

УДК 621.9

А. Н. Михайлов<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., А. Т. Цыркин<sup>2</sup>, канд. техн. наук,  
А. М. Петров<sup>1</sup>, В. В. Головягинская<sup>2</sup>, М. Г. Петров<sup>1</sup>, аспирант

<sup>1</sup>Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина

<sup>2</sup>Луганский филиал кафедры технологии машиностроения ДонНТУ,  
г. Луганск, Украина

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

## ДИСКУРСИВНОЕ РАЗВИТИЕ СТРАТЕГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО МЕТОДА РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

*Изложены результаты работ, направленные на развитие стратегии функционально-ориентированного метода разработки технологических процессов. Развитие стратегии функционально-ориентированного метода разработки новых технологических процессов в машиностроении предлагается реализовать за счет итеративного подхода к построению алгоритма обработки информации в процессе технологического проектирования. Предлагаемая итеративная модель стратегии функционально-ориентированного метода ориентирована на разработку принципиально новых технологических процессов, требующих: глубокую проработку известной информации и получение дополнительной информационной базы; компьютерного моделирования процессов; построения математических моделей; проведения новых и повторных исследований; высококвалифицированных кадров и творческого подхода к решению задач.*

**Ключевые слова:** функционально-ориентированный метод, итеративная стратегия, креативный подход, алгоритм обработки информации, дискурсивное мышление, эксплуатационные функции.

A. N. Mikhaylov, A. T. Tsyarkin, A. M. Petrov, V. V. Holoviatynska, M. G. Petrov

## STRATEGY DISCURSIVE DEVELOPMENT OF FUNCTION-ORIENTED METHOD OF PROCESSING PROCEDURE IN MECHANICAL ENGINEERING

*There are considered results of the works which are aimed on development of function-oriented method of processing procedure in engineering design. Strategy development of function-oriented method of new engineering designs processing could be realized by using iterative approach in algorithm modeling of information processing during the process engineering. Suggested iterative sample of function-oriented method strategy is oriented to develop fundamentally new processing procedure which requires: careful distinguished information study and additional informational base receiving; procedures computer modeling; mathematical model building; conducting of new and repeated researches; highly qualified specialists and creative approach to problem solving.*

**Key words:** function-oriented method, iterative strategy, creative approach, information processing algorithm, discursive thinking, operating functions.

### 1. Введение

Развитие техники предопределяет необходимость изготовления продукции, обладающей качественно новой совокупностью свойств и мерой полезности. При изготовлении таких видов продукции целесообразен синтез технологий на основе новейших достижений науки и техники с применением научно обоснованных методов поиска новых технических идей и решений [1, ..., 3]. Поэтому развитие методологических подходов к процессам разработки технологических процессов имеет практическое значение.

Классический алгоритм технологического проектирования основан на объектно-ориентированной методологии неитерационного нисходящего структурно-параметрического синтеза. В этом случае используется проблемно-ориентированный

поиск структурного прототипа по конструкторско-технологическим признакам с последующей коррекцией его параметров в соответствии с исходными данными на проектирование [4, ..., 6]. Несмотря на очевидные достоинства такой методики проектирования: простота и адекватность формализации исходной информации, присутствие теоретической базы для принятия рационально технологического решения, алгоритмическая простота технологического проектирования, наличие значительного количества программных продуктов, реализующих принцип прототипирования технологических решений, она имеет ряд существенных недостатков. Наиболее значимым ее недостатком является то, что она не нацеливает разработчика на поиск концептуально новых технологических решений, основанных на новейших достижениях науки и техники.

Особый интерес при разработке технологических процессов в машиностроении представляет функционально-ориентированный метод (ФОМ), направленный на создание технологических процессов, ориентированных на повышение качества индивидуальных зон изделия, функционально обеспечивающих соответствующие эксплуатационные показатели всего изделия [7].

ФОМ – один из методов проектирования, инициирующих креативный подход к разработке, использованию, усовершенствованию и созданию прогрессивных технологий и повышению качества изделий. Он ориентирован на решение сложных технических задач и создание прогрессивных технологий нового поколения. Особенность ФОМ разработки технологических процессов в машиностроении заключается в том, что по своей структуре он может быть эффективно использован при создании технологий нового поколения, обеспечивающих получение деталей с высокими эксплуатационными и специальными нетрадиционными свойствами.

