

УДК 658.5:001

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИННОВАЦИОННОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ В АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

С. Г. Селиванов<sup>1</sup>, О. А. Гаврилова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>s.g.selivanov@mail.ru, <sup>2</sup>Oks9036@yandex.ru

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 22 апреля 2014 г.

**Аннотация.** Применение методов искусственного интеллекта в технологических задачах позволяет выполнять кластерный анализ номенклатуры изделий, осуществлять многокритериальную оптимизацию проектных технологических процессов, а использование приведенных в статье методов не только сокращает трудоемкость работ в АСТПП по технологической подготовке производства конкурентоспособной продукции, но и позволяет находить рациональные решения при разработке комплектов проектной технологической документации, необходимой для реконструкции и технического перевооружения существующих производств.

**Ключевые слова:** функциональные модели; информационные технологии, вероятностно-рекуррентный метод; инновационные технологии; инжиниринг; многокритериальная оптимизация; нейросетевые методы; вероятностные распределения; перспективные технологические процессы; «мягкие» вычисления.

### ВВЕДЕНИЕ

Согласно государственной программе «Развитие авиационной промышленности» на 2013–2025 годы (далее – Государственная программа) разработана в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 ноября 2010 г. № 1950-р «Об утверждении перечня государственных программ Российской Федерации» и постановлением Правительства Российской Федерации от 2 августа 2010 г. № 588 «Об утверждении Порядка разработки, реализации и оценки эффективности государственных программ Российской Федерации», авиационная промышленность должна играть системообразующую роль в экономике Российской Федерации, благодаря тесной связи с другими обеспечивающими ее отраслями развитие как одной из наиболее наукоемких и инновационных отраслей экономики.

В рамках данной программы под авиационной отраслью понимается совокупность предприятий финальной интеграции, предприятий – производителей авиационных компонентов отрасли, предприятий авиадвигателестроения, а также учреждений сферы науки, технологий и других организаций [1].

Сфера финальной интеграции включает сегменты самолето- и вертолетостроения, а в сферу авиационных компонентов входят следующие сегменты:

- авиационное двигателестроение,
- авионика,
- производство агрегатов и систем.

Кроме того, была принята Федеральная целевая программа «Развитие оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации на период 2011–2020 годы», целью которой явилось обеспечение реализации государственной программы вооружения и выпуска конкурентоспособной на мировом и внутреннем рынках высокотехнологичной продукции на основе развития научно-технического и производственно-технологического потенциала ОПК, формирование нового облика ОПК как многопрофильного конкурентоспособного сектора экономики страны и обеспечение его устойчивого функционирования и развития [1].

Результатом реализации Программы станет достижение следующих целевых значений показателей (индикаторов) к 2025 г. [1]:

- увеличение выручки отрасли авиастроения (включая авиационную и неавиационную) до 1 775 млрд руб. (в 2011 г. – 504 млрд рублей);
- достижение 3,6 % и 11,9 % доли мирового рынка в денежном выражении в гражданском

и военном сегменте авиастроения соответственно (в 2011 г. 1,1 % и 12,5 % соответственно);

- достижение производительности труда промышленных предприятий отрасли авиастроения в размере 14 496 тыс. руб. на человека в год (в 2011 г. 1 542 тыс. руб. на человека в год);

- увеличение рентабельности продаж по чистой прибыли промышленных предприятий отрасли авиастроения до уровня 8,5 % (в 2011 г. 3,7 %);

- увеличение рентабельности активов промышленных предприятий отрасли авиастроения до уровня 7,5 % (в 2011 г. 5,9 %);

В этой связи весьма актуальной научно-технической проблемой инновационного пути развития страны и модернизации ее производственного потенциала является научно-техническое обеспечение эффективного выполнения намеченных мер средствами совершенствования технической подготовки производства: научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, опытно-технологических работ в ходе технологической подготовки производства и НИР в ходе технологического обеспечения проектов реконструкции и технического перевооружения предприятий (модернизации действующего производства) [1].

Анализ показывает, что традиционные методы технической подготовки производства уже не в состоянии быстро и эффективно решать задачи ускорения научно-технического прогресса и обеспечения конкурентоспособности продукции и технологий. В современных условиях на первый план должны выходить новые методы развития инновационной экономики и формирования системы инновационной подготовки машиностроительного производства, ориентированные на обеспечение конкурентоспособности машиностроительной продукции и предприятий.

Целью данной публикации является обоснование новой системы – ЕСИПП (Единой системы инновационной подготовки производства) и создание проблемно-ориентированной АСТПП. Такая система ориентирована на организацию производства конкурентоспособной продукции (продуктовых инноваций) методами НИОКР, разработки и внедрения высоких и критических технологий (технологических инноваций) средствами модернизации (технического перевооружения и реконструкции) и инновационной подготовки производства [2].

Механизмом ускорения научно-технического прогресса и инновационной деятельности является система технической подготовки про-

изводства, которая реализует достижения науки и техники в производственных условиях.

Инновационная экономика страны, как и система технологической подготовки производства, которая является основой, стержнем инновационной деятельности, должны составлять единый комплекс, охватывающий все звенья производства.

Управление этим единым комплексом предприятий и учреждений можно осуществлять с использованием моделирования научно-технологической подготовки промышленного производства: от учреждений государственного уровня управления, например, для производственной системы предприятий оборонно-промышленного комплекса – до систем управления отдельными предприятиями, организациями и их объединениями, и существующими в производственной сфере современными инжиниринговыми компаниями, оказывающими целый комплекс услуг для предприятий оборонно-промышленного комплекса [2].

В связи с вышесказанным, систему управления научно-технологической подготовкой производства можно представить в виде связанной системы управления, представленной в виде схемы на рис. 1 [3].



