

# Интеллектуальная система автоматизации технологической подготовки производства в инновационном проектировании

С.Г. Селиванов

Институт авиационных технологий  
и материалов  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: S.G.Selivanov@mail.ru

С.Н. Поезжалова

Институт авиационных технологий  
и материалов  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: poezjalova@mail.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

Новые, разработанные для обеспечения инновационной подготовки производства интеллектуальные системы автоматизированной технологической подготовки производства, отличает: системный подход к их созданию на основе функционального моделирования; применение методов структурной оптимизации; использование средств искусственного интеллекта. Новые проблемно-ориентированные интеллектуальные системы предназначены для конструкторско-технологического обеспечения готовности промышленного производства к постановке на производство новой техники (инновационной продукции) на основе широкого использования технологических инноваций вплоть до создания современных цифровых производств.

## 1. Введение

Актуальность решения рассматриваемой проблемы определяется задачами:

- выполнения Указа Президента РФ от 01.12.2016 N 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», где в п. 20а предусмотрен «переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создания систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта», а также

---

Труды Шестой всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 28-31 мая, Уфа-Ставрополь, Россия, 2018

- обеспечения ускоренной инновационной подготовки производства [1, 2] новой техники и ее постановки на производство.

Научная новизна и научно-методический уровень разработок определяется новыми методами интеллектуализации АСТПП (автоматизированной системы технологической подготовки производства) с помощью применения средств искусственного интеллекта для математического моделирования и оптимизации проектно-технологических решений [3, 4, 5].

Практическая полезность публикации связана с разработкой инновационных проектов [6] как в части ускоренной постановки на производство инновационной продукции, так и в части обоснования технологических инноваций, в том числе для решения задач модернизации производства в ходе его технического перевооружения.

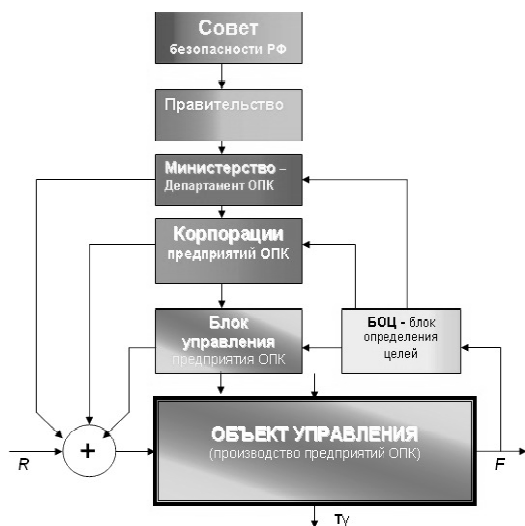
## 2. Системы научно-технологической подготовки производства

Выполнение комплексов работ по научно-технологической подготовке производства (НТПП) включает, в первую очередь, перспективную или внезаводскую НТПП [7]. Они, в плане, например, внезаводской НТПП для предприятий оборонно-промышленного комплекса (рис. 1, 2) обеспечивают:

- технологическое прогнозирование, технологический форсайт и технологический аудит;
- выбор принципиально важных инновационных технологий. Например, для самолетов новых поколений это могут быть концепции *STEALTH TECHNOLOGY* (*stealth* – скрытность) – технология производства военных самолетов, обеспечивающая пониженную радиолокационную, инфракрасную, оптическую и акустическую заметность летательных аппаратов или *STOVL* (*Short Take-Off Vertical Landing*) – в этом случае самолет сможет взлетать

вертикально или с укороченной взлетно-посадочной полосы, а садиться вертикально;

- разработку критических (ключевых, высоких и т.п. инновационных технологий) от уровня предварительных проектов технологической документации и технологических процессов опытного производства до уровня комплектов документации проектных, перспективных, директивных технологических процессов и рабочих технологических процессов серийного и/или массового производства;
- разработку единых технологий новых изделий в рамках требований Гражданского кодекса РФ (часть 4) и решения задач трансферта лучших зарубежных технологий;
- технологическое обеспечение конкурентоспособности нового изделия и отработку конструкции нового изделия на технологичность.