## **2. Общая стратегия функционально-ориентированного метода разработки технологических процессов**

Общая методология разработки технологического процесса является основой ФОМ при синтезе технологий изготовления изделий машиностроения. В отличие от традиционного метода, при котором решения принимаются на основе компромиссов, ФОМ позволяет выявлять противоречия, анализ которых приводит к синтезу решения, лишённого выявленных недостатков [7]. Общая методология ФОМ содержит алгоритм обработки информации о реализации множества различных по качеству и свойствам технологических воздействий, общая структура и параметры каждого из которых находится в соответствии с функциональными особенностями эксплуатации отдельных элементов модуля изделия. Алгоритм обработки информации в ФОМ может базироваться на замкнутой рекуррентной структуре, а также на итерационном или итеративном подходах к решению поставленной задачи [7, ..., 12]. Выполнение работ, как правило, ведется параллельно с непрерывным анализом полученных результатов и корректировкой предыдущих этапов работы [7, ..., 10]. Проект при этом подходе в каждой фазе развития проходит повторяющийся цикл. Это позволяет при разработке технологии производить возврат процесса проектирования на предыдущие этапы и корректировать разработанную ранее структуру технологического процесса, обходить отдельные этапы проектирования, как в прямом, так и в обратном, направлении. Такой подход дает возможность выполнять синтез функционально-ориентированных технологий с учетом последовательных процессов и многократных повторяющихся возвратных процессов, выполняемых за счет обратных связей.

Алгоритмы обработки информации ФОМ применительно к технологическому проектированию ориентированы на поиск решений по локализации последствий эксплуатационных воздействий посредством выявления, анализа и учета влияния структуры и состава действующих эксплуатационных функций в соответствующих нано-, микро-, макроразмерах и участках изделия, функционально идентичных их эксплуатационному назначению. При этом их вид, тип, вариант, количество, качество и последовательность технологического воздействия целенаправленно определяются, а также функционально и количественно ориентируются при их реализации в отдельные зоны изделия в зависимости от заданных функциональных особенностей их эксплуатации. То есть, одной из основных особенностей реализации технологических воздействий является то, что они должны выполняться на местном уровне.

Проектирование обычных технологических процессов – единичных, типовых, групповых, модульных, основывается на двух этапах: на первом – осуществляется анализ и деление изделия на исполнительные поверхности, классификация изделий или их поверхностей; на втором – составление маршрута и технологического процесса изготовления изделия на базе выполненной классификации. Причем эти два этапа выполняются последовательно без учета обратных связей.

Проектирование функционально-ориентированных технологических процессов состоит из трех этапов проектирования. На первом этапе выполняется анализ функциональных особенностей эксплуатации изделий, выявляется структура и состав действующих эксплуатационных функций, определяется характер действия каждой эксплуатационной функции. На втором этапе, в соответствии с действующими эксплуатационными функциями, производится деление изделия на функциональные элементы по уровням глубины технологии и их классификация. На третьем этапе производится ориентация технологических воздействий на функциональные элементы в зависимости от особенностей эксплуатации изделия на базе особых принципов ориентации технологических воздействий и свойств изделия, составляется маршрут и технологический процесс изготовления изделия на базе группы особых принципов ориентации. Деление изделия на функциональные элементы производится по следующим иерархическим уровням: уровень всего изделия, уровень функциональных частей, уровень функциональных элементов, уровень функциональных зон, уровень макроразмеров, уровень микрозон, уровень нанозон. Заданные свойства изделия реализуются за счет местного обеспечения свойств изделия на различных уровнях. После деления изделия на функциональные элементы осуществляется генерирование множества возможных вариантов технологического процесса, из которого выбирается требуемое подмножество операций и разрабатывается структура технологических воздействий или операций технологического процесса, что осуществляется на базе группы особых принципов ориентации технологических воздействий [7].

