all>
        <xs:element name="Металлорежущий_станок">
```

```
<xs:complexType>
  <xs:attribute name="Модель_станка" type="xs:string" />
  <xs:attribute name="Группа_станков" type="xs:string" />
</xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="Деталь">
  <xs:complexType>
    <xs:attribute name="Шифр_детали" type="xs:string" />
    <xs:attribute name="Наименование" type="xs:string" />
    <xs:attribute name="Марка_материала" type="xs:string" />
    <xs:attribute name="Выдерживаемые_размеры" type="xs:decimal" />
    <xs:attribute name="Термическая_обработка" type="xs:string" />
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="Инструмент_токарный">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="Державка_токарная">
        <xs:complexType>
          <xs:attribute name="Код_державки" type="xs:string" />
        </xs:complexType>
      </xs:element>
      <xs:element name="Пластина_с_задними_углами">
        <xs:complexType>
          <xs:attribute name="Код_пластины" type="xs:string" />
          <xs:attribute name="Марка_сплава" type="xs:string" />
        </xs:complexType>
      </xs:element>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
</xs:all>
<xs:attribute name="Вид_поверхности" type="xs:string" />
<xs:attribute name="Обороты_шпинделя" type="xs:integer" />
<xs:attribute name="Подача" type="xs:decimal" />
<xs:attribute name="Глубина_резания" type="xs:decimal" />
</xs:complexType>
</xs:element>
</xs:schema>
```

В дальнейшем XSD-файлы преобразуются в Java-классы для формирования операций, которые осуществляются с помощью языка Clojure. Количество Java-классов зависит от того, сколько элементов и атрибутов задали при создании XSD-файлов.

Разработка операционной технологии в соответствии с требованиями текущей производственной ситуации выполняется поэтапно.

1. Синтез очередного варианта операции.

2. Анализ варианта.

3. Принятие решения о замене ранее выбранного варианта на новый вариант или о прекращении синтеза новых вариантов.

Формирование  $i$ -операции (см. рис. 2) с помощью цепочки исполнительных переходов (ЦИП) <sub>$i$</sub> , составленной из элементов знаний ЭЗ <sub>$i$</sub> , ЭЗ <sub>$k$</sub> , ЭЗ <sub>$n$</sub> , ЭЗ <sub>$m$</sub> , производится на основе данных 3D-модели изделия и ее атрибутов. Вариант формирования очередной операции определяется соответствующим условием текущей производственной ситуации. Условие синтеза переходов на основе элементов знаний указывается сверху блока операции и является управляющим воздействием синтеза очередной операции. На выходе блока операции формируются знания для  $i$ -операции. В системе Clojure выбор ЦИП по заданным условиям осуществляется с помощью формы `let`, а с помощью формы `case` формируются знания об объектах и переходах.

Условие синтеза исполнительных переходов осуществляется не только за счет влияния атрибутов чертежа изделия и визуализации 3D-модели, но и таких атрибутов, как:

- максимальная величина припуска, определяющая тип перехода (черновой, получистовой или чистовой);
- марка обрабатываемого материала;
- марка материала инструмента;
- класс точности станка;
- необходимое применение количества одновременно управляемых координат движения инструмента.

Количество возможных вариантов ЦИП для конкретной операции может быть достаточно велико. На предприятии оно ограничивается возможностями существующего оборудования и применяемого инструмента. Это сокращает количество альтернативных ЦИП, но проблема синтеза конкретной ЦИП для обработки поверхностей детали остается. В результате необходимо хранить ЭЗ в виде откомпилированных Java-классов, цепочки исполняемых переходов и операций. Для этих целей предлагается использовать сетевую СУБД, поддерживающую сетевую организацию данных. Преимущества сетевой СУБД (обработка больших объемов информации и поддержка аналитической обработки данных) позволяет организовать базу знаний ЦИП и операций.

### Заключение

Интеллектуальное управление производственным процессом создает условия для оперативного изменения технологических параметров за счет обработки и анализа знаний переходов и операций. Для поиска наилучшего решения в построении технологического процесса, удовлетворяющего требованиям текущей производственной ситуации, предложен метод структурного синтеза технологических операций на основе последовательных цепочек знаний переходов.

Предложен также новый метод представления знаний на основе XML-схем, основанный на представлении знаний в виде элементов технологических объектов и переходов. Создание базы знаний позволяет сохранять варианты цепочек исполняемых переходов и операций, в том числе и после моделирования ТП, и повысить эффективность разработанного ТП с учетом выбора наилучших вариантов цепочек исполняемых переходов.

Для организации информационных потоков между различными программными средствами целесообразно использовать технологию XML. Обмен информацией через XML-документы между программными средствами организуется с помощью SOAP-сообщений.

Предлагаемый подход к структурному синтезу ТП позволяет значительно сократить время на подготовку, генерацию и корректировку управляющих программ для оборудования с числовым программным управлением.

