

Тема работы: Каскадный метод управления инновационными проектами технического перевооружения в авиадвигателестроении

Актуальность работы: Для обеспечения развития инновационной экономики Президентом¹ и Правительством² России определены основные мероприятия по созданию и модернизации к 2020 г. 25 млн. высокопроизводительных рабочих мест, увеличению доли продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей, увеличению в 1,5 раза производительности труда к 2018 г. относительно уровня 2011 г.

Стратегия инновационного развития России на период до 2020 г. в дополнение к сказанному определила следующие индикаторы:

- доля предприятий промышленного производства, осуществляющих технологические инновации, вырастет до 40–50%;
- доля инновационной продукции в общем объеме промышленной продукции вырастет до 25–35%;
- внутренние затраты на исследования и разработки достигнут 2,5–3% внутреннего валового продукта.

Предполагается, что инновационное развитие превратится в основной источник экономического роста.

Известно, что управление инновационным развитием осуществляется на основании разработки инновационных проектов и программ создания инновационной продукции и разработки технологических инноваций.

В науке понятие инновационного проекта включает систему мероприятий, обеспечивающих в течение заданного периода времени создание, производство и реализацию нового вида продукции или технологии с целью получения прибыли или иного полезного эффекта.

Инновационные проекты, как правило, должны отвечать следующим требованиям:

- 1) содержать предложения, объединенные единой целью создания инноваций;
- 2) содержать техническое обоснование и целесообразность реализации инновационного проекта;
- 3) содержать документы, подтверждающие новизну и правозащищенность инновационного проекта;

¹ Указ Президента Российской Федерации № 596 от 7 мая 2012 года «О долгосрочной государственной экономической политике».

² Стратегия инновационного развития РФ на период до 2020г. (Распоряжение Правительства РФ от 8 декабря 2011 г. N 2227-р).

- 4) содержать программу реализации инновационного проекта;
- 5) содержать экономическое обоснование инновационного проекта;
- 6) содержать экономическое обоснование, подтверждающее возврат затраченных средств в бюджет инвестора.

В представляемой работе выявлены новые научные закономерности, которые должны быть использованы в инновационной деятельности, в том числе в автоматизированных системах технической подготовки производства (АСТПП), автоматизированных системах научных исследования (АСНИ) высоких и критических технологий и других автоматизированных системах управления инновационными проектами (*PMIS, ERP, CRP*) для обеспечения высокой эффективности результатов инновационного проектирования. На основе выявленных фундаментальных закономерностей разработан метод управления проектами технического перевооружения машиностроительных и приборостроительных производств. Метод успешно апробирован на авиадвигателестроительных предприятиях.

Актуальная проблема, решенная в работе

К основным видам инновационной деятельности относится техническое (технологическое) перевооружение производства. Для разработки и управления такими инновационными проектами в условиях АСТПП необходимо применять современные методы математического моделирования на основе функционального моделирования процессов инновационной деятельности. Главной задачей данной работы явилась разработка названных методов моделирования для условий действующего машиностроительного производства.

Научно-технический уровень. Основой математического моделирования инновационных процессов технического перевооружения предложено использовать системы *IDEF0, IDEF3* и интегральные уравнения Вольтерра.

Практическая полезность. Разрабатываемый метод предназначен для управления проектами технического перевооружения цехов и участков машиностроительных предприятий по всему горизонту бизнес-планирования.

Научный уровень работы:

Из *теории систем* известно, что развитие любой системы происходит волнообразно, так в экономических системах известны циклы Кондратьева, Шумпетера и др. (рис. 1).

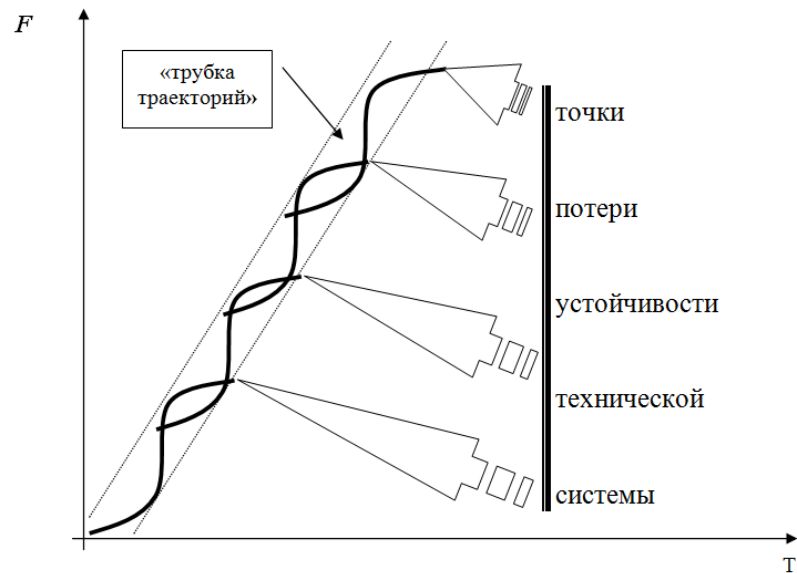


Рис.1 Схема волнообразного развития системы

В процессе инновационного развития технологическая система также переживает соответствующие волны развития. На сегодняшний день известны различные S-образные кривые инновационного развития (рис. 2), в том числе

- для закона смены технологических укладов – это система дифференциальных уравнений в частных производных;
- для закона эволюционного развития инновационной продукции и закона смены поколений технологий – это уравнение Ферми и сигмоидальные уравнения типа $arctg$;
- для исследования научного закона диффузии (распространения) технологий – это логистические уравнения, уравнения Фишера-Прая, Гомпертца, Перла и другие.