Стратегия ФОМ может быть применена как на уровне анализа и выбора технологической реализации изготовления всей детали, так и на уровне ее функциональных частей, функциональных элементов и функциональных зон. В соответствующих случаях решения по отдельным операциям технологического процесса принимаются на основе детерминированных связей, а функционально-ориентированные операции технологического процесса – на основе вероятностных отношений. Характерной особенностью применения ФОМ при решении технологических задач является то, что такой подход по своей сути направлен не столько на использование известных способов изготовления изделий, сколько на разработку принципиально новых технико-технологических решений. ФОМ разработки

технологий нового поколения основывается на базе использования системы принципов, заключающихся в максимальном анализе известных, новых, качественно новых, принципиально новых принципов, принципов на уровне пионерских и других решений, а также принципов на уровне открытий. Комплексное решение создания нового технологического процесса может осуществляться на основе итерационного подхода к анализу перечисленных принципов, каждое из которых представляется множеством, приведенным на рис. 1 [7].

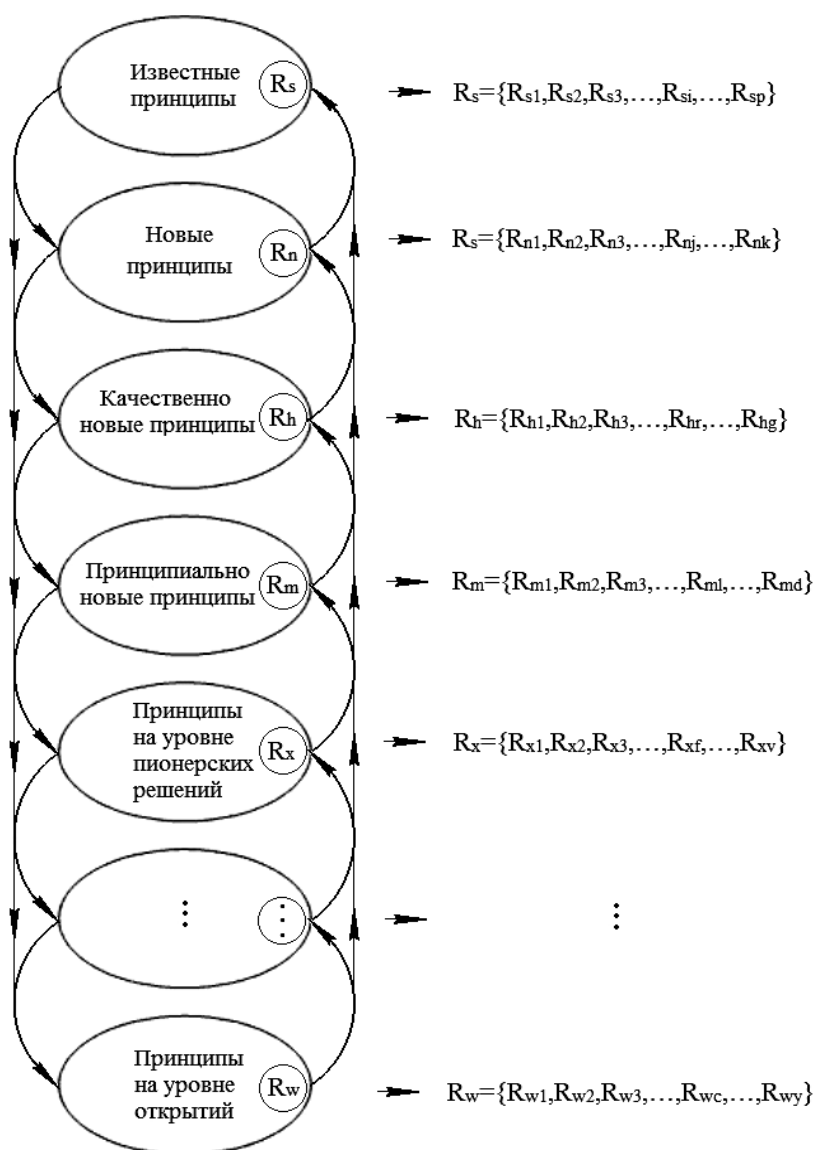


Рис. 1. Итерационная схема синтеза системы принципов и методов создания технологий нового поколения

При итерационной схеме синтеза принципов и методов создания технологий нового поколения любой новый принцип создания технологий нового поколения  $R_{nj}$ , представленный с помощью выражения (1) [7], образуется при пересечении некоторого подмножества  $p_i$  известных принципов:

$$R_{nj} = \bigcap_{i=1}^{p_i} R_{si}, \quad (1)$$

где  $R_{nj}$  – поле, образующее новые принципы создания технологий;

$R_{si}$  –  $i$ -е множество известных принципов проектирования технологий;

$p_i$  – мощность подмножества известных принципов.