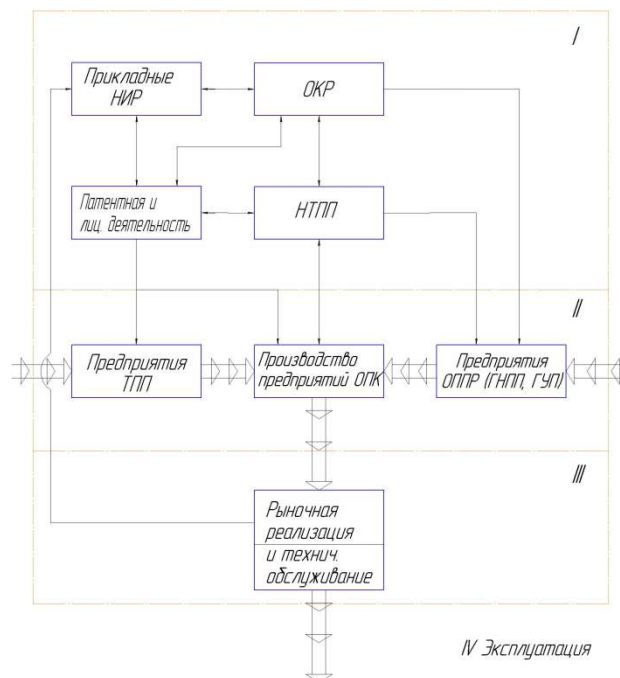


**Рис. 1. Концептуальная модель управления развитием предприятий ОКР**

Так же как и в НИОКР, основой разработки систем НТПП является *SADT*-модель (*Structured Analysis Design Technique*), которая является иерархически организованной совокупностью диаграмм [5]. Диаграммы состоят из блоков, каждый из которых может быть детализирован на другой диаграмме. Каждый блок может рассматриваться как отдельный строго определенный объект, декомпозиция которого может быть осуществлена на различных иерархических уровнях инновационного проекта. Методология *SADT* реализована с помощью средств *IDEF* (*Icam DEFinition*) [5]. Функциональное моделирование процессов НТПП с помощью *IDEF* позволяет:

- определить цели и задачи НТПП на всех иерархических уровнях проектирования (разработок);

- определить функциональную структуру системы НТПП, ее подсистем и информационную структуру, т. е. логические модели и базы данных;
- выполнить моделирование и оптимизацию высоких и критических технологий в НТПП (рис. 2).



**Рис. 2. Блок-схема управления техническим развитием предприятий ОКР:**

- НТПП – научно-технологическая подготовка производства;
- Предприятия ТПП – предприятия технологической подготовки производства (инструментальные; предприятия по производству специального оборудования; заводы изготовления специальных средств технологического оснащения, например, промышленных роботов, элементной базы модульных, агрегатных станков и гибких производственных систем и т. д.);
- ОППР – опытное производство;
- ГНПП – государственные научно-производственные предприятия;
- ГУП – государственные унитарные предприятия;
- ОКР – опытно-конструкторские работы;
- НИР – научно-исследовательские работы.

Системы *IDEF* для функционального моделирования НТПП применяют в связи с тем, что из-за высокой сложности систем технологической подготовки производства в условиях инновационной

деятельности и разработки инновационных проектов (продуктовых и технологических инноваций) ни один руководитель технологической службы уже не в состоянии без АСТПП удерживать все «нити управления» процессом инновационной подготовки производства.

Для системотехнического проектирования НТПП как отраслевого уровня, так и уровня предприятий можно воспользоваться системой *BPWin* для функционального моделирования научно-технологической подготовки производства (функциональное моделирование только функций верхнего иерархического уровня системы НТПП) департаментов и корпораций (рис. 3) с указанием учреждений (организаций) инновационной инфраструктуры, которые выполняют различные проекты.