### Литература

1. Лютов, А.Г. Модель комплексного автоматизированного управления процессами в машиностроении / А.Г. Лютов, Ю.В. Рябов // СТИН. – 2016. – № 5. – С. 2–7.
2. САПР в технологии машиностроения / В.Г. Митрофанов, О.Н. Калачев, А.Г. Схиртладзе и др. – Ярославль: Ярослав. гос. техн. ун-т, 1995. – 298 с.
3. Лютов, А.Г. Повышение эффективности автоматизированного управления технологическими процессами производства авиационной техники на основе интеллектуальных технологий / А.Г. Лютов, Ю.В. Рябов, С.А. Полезин // Вестник УГАТУ. – 2015. – Т. 19, № 3 (69). – С. 1–4.
4. Метод обмена информацией между программными системами автоматизации технологических и производственных процессов / С.Ю. Рябов, А.Г. Лютов, Ю.В. Рябов, А.В. Вавилова // Программные продукты и системы. – 2016. – № 4. – С. 113–117. DOI: 10.15827/0236-235x.116.113-117
5. W3C XML Schema Definition Language (XSD) 1.1 Part 1: Structures W3C Recommendation 5 April 2012. – <http://www.w3.org/TR/xmlschema11-1/>

**Лютов Алексей Германович**, д-р техн. наук, профессор кафедры автоматизации технологических процессов, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; lutov1@mail.ru.

**Рябов Юрий Васильевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; ryabov\_yuri\_atp@mail.ru.

**Шайдуллин Ринат Ильгизович**, программист кафедры автоматизации технологических процессов, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; sh-rinat1996@yandex.ru.

**Шамбазов Ильнар Ильгизович**, программист кафедры автоматизации технологических процессов, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; Shambazov.ilnar@mail.ru.

Поступила в редакцию 18 апреля 2017 г.

DOI: 10.14529/ctcr170312

## INTELLECTUAL CONTROL OF PROCESSES OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF MACHINE-BUILDING PRODUCTION

**A.G. Lutov**, lutov1@mail.ru,  
**Yu.V. Ryabov**, ryabov\_yuri\_atp@mail.ru,  
**R.I. Shaydullin**, sh-rinat1996@yandex.ru,  
**I.I. Shambasov**, sh-rinat1996@yandex.ru  
Ufa State Aviation Technical University, Ufa

The model of automated management of processes in machine-building production based on the process approach and use of the mechanism of feedback is considered. It is offered new approach to synthesis of technological operations on the basis of consecutive chains of knowledge of transitions. Flexibility of process of technological preparation is reached by the choice of the best decision meeting requirements of the current production situation. The new method of representation of knowledge on the basis of XML-schemes, based on creation of elements of knowledge for technological objects and transitions is offered. Elements of knowledge include the attributes defining them properties and data types.

*Keywords: feedback, structural synthesis, technological process, elements of knowledge, chains of the executed transitions, XML-scheme.*

### References

1. Lyutov A.G., Ryabov Yu.V. [Model of Complex Automated Process Control Engineering]. *STIN*, 2016, no. 5, pp. 2–7. (in Russ.)
2. *SAPR v tekhnologii mashinostroeniya* [CAD in Engineering Technology]. Yaroslavl State Techn. Univ. Publ., 1995. 298 p.
3. Lyutov A.G., Ryabov Yu.V., Polezin S.A. [Increase of Efficiency of Automated Control of Technological Processes of Aircraft Production on the Basis of Intelligent Technologies]. *Bulletin of Ufa State Aviation Techn. Univ.*, 2015, vol. 19, no. 3 (69), pp. 1–4. (in Russ.)
4. Ryabov S.Yu., Lyutov A.G., Ryabov Yu.V., Vavilova A.V. [Method of Information Exchange

## Автоматизированные системы управления...

---

between Software Systems of Automation of Technological and Production Processes]. Software Products and Systems, 2016, no. 4, pp. 113–117. (in Russ.) DOI: 10.15827/0236-235x.116.113-117

5. W3C XML Schema Definition Language (XSD) 1.1 Part 1: Structures W3C Recommendation 5 April 2012. Available at: <http://www.w3.org/TR/xmlschema11-1/>

*Received 18 April 2017*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Интеллектуальное управление процессами технологической подготовки машиностроительного производства / А.Г. Лютов, Ю.В. Рябов, Р.И. Шайдуллин, И.И. Шамбазов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 117–124. DOI: 10.14529/ctcr170312

### FOR CITATION

Lutov A.G., Ryabov Yu.V., Shaydullin R.I., Shambasov I.I. Intellectual Control of Processes of Technological Preparation of Machine-Building Production. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2017, vol. 17, no. 3, pp. 117–124. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr170312

---