Вместе с тем, итерационная модель стратегия ФОМ разработки технологических процессов в машиностроении не позволяет полностью раскрыть все возможности стратегии ФОМ, особенно при проектировании принципиально новых технологических процессов, для создания которых требуется глубокая проработка массива информации, проведение научно-исследовательских работ и креативный подход к решению проблемы.

### **3. Цель работы**

Разработка принципиально новых технологических процессов с использованием ФОМ процесс более сложный и трудоемкий, чем разработка стандартных технологических процессов. Для дальнейшего усовершенствования ФОМ необходимо структурировать и расширить стратегию ее применения этапами основных и дополнительных исследований, применением специальных методов синтеза и эвристической обработки информации. Эффективное применение метода зависит от характера задачи, степени полноты и достоверности исходной и приобретенной в ходе проведения необходимых исследований информации, от личных качеств разработчика: от его способности умело ориентироваться в информационной среде, от степени владения методологией познания, полета фантазии, способности находить нетривиальные оригинальные решения с приемлемой степенью риска.

Цель данной работы – используя дискурсивный метод мышления и логические построения, уточнить и развить стратегию ФОМ для использования при разработке принципиально новых прогрессивных технологических процессов в машиностроении.

### **4. Развитие стратегии функционально-ориентированного метода разработки новых технологических процессов**

Развитие стратегии ФОМ разработки новых технологических процессов в машиностроении предлагается реализовать за счет итеративного подхода к построению алгоритма обработки информации в процессе технологического проектирования. Это обосновано тем, что при реализации стратегии ФОМ разработки новых технологических процессов в машиностроении максимально продуктивно выполнение работ параллельно с непрерывным анализом полученных результатов и корректировкой предыдущих этапов работы, то есть выполняемых на основе итеративных подходов. Деление изделия на функциональные элементы по уровням глубины технологии, выполнение проекта в три этапа, обеспечивает реализацию оптимального соотношения всех средств, способов и видов обеспечения в процессе изготовления изделий с заданными свойствами. Вместе с тем, проектирование принципиально новых технологий требует более глубокой и тщательной проработки всех элементов технологии на всех этапах проектирования. Поэтому, с учетом систематизации и анализа результатов выполненных работ [7, ..., 13], предлагается уточненная итеративная стратегия ФОМ проектирования принципиально новых технологических процессов в машиностроении.

На первом этапе: устанавливается проблема; формулируется задача с указанием условий, ограничений и критериев, определяющих выбор технологического процесса; проводится анализ служебного назначения детали и выявление структуры эксплуатационных функций, действующих на изделие в процессе его эксплуатации; осуществляется генерация известной и приобретенной в результате выполненных исследований информация; выполняется обработка и систематизация полученной информации; производится выбор способа решения проблемы и составляется иерархическая структура технологического процесса.

На втором этапе: производится деление изделия на множество функциональных элементов по уровням глубины технологии и их классификация; составляется структура функциональных элементов изделия, соответствующая действию эксплуатационных функций и особенностям формирования их свойств; рассматриваются варианты решения проблемы отдельно по каждому уровню на базе выполненных исследований с учетом известных технических идей и решений в смежных областях техники, в соответствующих областях физики, химии, информатики, анализируются недостатки рассмотренных вариантов.

На третьем этапе: генерируется множество возможных вариантов функционально-ориентированных операций технологического процесса; проводится анализ и синтез каждой операции и оценивается их взаимное влияние на базе итеративного подхода; устанавливаются основные параметры технологического воздействия на каждом выявленном уровне; составляется схема технологического воздействия для каждого функционального элемента на выявленном уровне глубины деления изделия; синтезируется рациональная структура технологического процесса.