Для выполнения инновационных проектов могут создаваться или на договорной основе привлекаться различные инновационные организации как типовых организационных форм, так и новые рыночные организации, ориентированные на инновационную деятельность. Перечислим такие учреждения инновационной инфраструктуры с указанием основной целевой ориентации:

#### 1. Проблемно-ориентированные инновационные организации:

- *временные творческие коллективы предприятий (учреждений)* – это работающие по договору творческие бригады, обеспечивающие выполнение той или иной работы инновационного проекта, требующей новаторской деятельности;
- *рисковые (венчурные) подразделения предприятия или венчурные компании* – это автономно управляемые производства с собственным бюджетом рискованного финансирования для создания новых изделий, разработки и трансфера новых технологий;
- *инкубаторы бизнеса* – это организации, создаваемые в целях выращивания новых компаний. Они создаются для сдачи в аренду помещений вновь организуемым предприятиям инновационного предпринимательства, оказания услуг малым рискованным фирмам.

#### 2. Инновационные учреждения при университетах:

- *технопарки* – это объединение научно-исследовательских центров университетов, которые стремятся коммерциализировать результаты собственных научных разработок путем создания малых предприятий;
- *инженерные (инновационно-технологические) центры* при университетах, которые разрабатывают новые технологии;
- *центры нововведений* – эти организации проводят совместные исследования с предприятиями и осуществляют подготовку для

них студентов (специалистов), владеющих новыми технологиями, такие центры наряду с научно-технической помощью могут финансировать создание новых компаний на базе успешно работающих коллективов;

- *университетско-промышленные центры* – это финансируемые исследовательские подразделения, которые проводят фундаментальные научные исследования в тех областях, в которых заинтересованы организации-участницы.

#### 3. Региональные и общегосударственные центры новых технологий:

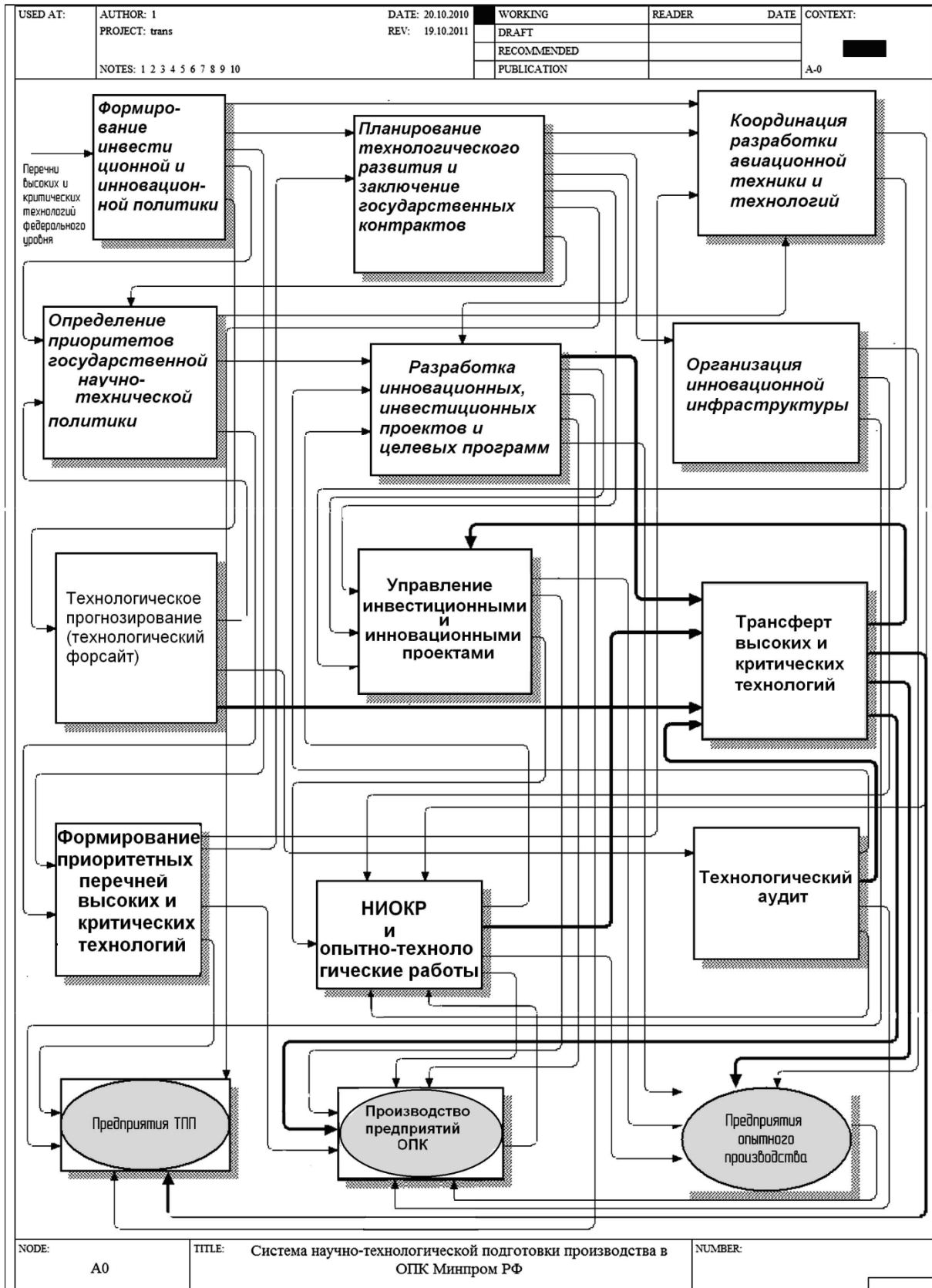
- *центры промышленных технологий* – это организации, содействующие внедрению нововведений в серийное производство; соединение нескольких таких центров может называться «Промышленный двор»;
- *технополисы* – это города по созданию новой техники, в которых работают несколько предприятий самых передовых отраслей промышленности, например, Сколково, Зеленоград, Черноголовка и т.п.