Рис. 1. Схема системы управления научно-технической подготовкой производства

Также следует отметить, что значительную роль в сегодняшнем производстве, в частности и в процессе технологической подготовки производства, играют инжиниринговые компании.

Инжиниринг (от англ. engineering) – это комплекс инженерно-консультационных услуг коммерческого характера по подготовке и обеспечению непосредственно процесса производства, обслуживанию сооружений, эксплуатации хозяйственных объектов и реализации продукции. Инжиниринг охватывает все этапы инновационного цикла. К основным видам инжиниринга относятся услуги предпроектного (предварительное исследование, технико-экономическое обоснование), проектного (составление проектов, генплановые схемы, рабочие чертежи и т. п.), послепроектного (подготовка контрактных материалов, торгов, инспекция строитель-

ных работ и т. п.) характера, а также рекомендательные услуги по эксплуатации, управлению, реализации выпускаемой продукции.

В производстве все чаще прибегают к услугам инжиниринговых компаний и отдают часть работ на аутсорсинг, поэтому новая система проблемно-ориентированных АСТПП и система управления инновационной подготовкой производства должна быть усовершенствована и выведена на качественно новый уровень, и вместе с тем соответствовать сложившейся ситуации.

Главным требованием в этом случае является повышение показателей технического уровня и качества новых изделий с одновременным снижением затрат на их изготовление. Эта задача может быть решена различными методами в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50995.3.1-96.

### 1. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИННОВАЦИОННОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА

Для обеспечения выполнения требований этого стандарта одним из важнейших методов совершенствования всей системы технологической подготовки производства в условиях постановки на производство техники новых поколений является автоматизация процесса ТПП. Это требование можно реализовать с помощью создания проблемно-ориентированной на инновационное проектирование и техническое перевооружение производства АСТПП.

Переход авиадвигателестроения к инновационному пути развития предъявляет специальные требования к формированию таких АСТПП, с помощью решения задач инновационной подготовки производства.

На рис. 2 представлены функциональные модели новой системы инновационной подготовки производства, реализующейся в рамках проблемно-ориентированной АСТПП.

Основой для системотехнического проектирования процессов инновационной подготовки производства может являться математическая модель функции Ромера [3].

Аналитический вид такой функции представлен формулой (1):

$$Y(H_Y, L, x) = H_Y^\alpha \cdot L^\beta \cdot \sum_{i=1}^{\infty} x_i^{1-\alpha-\beta}, \quad (1)$$

где  $i$  – индекс, приписываемый каждому отдельному виду средств производства;  $x = \left\{ x_i \right\}_{i=1}^{\infty}$  –

средства производства, которые используют

предприятия для выпуска продукции;  $\alpha, \beta$  – технологические параметры значимости анализируемых факторов.

Для ускоренной разработки инновационных проектов основным методом сокращения сроков создания и постановки на производство новых изделий является автоматизация технической подготовкой производства (АСТПП)[4].

На этом основании была построена общая концептуальная модель управления инновационной подготовкой производства (рис. 2). Предложенная функциональная модель, построенная в среде *BPWin* (нотация IDEF0).

Наиболее важными задачами на следующем этапе, раскрывающем данную систему, как видно из рис. 3, являются блоки: «Идентифицировать объекты инжиниринга», в рамках данного блока определяются объекты, которые отдаются на аутсорсинг инжиниринговым компаниям; блок задач «Выполнить НИОКР и ОТР» предусматривает процедуры полномасштабной внезаходской подготовки производства; блок задач «Выполнить ТПП» определяет перечень работ, выполняемых на самом предприятии-изготовителе.

Созданная система позволит сформировать в главных сегментах авиадвигателестроения прибыльные компании мирового уровня, которые предлагают изделия и продукты, конкурентоспособные на мировом рынке. За счет разработанной системы авиационная промышленность обеспечит создание значительного количества высококвалифицированных рабочих мест, а также продолжит вносить вклад в ВВП и станет ведущим звеном в переходе экономики России на уровень инновационного развития.

Компании, работающие в авиационной отрасли (рис. 4), смогут осуществлять успешный выход на мировой рынок, и выступать на всех уровнях как в качестве «интеграторов» производства, так и поставщиков комплектующих, материалов и других ресурсов.

Проблемно-ориентированная АСТПП в рамках инновационной подготовки производства включает в себя подсистему научно-технологической подготовки производства, т.е. совокупность взаимосвязанных процессов инновационной деятельности, которые обеспечивают технологическую готовность предприятия к выпуску в установленных объемах изделий заданного уровня качества в заданные сроки при наименьших затратах.