Важным фактором, определяющим решение задачи, является выполнение первого этапа. Для разработки технологии изготовления изделия с качественно новыми свойствами необходимо располагать необходимой информацией, начальными и граничными условиями. Информация должна быть репрезентативна, содержать необходимое информационное обеспечение для разработки нового технологического процесса на основе ФОМ. К начальным данным можно отнести: чертеж детали, физико-механические и технологические свойства заготовки, параметры имеющегося технологического обеспечения, особенности преобразования свойств изделия, принципы работы оборудования и другие параметры. Граничные условия могут содержать: конечные свойства изделия, технико-экономические показатели, ограничения по характеристикам применяемого оборудования, себестоимости изготовления изделия и другие параметры. Основными критериями разрабатываемой технологии является обеспечение требуемых свойств изделия и его функциональных элементов. Как правило, при разработке любого технологического процесса часть операций предопределена условиями производства и выбирается на основе детерминированного анализа, что влияет на выбор и разработку отдельных этапов конкретного технологического процесса. Кроме того, при разработке технологического процесса с применением ФОМ определяются технические возможности его реализации в реальных условиях технического обеспечения производства, проводится корректировка и уточнение режимов, рассчитываются технико-экономические показатели принятых решений и оцениваются перспективы внедрения.

Установление и совершенствование отдельных операций при реализации разработки итеративной стратегии разработки новых технологий происходит в результате анализа информационного фонда известных технических решений аналогичных задач, поиска и изучения новых технических идей, решений и физических

принципов. Предлагаемая итеративная модель стратегии ФОМ ориентирована на разработку принципиально новых технологических процессов, требующих: глубокую проработку известной информации и получение дополнительной информационной базы; компьютерного моделирования процессов; построения математических моделей; проведения новых и повторных исследований; высококвалифицированных кадров и творческого подхода к решению задач и создание прогрессивных технологических систем и специальных технологических сред. Отметим, что создание концептуально новых технологий требует проведения дополнительных экспериментальных исследований с применением современных устройств и приборов. Очевидно, что экспериментальные исследования значительно усложняют и удорожают поиск решения. Поэтому рациональным является имитационное моделирование процесса и экспериментальное подтверждение адекватности полученных результатов. Вместе с тем, экспериментальные исследования в ряде случаев, особенно при разработке принципиально новых технологий, является неременным условием получения достоверных результатов. Каждый информационный поток анализируется, сопоставляется с аналогами, вся полученная информация преобразуется с учетом специфики поставленной технологической задачи. Использование итеративного подхода к каждому из этапов разработки технологии способствует выбору оптимальных технологических решений. Укрупненный алгоритм итеративной стратегии ФОМ разработки новых технологических процессов в машиностроении состоит из этапов, выполняемых с применением итеративного анализа, показан на рис. 2.



Рис. 2. Укрупненный алгоритм итеративной стратегии ФОМ разработки новых технологических процессов в машиностроении

Синтез технологического процесса целесообразно реализовывать с разделением предлагаемого алгоритма обработки информации на модули, обобщающие его основные этапы (рис.3).