#### 4. Объединения предприятий для инновационного сотрудничества:

- *финансово-промышленные группы* – это объединение предприятий и финансовых учреждений, которые могут создавать в своей связанной многоуровневой системе управления (организационной структуре) и/или производственной структуре научно-исследовательские, опытно-конструкторские и проектно-технологические учреждения для продвижения их разработок на рынок;
- *совместные предприятия* – это объединение предприятий различных стран, действующее с целью трансфера технологий;
- *консорциумы и корпорации* – это добровольные объединения предприятий для осуществления крупных проектов;
- *альянсы (ассоциации)* – это устойчивое объединение нескольких организаций, в том числе университетов, государственных исследовательских центров на основе соглашения о совместном финансировании НИОКР, разработке или модернизации продукции.

### 3. Автоматизированные системы технологической подготовки производства машиностроительных предприятий

На машиностроительных предприятиях технологическую подготовку производства обычно осуществляют по схеме оперативной технологической подготовки производства.



**Рис. 3. Блок-схема функций научно-технологической подготовки производства департамента министерства**

При этом руководствуются:

- стандартами ЕСТД (Единой системой технологической документации);
- стандартами и методиками ЕСТПП (Единой системы технологической подготовки производства) – это 14-й класс ГОСТов и методик, который определяет правила: организации и управления процессом ТПП, обеспечения технологичности конструкции изделия, разработки технологических процессов, разработки средств технологического оснащения, применения средств автоматизации ТПП.
- нормативными документами ОСТПП (отраслевых систем технологической подготовки производства), например, в самолетостроении;
- специализированными системами ТПП (ТПП производственных мощностей, ТПП на станках с ЧПУ и ТПП цифрового производства, ТПП пластмассового производства и т. д.);
- АСТПП (автоматизированными системами технологической подготовки производства), которые реализуются с помощью специализированных CAD/CAM/CAPP/CAE/PDM-систем и других, проблемно-ориентированных на ТПП автоматизированных систем, например, АСНИ – автоматизированной системы научных исследований, РМIS – автоматизированной системы управления проектами, СРПП – систем постановки на производство новой техники.