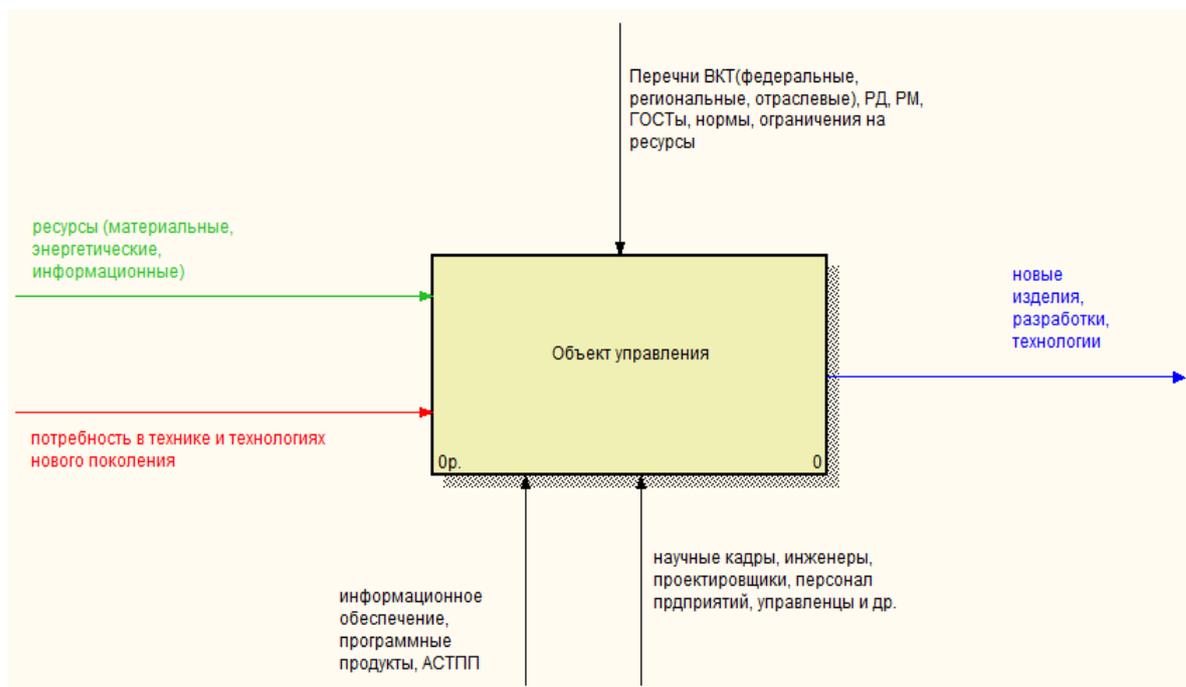


Рис. 2. Общая модель управления подготовкой производства в рамках объектно-ориентированной АСТПП, представленная в виде «черного ящика»

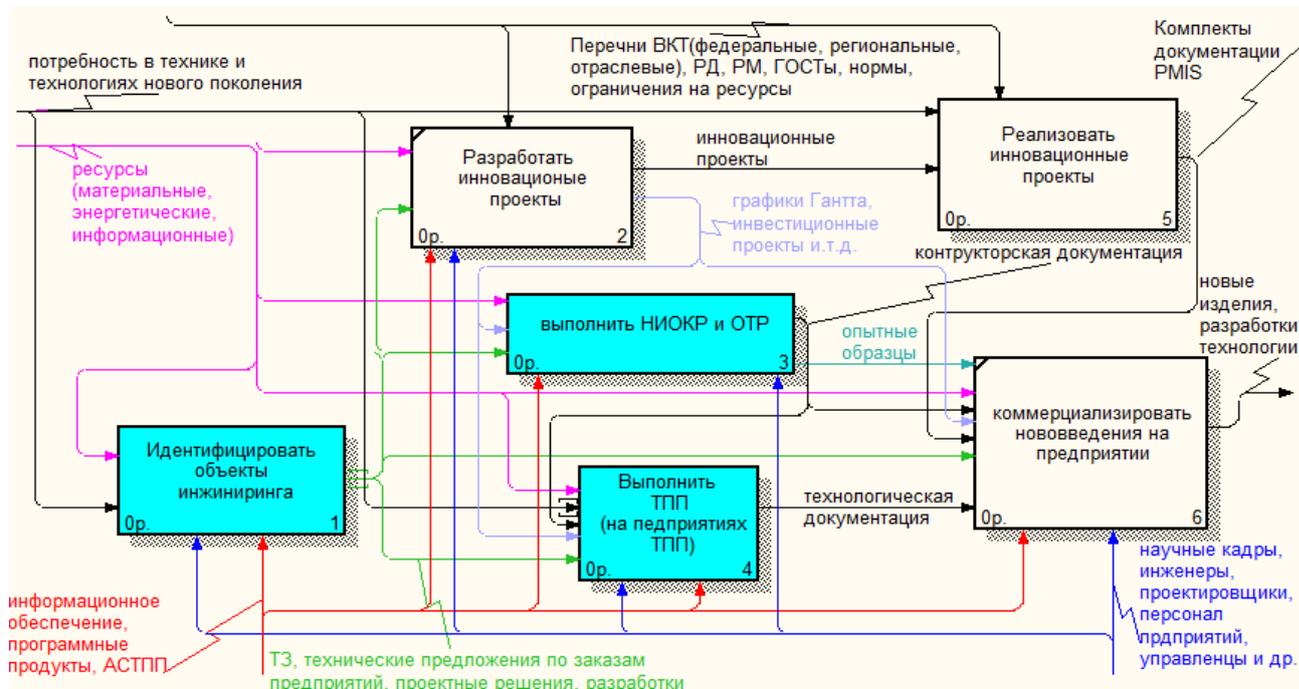


Рис. 3. Блок-схема задач управления инновационной подготовкой производства в рамках объектно-ориентированной АСТПП. Первый уровень декомпозиции