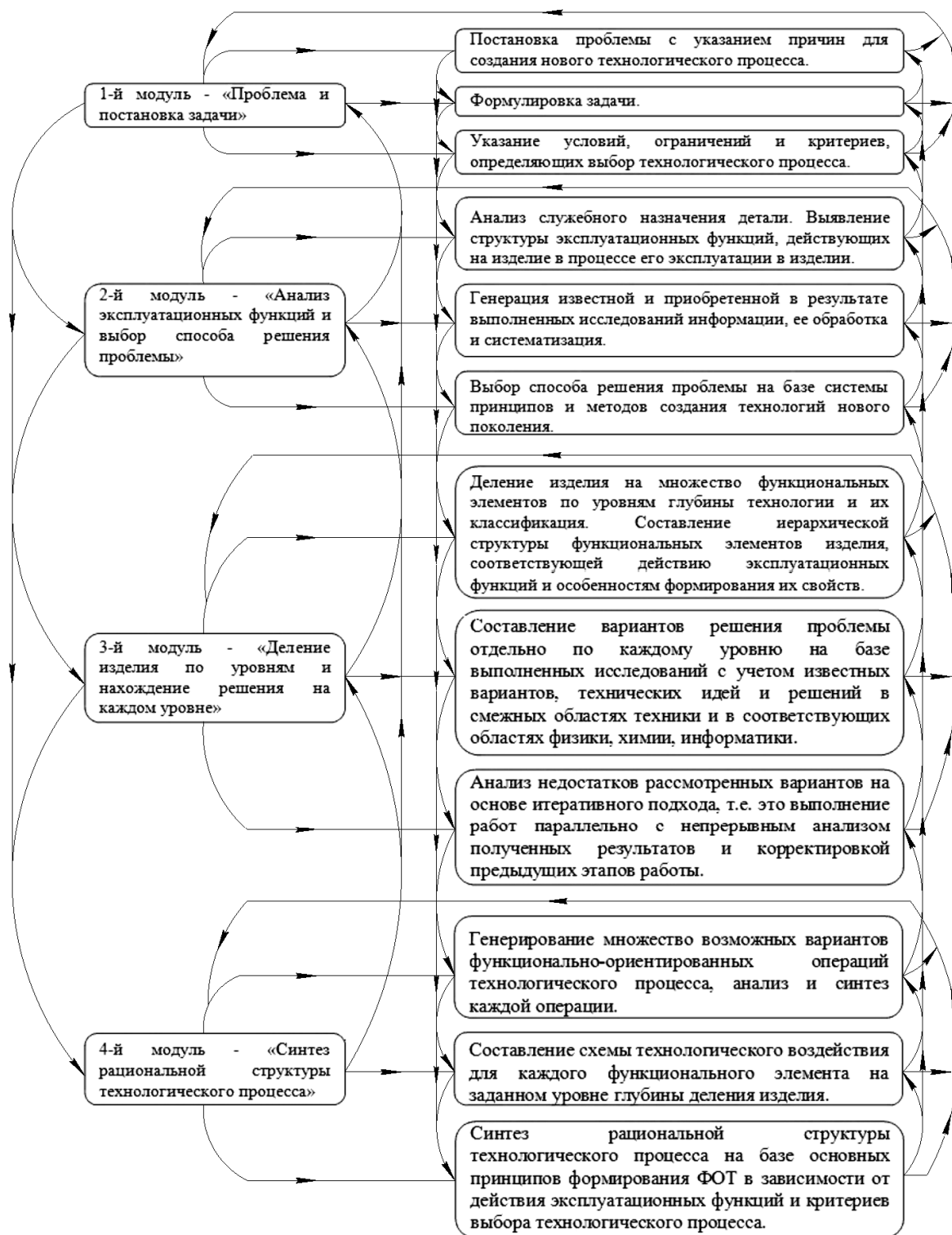


Рис. 3. Итеративная схема синтеза системы принципов и методов проектирования принципиально новых технологических процессов



## **5. Результаты**

Разработаны укрупненный алгоритм итеративной стратегии ФОМ разработки новых технологических процессов в машиностроении и итеративная схема синтеза системы принципов и методов проектирования принципиально новых технологических процессов. Их использование способствует разработке рациональной структуры технологического процесса на базе основных принципов формирования технологических процессов в зависимости от действия эксплуатационных функций и критериев выбора технологического процесса.

Уточнена итеративная модель ФОМ проектирования технологических процессов в машиностроении, направленная на разработку принципиально новых технологических процессов. Данная модель включает глубокую проработку известной информации и получение дополнительной информационной базы; компьютерное моделирование процессов; построение математических моделей; проведение новых и повторных исследований. Выполнение таких работ предполагает использование высококвалифицированных научно-технических кадров и их творческого подхода к решению задач.

Выработанный укрупненный алгоритма обработки информации содержит логические модули, обобщающие основные этапы его исполнения, что позволяет более рационально организовать структурный анализ имеющихся место начальных и образующихся в результате разработке информационных потоков.