Цель всех названных подсистем технологической подготовки производства – обеспечение технологической готовности предприятия к выпуску новых конкурентоспособных изделий (инновационной продукции). Основными типовыми функциями оперативной технологической подготовки производства как правило являются:

- организация и управление ТПП;
- технологический анализ конструкции изделий;
- технологический анализ производства;
- разработка технологических процессов;
- разработка проектов технического перевооружения производства;
- разработка управляющих программ к станкам с ЧПУ;
- разработка технологических нормативов;
- проектирование специальной технологической оснастки;
- проектирование специального технологического оборудования;
- изготовление специальной технологической оснастки;

- изготовление специального технологического оборудования;
- монтаж и отладка технологического комплекса.

Все названные функции связаны с:

- информационными потоками документооборота;
- материальными потоками (новых средств технологического оснащения, опытной и/или установочной партии изделий);
- как между собой, так и с другими функциями управления предприятием.

Для обеспечения производственно-технологической и научно-исследовательской деятельности в ходе постановки на производство новых изделий (инновационной продукции) необходимо с учетом использования современных АСТПП:

- моделировать процессы технологической подготовки производства;
- разрабатывать средства автоматизации и управления технологической подготовкой производства;
- использовать современные информационные технологии и технические средства для разработки новых промышленных технологий;
- разрабатывать и внедрять оптимальных технологических процессы изготовления изделий и средства технологического оснащения в процессе технологической подготовки производства;
- обеспечивать эффективное использование материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств автоматизации, алгоритмов и программ АСТПП и САПР-ТП для оптимизации процессов технологической подготовки производства.

В целях выполнения всего этого комплекса условий и задач построения АСТПП вначале необходимо обеспечить системотехническое проектирование процессов (функций, задач, процедур, информационных технологий) технологической подготовки производства новых изделий.

Для разработки АСТПП (автоматизированных систем технологической подготовки производства), организации инновационного проектирования, применения PDM-информационных технологий управления проектами и в ряде других случаев разрабатывают системы документооборота. Для блок-схемы рис. 3 в плане сказанного могут быть дополнительно показаны:

- специальные функциональные модели АСТПП в IDEF0;
- ведомости носителей информации (документооборота);

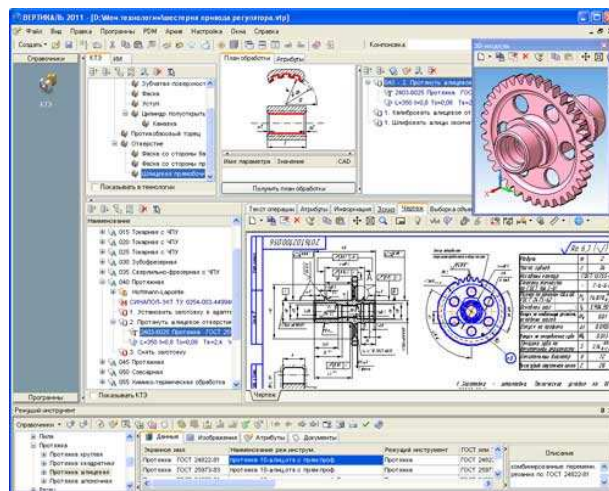
- электронные базы данных и расчеты трудоемкости разработки документации в АСТПП;
- системы автоматизации проектирования, которые применяют для решения инновационных задач в АСТПП.