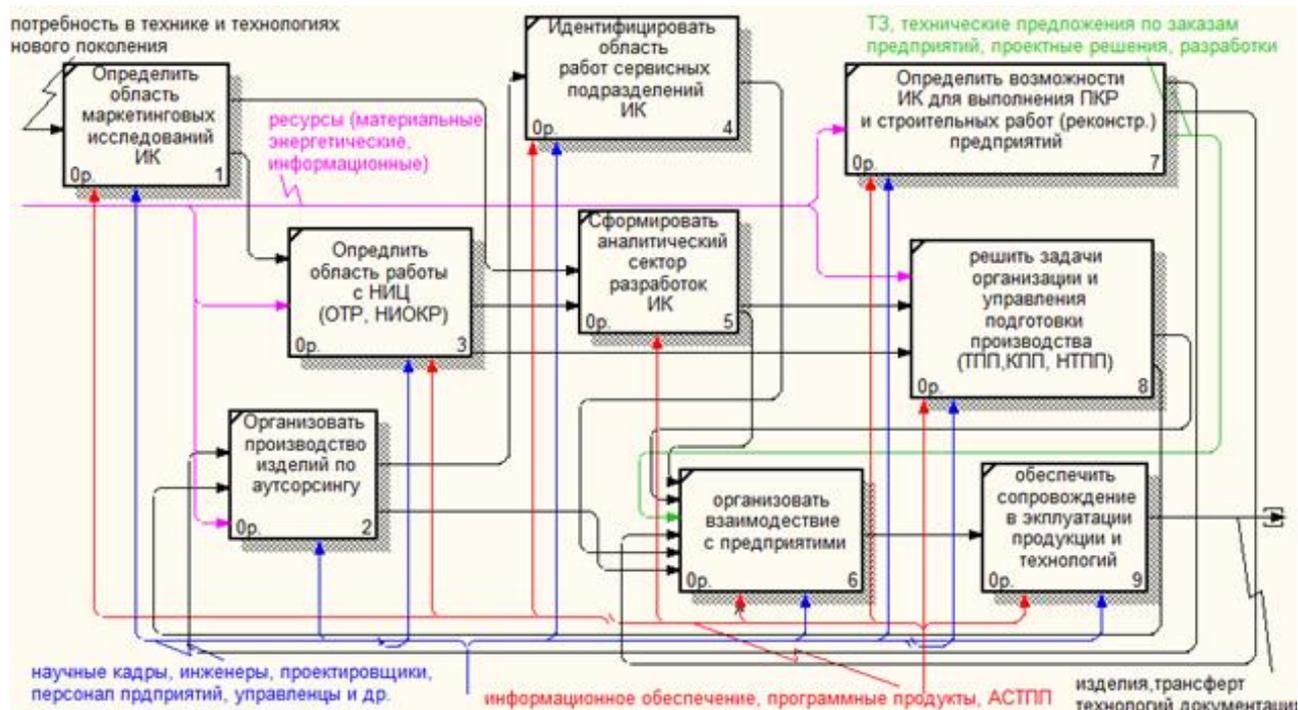


Рис. 4. Функциональная модель работы инжиниринговых компании

Технологическая готовность предполагает наличие на предприятии не только полных комплектов техдокументации, в том числе инновационных проектов, обеспечивающих реализацию продуктовых и технологических инноваций, но также:

- новых средств технологического оснащения, в том числе нового технологического оборудования, средств автоматизации, средств технического контроля, технологической оснастки;
- введенных в действие в ходе реализации проектов технической реконструкции или технического перевооружения производства производственных мощностей;
- разработанных управляющих программ к мехатронному оборудованию и другому оборудованию с ЧПУ и т. д.

Главной движущей силой замены традиционных систем технологической подготовки производства на новые системы инновационной подготовки производства являются требования маркетинга (стратегического, технологического, инновационного).

Выполнение комплексов работ по НТПП может быть также реализовано как инжиниринговыми компаниями, так и научными учреждениями и предприятиями.

Функциональная модель внезаводской подготовки производства показана на рис. 5.

На рис. 6 представлена модель, согласно которой реализуется подготовка производства непосредственно на самом предприятии-изготовителе.

Блок-схемы функций, разработанные для моделирования и оптимизации технологической подготовки производства в АСТПП, обеспечивают проектирование и управление инновационными проектами развития предприятий с использованием новых методов оптимизации проектно-технологических решений. Они показывают реальные возможности разработки и постановки на производство техники новых поколений, увеличения в короткие сроки объемов производства.

Цель всех названных подсистем технологической подготовки производства – обеспечение технологической готовности предприятия к выпуску конкурентоспособных изделий.

Основными функциями оперативной технологической подготовки производства, которые требуют современного научно-методического и программно-методического обеспечения, при этом являются:

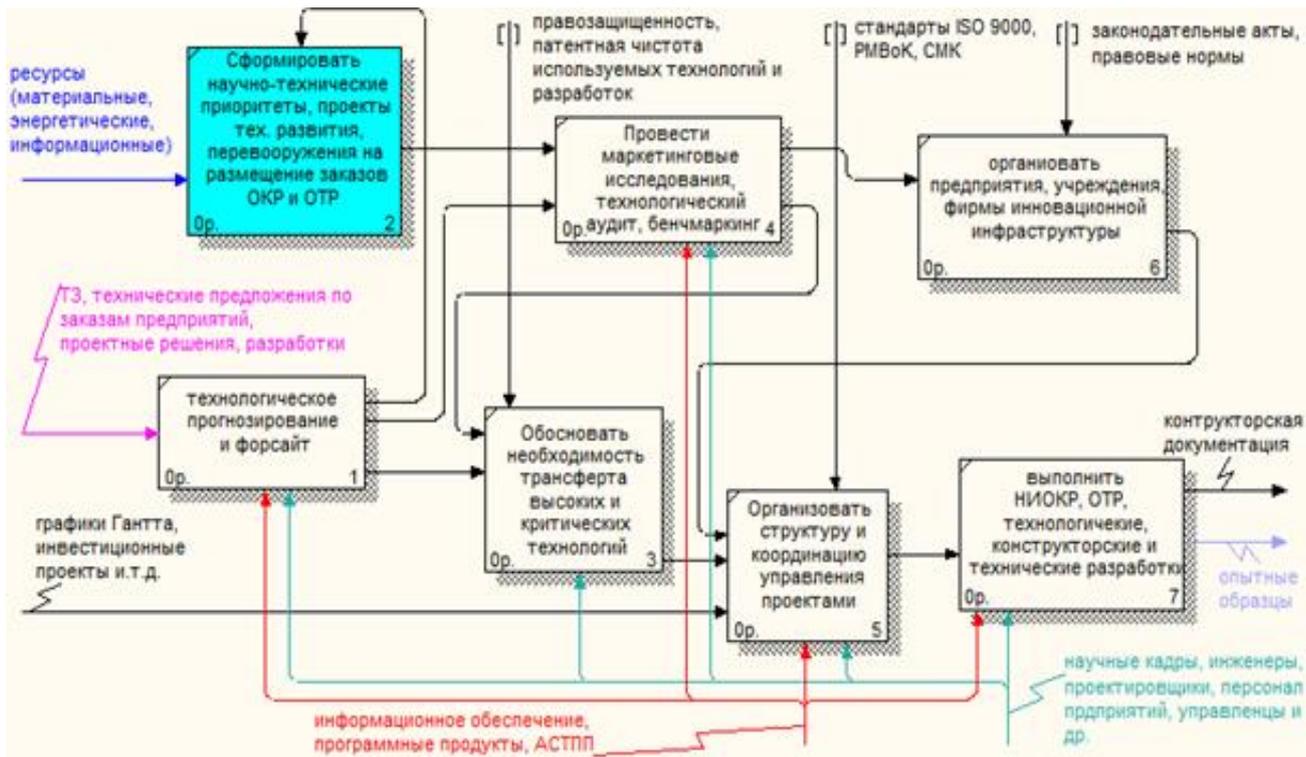


Рис. 5. Функциональная модель внезаводской подготовки производства

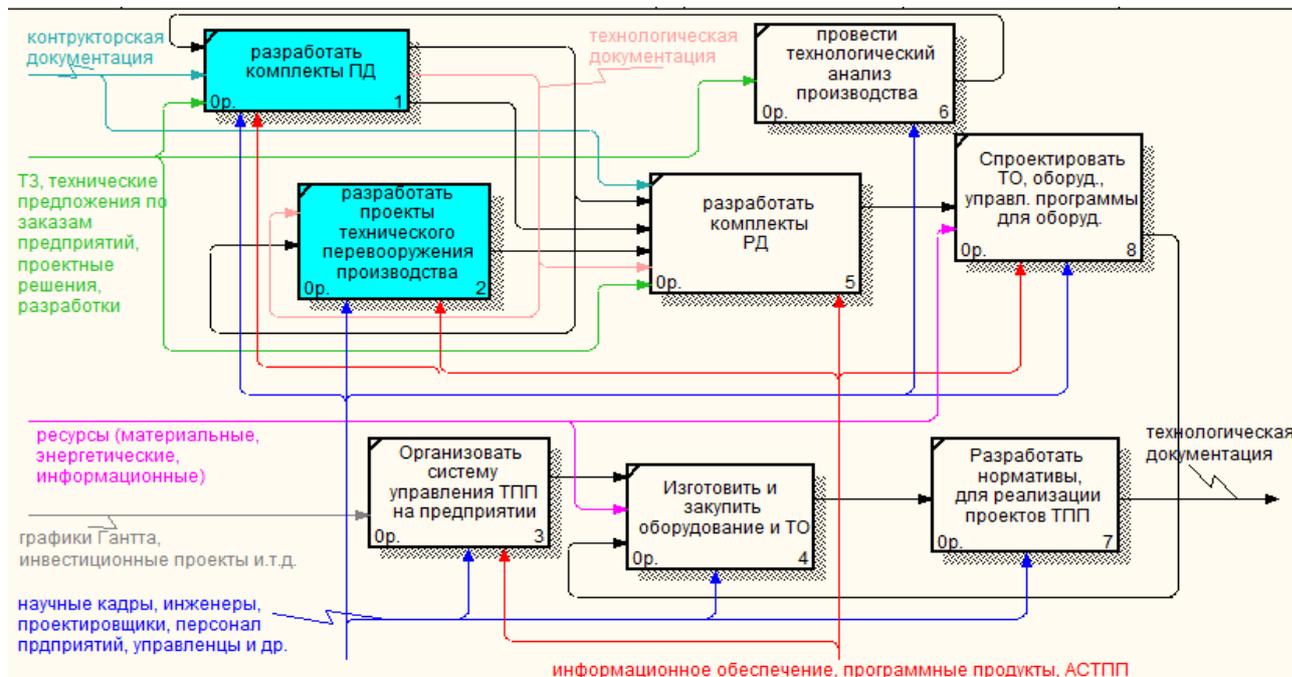


Рис. 6. Функциональная модель заводской подготовки производства

- 1) организация и управление ТПП;
- 2) технологический анализ конструкции изделий;
- 3) технологический анализ производства;
- 4) разработка технологических процессов;
- 5) разработка технологической части проектов технического перевооружения (реконструкции) производства;
- 6) разработка управляющих программ к станкам с ЧПУ;
- 7) разработка технологических нормативов;
- 8) проектирование специальной технологической оснастки;
- 9) проектирование специального оборудования;
- 10) изготовление специальной технологической оснастки;
- 11) изготовление специального технологического оборудования;
- 12) монтаж и отладка технологического комплекса.

Все названные функции связаны потоками документооборота и материальными потоками (новых средств технологического оснащения, опытной и/или установочной партии изделий) как между собой, так и с другими функциями управления предприятием.

При этом инновационные проекты, которые должны стать основой модернизации функций ТПП в условиях внедрения Единой системы инновационной подготовки производства должны в обязательном порядке содержать:

- предложения, объединенные единой целью создания инноваций (продуктовых или технологических);
- техническое обоснование и целесообразность реализации инновационных проектов;
- экономическое обоснование инновационных проектов;
- документы, подтверждающие новизну и правозащищенность инновационных проектов;
- программы реализации инновационных проектов;
- экономическое обоснование, подтверждающее возврат средств в бюджет инвестора, что должно быть в обязательном порядке закреплено в инновационном законодательстве, государственных стандартах и отраслевых методиках инновационной подготовки производства.