## **6. Выводы и перспективы**

Предложенные алгоритмы стратегии ФОМ позволяют повысить результативность ее использования при разработке и проектировании принципиально новых технологических процессов в машиностроении. Предложенное деление на модули алгоритма обработки информации при синтезе технологического процесса позволяет разделить процесс разработки между разработчиками различной степени подготовки, что освобождает руководителя проекта от рутинной подготовительной и экспериментальной работы и обеспечивает возможность более его полного погружения в сущность проблемы, обобщения и анализа материала, продуцирования и генерирования новых идей.

Уточнение и углубление итеративной стратегии ФОМ разработки технологических процессов в машиностроении, расширяет возможности создания технологий нового поколения, используемые для обеспечения получения изделий с более качественными свойствами.

Использование предлагаемой стратегии ФОМ особенно эффективно при наличии технологических проблем, не решаемых традиционными методами.

Применение предложенной методики позволяет: снизить воздействие исполнительских рисков на различных стадиях разработки и минимизировать затраты на их устранение; акцентировать усилия разработчика на наиболее важных и критичных направлениях разработки; оценить успешность всего технологического проекта поэтапно; обеспечить эффективное использование накопленного опыта и знаний разработчиков.

Реализация итеративной стратегии ФОМ разработки технологических процессов в машиностроении – инструмент, позволяющий как решать сложные технические задачи и разрабатывать принципиально новые технологические процессы, основанные на современных достижениях наук, так и содействующий рациональному обеспечению получения изделий с качественно новой совокупностью свойств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шустов М. А. Методические основы инженерно-технического творчества. – Томск: Томск. политех. ун-т, 2010. – 78 с.
2. Марков Ю. Г. Функциональный подход в современном научном познании. – Новосибирск: Наука, 1982. – 255 с.
3. Альтшуллер Г. С. Найти идею: Введение в теорию решения изобретательских задач. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 225 с.
4. Суслов А. Г., Дальский А. М. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2002. – 686 с.
5. Ступницький В. В. Використання САФ-системи як основи формування функціонально-орієнтованих технологій машинобудівного виробництва // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні: Вісник нац. ун-ту «Львівська політехніка». – Львів: НУ ЛП, 2012. – № 746. – С. 40–45.
6. Ступницький В. В. Концептуальные особенности проектирования объектно-ориентированных и функционально-ориентированных технологий машиностроения // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. науч. тр. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – Т. 3. – С. 55–60.
7. Михайлов А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.
8. Михайлов А. Н., Михайлов Д. А., Грубка Р. М., Петров М. Г. Повышение долговечности деталей машин на базе функционально-ориентированных покрытий // Научно-технические технологии в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2015. – № 7 (49). – С. 30–39.
9. Автоматизированное проектирование и моделирование составляющих процессов детонационно-газового нанесения покрытий / А. Н. Михайлов, В. В. Головятинская, А. М. Петров, П. С. Суслов, М. Г. Петров // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні: Вісник нац. ун-ту «Львівська політехніка». – Львів: НУ ЛП, 2012. – № 746. – С. 196–201.
10. Михайлов А. Н. Общие особенности функционально-ориентированных технологий и принципы ориентации их технологических воздействий и свойств изделий // Машиностроение и техносфера XXI века: Сб. науч. тр. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – Т. 3. – С. 38–52.
11. Михайлов А. Н. Обобщенный принцип проектирования композиционных технологий машиностроения // Серия «Механика, машиноведение, машиностроение». – Ереван: Вестник ГИУА, 2012. – Вып. 15. – № 1. – С. 7–16.
12. Михайлов А. Н., Михайлова Е. А., Маджид А. Д. Особенности синтеза структуры функционально-ориентированных технологических процессов комбинированной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов // Высокие технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – Вып. 1(18). – С. 131–150.
13. Михайлов А. Н., Аль-Судани Т. Т., Михайлов Д. А., Долгих А. С. Методы повышения стойкости и/или производительности фрез с переменными скоростями резания по длине режущей кромки зуба // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наук. пр. – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – Вип. 1, 2 (45) – С. 173–180.

Поступила в редколлегию 22.12.2015 г.