В интегрированных CAD/CAM/CAE-системах, обеспечивающих создание АСТПП и автоматизацию различных функций технологической подготовки производства, фактически объединены три набора систем разного назначения, разработанные на единой базе. Для организации параллельного проектирования – коллективной работы специалистов различного профиля с моделью (полным электронным описанием) нового изделия (инновационной продукции) и новых, разрабатываемых технологий часто используется среда PDM (Product Data Management – управление данными проекта). В перечне используемых в АСТПП систем наиболее полнокомплексными являются *Unigraphics* и *Cimatron*, которые реализуют следующие наборы функций:

- плоское моделирование и черчение;
- объемное моделирование и создание объемных сборок;
- создание чертежей по 3D-модели;
- генерация технологической документации;
- редактирование изображения;
- средства создания прикладных САПР;
- механообработка по 2D-модели и по 3D-модели;
- фрезерование 2; 2,5; 3; 5 ; многопозиционное;
- электроэрозионную обработку (2-х, 4-х), точение, сверление;
- адаптации систем к станочному парку.

Другие системы решают более локальные наборы задач АСТПП, например, для технологической подготовки производства фирма «Топ Системы» предлагает интегрированный комплекс *T-FLEX CAD — T-FLEX / ТехноПро*, который позволяет организовать безбумажную технологию между конструкторскими и технологическими отделами предприятия. Конструктор создает чертежи изделия в *T-FLEX CAD*, затем в этот чертеж вносится технологическая информация. Сохраненная в *T-FLEX CAD* технологическая информация автоматически передается в систему *T-FLEX / ТехноПро*, с помощью которой технолог проектирует необходимую технологическую документацию на изделие. В системе *T-FLEX ЧПУ* можно проектировать 2D-, 2.5D-, 3D-, 4D- и 5D-обработку и генерировать управляющие программы для СЧПУ (по различным видам обработки). Аналогичным образом в АСТПП также используют *CAD/CAPP/CAM/PDM*- системы

автоматизации для конструкторско-технологического проектирования, организации и управления процессом ТПП, одним из таких примеров может служить система «Вертикаль» (рис. 4).



**Рис. 4. Система автоматизированного проектирования технологических процессов «ВЕРТИКАЛЬ», решающая задачи автоматизации процессов ТПП**

#### 4. Разработка проблемно-ориентированных на инновационное проектирование АСТПП

К новым системам, которые разработаны авторами данной публикации [3, 4, 6] для повышения уровня автоматизации АСТПП на основе применения средств искусственного интеллекта, можно отнести такие разработки как автоматизированные системы научных исследований высоких и критических технологий, автоматизированные системы разработки проектных технологических процессов в АСТПП «бережливого производства» (рис. 5), автоматизированную систему инновационного проектирования цифрового производства (рис. 5). Главным отличительным свойством этих проблемно-ориентированных на инновационную деятельность систем АСТПП является широкое использование средств искусственного интеллекта, в частности:

1. В АСНИ высоких и критических технологий используются искусственные нейронные сети *GRNN*, рекуррентная нейронная сеть Элмана, экспертная система *Fuzzy Logic* [8].
2. В системе ТПП «бережливого производства» (рис. 5) нашли применение генетические алгоритмы.
3. В АСТПП проектирования цифрового производства (рис. 6) использованы каскадные нейронные сети и сеть Кохонена.