Разработанные для моделирования и оптимизации технологической подготовки производства в АСТПП блок-схемы функций обеспечивают проектирование и управление инновационными проектами развития предприятий

с использованием новых методов оптимизации проектно-технологических решений. Они показывают реальные возможности разработки и постановки на производство техники новых поколений, увеличения в короткие сроки объемов производства.

## **2. КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

Для разработки инновационных технологических процессов в авиадвигателестроении возможны различные подходы к решению поставленных задач: использование теории игр и теории статистических решений, применение методов динамического программирования и использование возможностей средств искусственного интеллекта. Последний подход является наиболее актуальным на современном этапе проектирования технологий, поэтому рассмотрим его подробнее в плане дальнейшего системотехнического проектирования перспективных технологических процессов.

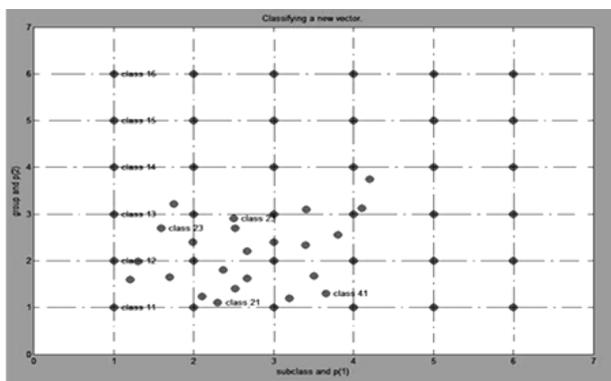
Наиболее прогрессивным методом совершенствования АСТПП в авиадвигателестроении, как показали наши исследования, является использование средств искусственного интеллекта для технологического проектирования [4].

Решение задачи разработки межцеховых технологических маршрутов, разработки маршрутных технологических процессов в составе комплектов проектной, перспективной и директивной технологической документации очень часто сопряжено с решением задачи кластеризации. Решение подобных задач позволяет промышленным предприятиям, в том числе и авиадвигателестроительного комплекса, ускорить процессы принятия решений, сократить время подготовки производства, выбрать наиболее оптимальные варианты (пути) технологических маршрутов, обеспечить максимальную загрузку оборудования, улучшить условия производства и в целом конкурентоспособность продукции.

В данном случае задача кластерного анализа реализована с помощью статистического пакета *SPSS* и вероятностной нейронной сети *PNN*, которые позволяют выявить конкретные кластеры среди большого множества однотипных деталей [5]. Необходимость решения такой задачи вызвана отсутствием отраслевых и заводских классификаторов, отражающих специфику производства деталей авиационной техники; применением специальных марок материалов; наличием специальных требований по применению методов упрочнения рабочих поверхностей

деталей; использованием высоких степеней точности деталей, заданных чертежами, и других специфических требований переменной части технологического кода деталей.

Данная задача была решена на примере деталей с элементами зубчатого зацепления (шестерен). В результате были получены данные о нетиповом массиве зубчатых колес, которые являются предпосылкой создания специализированных участков в цехах для изготовления деталей определенного вида. Для таких нетиповых деталей должны быть разработаны свои проектные технологические процессы, выполнен полный объем работ по технологической подготовке производства.



**Рис. 7.** Результат кластерного анализа на примере деталей с элементами зубчатого зацепления



Конические шестерни с прямым и круговым зубом      Крупномодульные шестерни и валы-шестерни      Мелкомодульные цилиндрические прямозубые и косозубые шестерни

**Рис. 8.** Примеры деталей-представителей образовавшихся кластеров

### 3. МЕТОДЫ «МЯГКИХ» ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Следующим этапом работ является разработка комплектов проектной технологической документации ресурсосберегающих технологических процессов.

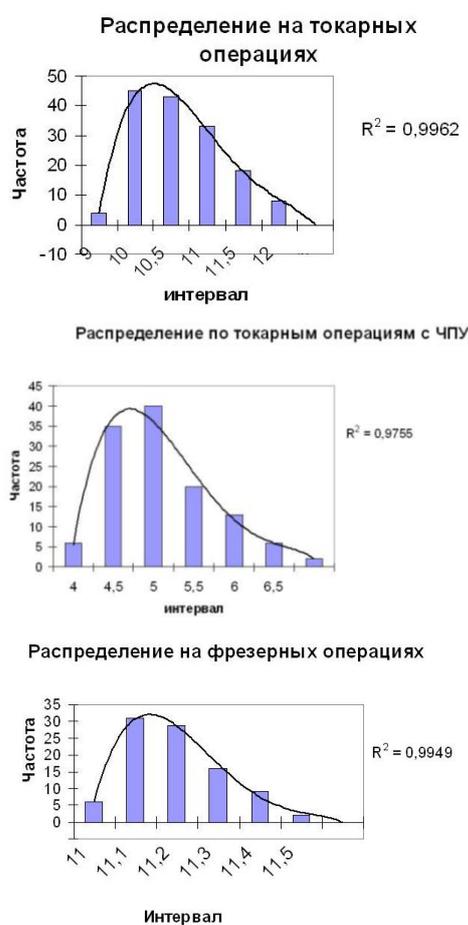
Традиционные вычислительные методы не всегда обеспечивают достаточные возможности для разработки и реализации интеллектуальных программных систем. «Мягкие» вычисления образуют особый раздел методов искусственного интеллекта, дают возможность получать решения с выбранной точностью и допускают неопределенность в обрабатываемых данных. Методы «мягких» вычислений позволяют создавать практические средства построения интеллектуальных систем, что является важным в условиях современного производства. Такие вычисления могут производиться с помощью нейронных сетей, а также генетических алгоритмов и методов нейронечеткой логики, использоваться в комбинации с другими методами [6].