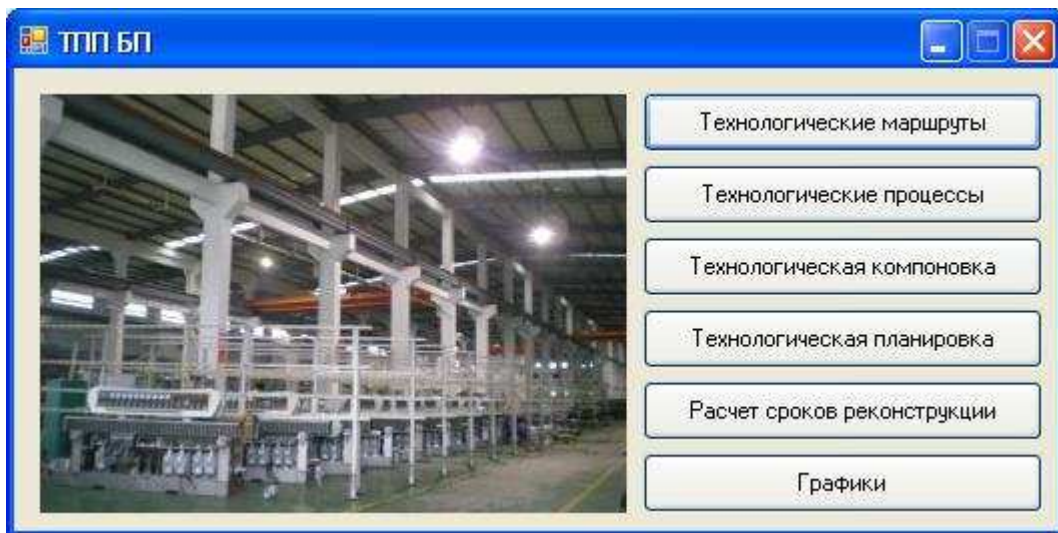


Рис. 5. Интерфейс программы ТПП «бережливого производства»

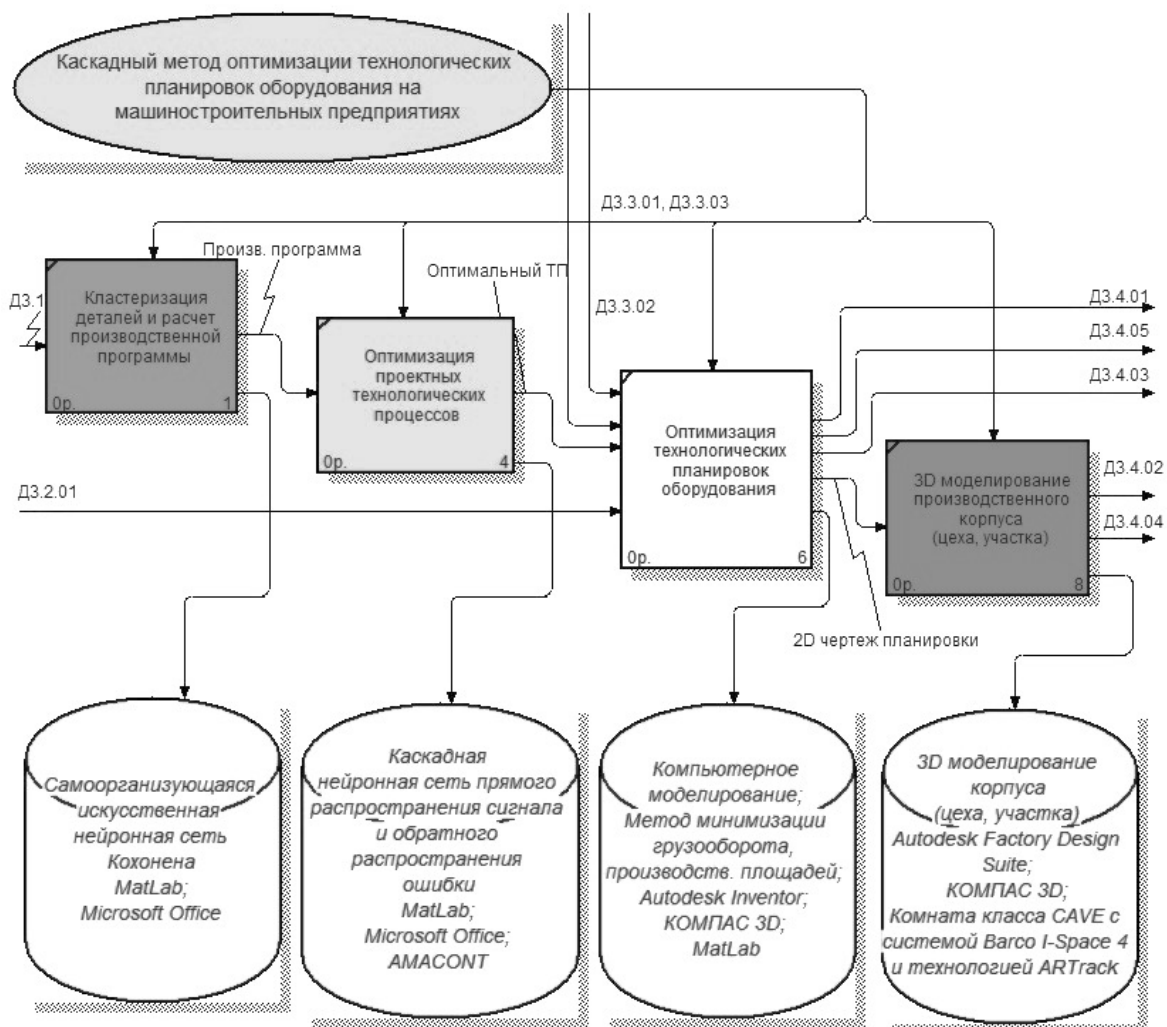


Рис. 6. Функциональная модель инновационного проектирования цифрового производства в АСТПП

## 5. Заключение

Технологическая подготовка производства – это основной инструмент нововведений, т.е. постановки на производство новой, конкурентоспособной продукции средствами разработки новых технологий, создания ориентированных на инновационную деятельность систем ускоренной технологической подготовки производства (ТПП) новой продукции. Автоматизация систем ТПП дала мощный импульс для сокращения сроков разработки научно-технической продукции для машино- и приборостроительного производства «от идеи – до внедрения».

Системы технологической подготовки производства создают на предприятиях в целях обеспечения технологической готовности производства к выпуску конкурентоспособной продукции в условиях ограниченных сроков, при экономном расходовании всех видов ресурсов и повышении технического уровня производства.

Системы технологической подготовки производства (АСТПП) ранее создавались эмпирически, исходя из опыта их разработчиков. В них было много полезных рецептурных предложений по разработке, например, унифицированных типовых и групповых технологических процессов, быстропереналаживаемых средств технологического оснащения, автоматизации тех или иных задач технологической подготовки производства. Все сказанное позволяло сокращать сроки постановки на производство новой техники, но вместе с тем системы технологической подготовки производства, созданные в конце XX в., недостаточно использовали возможности системотехники для математического моделирования и оптимизации проектно-технологических решений и других средств научно-технологической подготовки производства.

Разработанные новые АСТПП отличает:

- системный подход к их созданию на основе функционального моделирования,
- применение методов структурной оптимизации проектно-технологических решений,
- использование средств искусственного интеллекта для конструкторско-технологического обеспечения готовности промышленного производства к постановке на производство новой техники (инновационной продукции),
- широкое использование технологических инноваций вплоть до создания современных цифровых производств.

## Список используемых источников

1. Аверченков А.В. Автоматизация технологической подготовки производства для малых инновационных предприятий в машиностроении: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора техн. наук. – Саратов, 2012. – 49с.
2. Технологическая подготовка производства в САПР / П.Ю. Бунаков, Э.В. Широких. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 208с.
3. Инновационное проектирование цифрового производства в машиностроении / С.Г. Селиванов, А.Ф. Шайхулова, С.Н. Поезжалова, А.И. Яхин. – М.: Инновационное машиностроение, 2016. – 256с.
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 Уфимского государственного авиационного технического университета. 2011. Т. 15 №5 (45). С. 36-46.
5. ГОСТ Р-50.1.028-2001. «Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования» – М, Госстандарт России, 2001 – 50с.
6. Системотехника инновационной подготовки производства в машиностроении / С.Г. Селиванов, М.Б. Гузаиров. – М.: Машиностроение, 2012. – 568 с.
7. Селиванов С. Г., Паньшина О. Ю. Разработка системы научно-технологической подготовки машиностроительного производства в условиях смены технологических укладов // Вестник УГАТУ. 2008. Т.10, №1 (26). С.131–142.
8. Селиванов С.Г., Никитин В.В., Поезжалова С.Н., Селиванова М.В. Использование методов искусственного интеллекта в технологической подготовке производства // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2010. Т.14. №1 (36). С.87-97.