Решение задачи многокритериальной оптимизации проектных технологических процессов с помощью вероятностно-рекуррентного метода заключается в том, чтобы выполнить оценку плотности вероятности критерия по имеющимся данным [6]. В этом случае плотность имеет некоторый вид (например, Пирсона или другое распределение). Такой метод дает достаточно хорошее приближение к истинной плотности вероятности параметра, влияющего на технологический процесс. Для оценки технологического процесса по каждому из выбранных критериев оптимизации в рамках вероятностно-рекуррентного метода оптимизации был проведен анализ технико-экономических показателей технологического процесса на примере изготовления деталей типа «шестерен», в результате которого был получен ряд зависимостей, с помощью которых определить наиболее рациональное решение из множества Парето-оптимальных в соответствии с выбранными параметрами в условиях действующего производства [7].

Важной особенностью вероятностно-рекуррентного метода является то, что он используется наряду с «мягкими» вычислениями, которые дают не одно оптимальное решение, а множество квази-оптимальных решений, которые приближены к глобальному оптимуму. Для иллюстрации сказанного и определения вероятности нахождения оптимального решения с помощью вероятностно-рекуррентного метода, была проведена серия производственных экспериментов.

Для отработки результатов представленного метода, а также обеспечения простоты его реализации был проведен ряд экспериментов с измерением времени выполнения технологических операций (как одного из главных критериев оптимизации) при изготовлении деталей типа

«шестерня». Время измерялось на токарных операциях, производимых на универсальном технологическом оборудовании, на токарных операциях, выполняемых на станках с ЧПУ и на фрезерных станках. В рамках эксперимента было проанализировано около сотни возможных вариантов выполнения конкретных операций технологического процесса и получено множество вариантов решений с соответствующими значениями критерия времени в уравнении целевой функции. По результатам исследования выявилось, что вероятностные распределения значений данного критерия подчиняются закону Пирсона (рис. 9).



**Рис. 9.** Вероятностные распределения Пирсона по времени обработки детали типа «шестерня» на технологических операциях, описываемые в общем виде уравнением  $y = y_0(x-a)^{m_1} x^{-m_2}$ , где  $m_2 > m_1 + 1$ , причем  $0 < m_1 < 1$ , для области определения  $(a; +\infty)$

Исследования показали, что на отдельных операциях технологического процесса законы распределения близки к нормальному, – это относится в первую очередь к операциям технологических процессов массового типа производст-

ва. В более общем случае, когда учитываются факторы, влияющие на условия работы, или, например, для участка цеха они отличаются от нормального и описываются более общими распределениями, в данном случае – Пирсона, как было указано выше [8].

Таким образом, в ходе эксперимента было установлено, что теория малых выборок может быть использована для распределений, близких к нормальному, а также при наличии эксцессов и асимметрий в распределениях. Из этого следует, что для отдельных операций и оценки технологического процесса может быть применена теория малых выборок с использованием критерия Стьюдента [8]. Этот вывод является существенным, в особенности при исследовании технологических процессов в условиях серийного производства, когда объем выборки для анализа характеристик процесса не может быть очень большим.

Для осуществления многокритериальной оптимизации конкретных технологических процессов в машиностроении можно использовать нейросетевые методы, применяя различные модели нейронных сетей, например, рекуррентные сети Элмана или Джордана. Их архитектура позволяет запоминать последовательности выполняемых действий над объектами, накапливать информацию для выбора необходимого варианта решения поставленных задач многокритериальной оптимизации технологических процессов на основе материало-, трудо-, фондо-, энергосбережения.

На основании результатов оптимизации с помощью вероятностно-рекуррентного метода можно обосновать комплекты технологической документации перспективных, директивных, проектных технологических процессов, можно разработать комплексные мероприятия по реализации проектов технического перевооружения производства, а также повысить его эффективность, спроектировать участки цехов с наиболее оптимальной загрузкой оборудования, разрабатывать календарные план-графики инновационных проектов, составлять бизнес-планы проектов, с учетом реальных условий производства, вследствие чего можно повысить их экономическую эффективность.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компаниям и предприятиям, работающим в отрасли авиадвигателестроения, необходимо сосредоточиться на управлении полным жизненным циклом приоритетных проектов, обеспечивая и поддерживая не только разработку и сертификацию, но и запуск в серийное производст-

во, продвижение, стимулирование продаж, послепродажное обслуживание, модернизацию и утилизацию своей продукции.

Такая система правления повысит рыночную привлекательность продукции российских компаний отрасли авиастроения, что увеличит их конкурентоспособность.

Максимальная интеграция отечественной авиационной промышленности в мировой рынок как в области продаж, так и в сфере производственной кооперации, обеспечит достижение необходимых масштабов производства, формирование недостающих компетенций, гибкость и устойчивость к рискам.

Следовательно, масштаб производства будет достигаться за счет ориентации предприятий на создание новой техники и диверсификации технологий на смежные неавиационные отрасли, соответственно, и на смежные рынки.

Мероприятия по разработке проблемно-ориентированной АСТПП в рамках системы инновационной подготовки производства должны соответствовать требованиям ВТО, вследствие чего структура финансирования отрасли со стороны государства изменится.

Разработанный вероятностно-рекуррентный метод для многокритериальной оптимизации технологических процессов, основанный на применении методов искусственного интеллекта, в частности рекуррентных нейронных сетей, а также «мягких» вычислений позволяет осуществить многокритериальную оптимизацию проектных (перспективных) технологических процессов, произвести их комплексную оценку с точки зрения вероятности выбора наиболее рациональных решений в заданных условиях [9]. Применение этого метода дает возможность получения не единственного решения, а множества квази-оптимальных решений, что позволяет применять его в реальных производственных условиях с учетом трудноформализуемых критериев, которые также используют для принятия решений при выборе проектных технологических процессов в инновационном проектировании.

Таким образом, статистика свидетельствует о смещении приоритетов развития в современной инновационной экономике в пользу управления технологическими сдвигами средствами научно-технического прогресса, интенсивного развития всех видов инновационной деятельности, в том числе инновационной подготовки машиностроительного производства как ключевого фактора развития всей инновационной экономики государства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Селиванов С. Г., Гузаиров М. Б., Кутин А. А.** Инноватика: учеб. для вузов. М.: Машиностроение, 2008. 721 с. [S. G. Selivanov, M. B. Guzaïrov, A. A. Cutin, *Innovation. Textbook for high schools*, 2nd ed. Moscow: Mashinostroenie, 2008. ]
2. **Селиванов С. Г., Иванова М. В.** Теоретические основы реконструкции машиностроительного производства. Уфа: Гилем, 2001. 310 с. [S. G. Selivanov, M. V. Ivanova, *Theoretical base of reconstruction of machinebuilding manufacturing*. Ufa: Gilem, 2001. ]
3. **Селиванов С. Г., Никитин В. В., Поезжалова С. Н., Селиванова М. В.** Использование методов искусственного интеллекта в технологической подготовке машиностроительного производства // Вестник УГАТУ. 2010. Т. 14, № 1 (36). С. 87–97. [S. G. Selivanov, V. V. Nikitin, S. N. Poezjalova, M. V. Selivanova, "Application of methods of artificial intelligence in technological preparation production in machine building," *Vestnik UGATU*, vol. 14, no. 1 (36), pp. 87-97, 2010. ]
4. **Поезжалова С. Н., Селиванов С. Г., Бородкина О. А., Кузнецова К. С.** Рекуррентные нейронные сети и методы оптимизации проектных технологических процессов в АСТПП машиностроительного производства // Вестник УГАТУ. 2011. Т. 15, № 5 (45). С. 36–41 [S. N. Poezjalova, S. G. Selivanov, O. A. Borodkina, K. S. Kuznetsova, "Recurrent neural networks and methods of optimization of project technological processes in automated system of technological preparation production," *Vestnik UGATU*, vol. 15, no. 5 (45), pp. 36–41, 2011. ]
5. **Медведев В. С., Потемкин В. Г.** Нейронные сети: Matlab 6. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. 496 с. [V. S. Medvedev, V. G. Potemkin, *Neural networks: Matlab 6*. Moscow: Dialog-MIFI, 2002. ]
6. **Толпин Д. А.** Вероятностные сети для описания знаний // Информационные процессы. 2007. Т. 7, № 1. С. 93–103. [D. A. Tolpin, "Probabilistic networks for describe of knowledge," *Informatsionnye processy*, vol. 7, no.1, pp. 93-103, Moscow: Rusinvest, 2007. ]
7. **Никитин В. В., Селиванов С. Г., Теплов В. С., Тормышев А. А.** Логико-генетический метод оптимизации АСТПП авиадвигателестроения в условиях управления проектами «бережливого» производства. // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16, № 3 (48). С. 63–69. [V. V. Nikitin, S. G. Selivanov, V. S. Teplov, A. A. Tormyishev, "Logico-genetical method for optimization of automated system of technological preparation production in aircraft engine in conditions of project management 'lean' production," *Vestnik UGATU*, vol. 16, no. 3 (48), pp. 63-69, 2012. ]
8. **Анферов М. А., Селиванов С. Г.** Структурная оптимизация технологических процессов в авиадвигателестроении. Уфа: Биллем, 1996. [M. A. Anferov and S. G. Selivanov, *Structural optimization of technological processes in aircraft engine*. Ufa: Bilem, 1996. ]
9. **Zadeh L. A.** Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing // Communications of the ACM. March 1994. Vol. 37, no. 3. P. 77–84. [Lotfi A. Zadeh, "Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing," *Communications of the ACM*, vol. 37, no. 3, pp. 77-84, March 1994. ]

## ОБ АВТОРАХ

**СЕЛИВАНОВ Сергей Григорьевич**, проф. каф. технологии машиностроения. Дипл. инж. по автоматизации и компл. механизации машиностроения (УАИ, 1970). Д-р техн. наук по технол. машиностроения (Мосстанкин, 1991). Иссл. в обл. технол. подготовки и организации пр-ва.

**ГАВРИЛОВА (Бородкина) Оксана Александровна**, асп. каф. технологии машиностроения. М-р техн. и технол. в обл. технол., оборуд. и автоматиз. машиностроительного производства (УГАТУ, 2012).

## METADATA

**Title:** Developing innovative training production reference system and optimization techniques in the aircraft engine

**Authors:** S. G. Selivanov, O. A. Gavrilova.

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** oks9036@yandex.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 18, no. 4 (65), pp. 61-71, 2014.

**Abstract:** Application of artificial intelligence methods in technological tasks allows cluster analysis details. With the help of artificial intelligence can implement multi-criteria optimization of technological processes. New methods for reducing the volume of work on the preparation of competitive products, allows us to find rational solutions for the development of project documentation.

**Key words:** functional models; information technology; probability-recursive method; innovative technology; engineering; multicriteria optimization; neural network techniques; probability distributions; advanced processes; "soft" computing.

**About authors:**

**SELIVANOV, Sergey Grigorievich**, Dr. of Technical Sciences, Professor, the honored worker of science of BR, the author more than 350 publications, including textbooks for higher education institutions (2), monographs (7). Manuals (6), State standards (5), techniques of all-machinebuilding application (12), foreign editions (12).

**GAVRILOVA (Borodkina), Oksana A.**, Post grad. (PhD) of mechanical engineering, Dipl. Master Engineer areas of design and technological preparation of engineering production, research in the application of artificial intelligence in the Automated system of technological preparation of production.