Рис. 2 Классификация S-образных кривых освоения технологий

В процессе настоящего исследования изучался процесс развития технологической (производственной) системы с позиции освоения новых технологий и постановки на производство новых изделий. Были выявлены новые S-образные закономерности развития, ранее не изучавшиеся. Эти зависимости были названы кривыми освоения технологий (рис.2). Было выявлено, что в процессе инновационного развития технологическая система переживает большие и малые волны развития (рис. 1) Большие гармоника (большой амплитуды) соответствуют росту производственной мощности в ходе технического перевооружения предприятия, в то время как малые – плановым организационно-техническим мероприятиям. Для долгосрочного управления производственной системой и обеспечения ее устойчивого развития необходимо знать математический вид этих S-образных кривых. В ходе исследования было установлено, что как большие, так и малые волны хорошо описываются решением дифференциального уравнения Ферхюльста (сходимость по критерию $R^2 \approx 0,99$) (рис. 3):

$$S = S(t) = \frac{KP \cdot e^{rt+x}}{K + P \cdot e^{rt+x}} + y ; \quad (1)$$

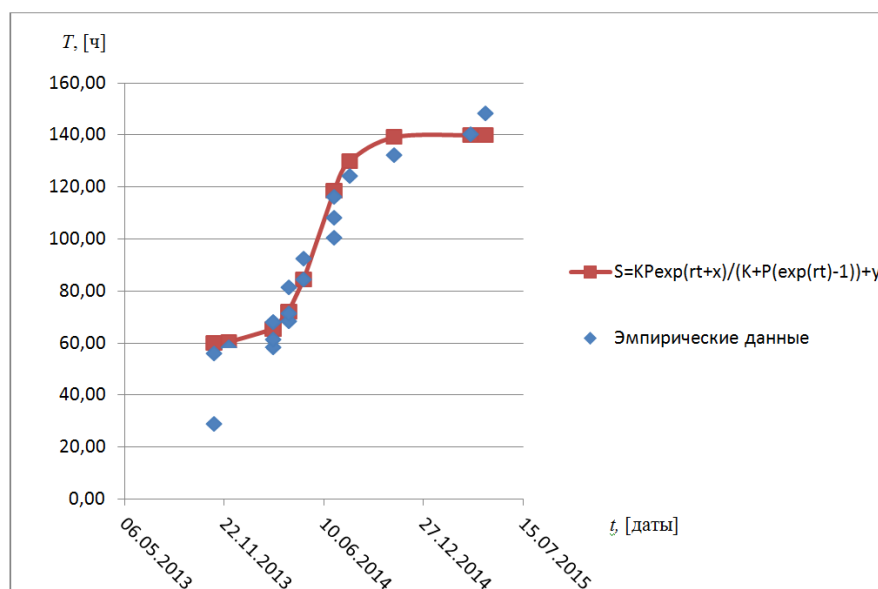


Рис.3. График ввода групп мехатронного станочного оборудования (на базе многоцелевого обрабатывающий центр *Hermle C60*)

Эти волны развития были названы кривыми «освоения технологий». Долгосрочное управление инновационными авиадвигателестроительными и другими машино- и приборостроительными производствами рекомендовано осуществлять с применением таких кривых. Авторами был разработан соответствующий метод управления – каскадный метод управления проектами технического перевооружения производства.

Практическое применение работы

Технологическая подготовка производства – комплекс мероприятий, направленных на обеспечения готовности производства к выпуску новой продукции. Известно, что в состав функций АСТПП (автоматизированной системы технологической подготовки производства), как правило, входят следующие типовые блок-схемы задач (рис. 4). Каскадный метод управления проектами технологического перевооружения, представленный в настоящей работе, разработан в данной публикации в комплексе из 4-х функциональных блоков АСТПП. Они на рис.4. отмечены тонированными блоками.

Новый каскадный метод управления инновационными проектами технического (технологического) перевооружения производства ориентирован на достижение следующих целей:

- сокращения сроков технического перевооружения производства,
- сокращения затраты по проекту,
- обеспечения гибкости производственной системы в ходе реализации *CALS*-технологий управления проектами на основе использования каскада математических, функциональных, нейросетевых, трехмерных методов и моделей объектов для оптимизации и автоматизации процесса управления проектами.

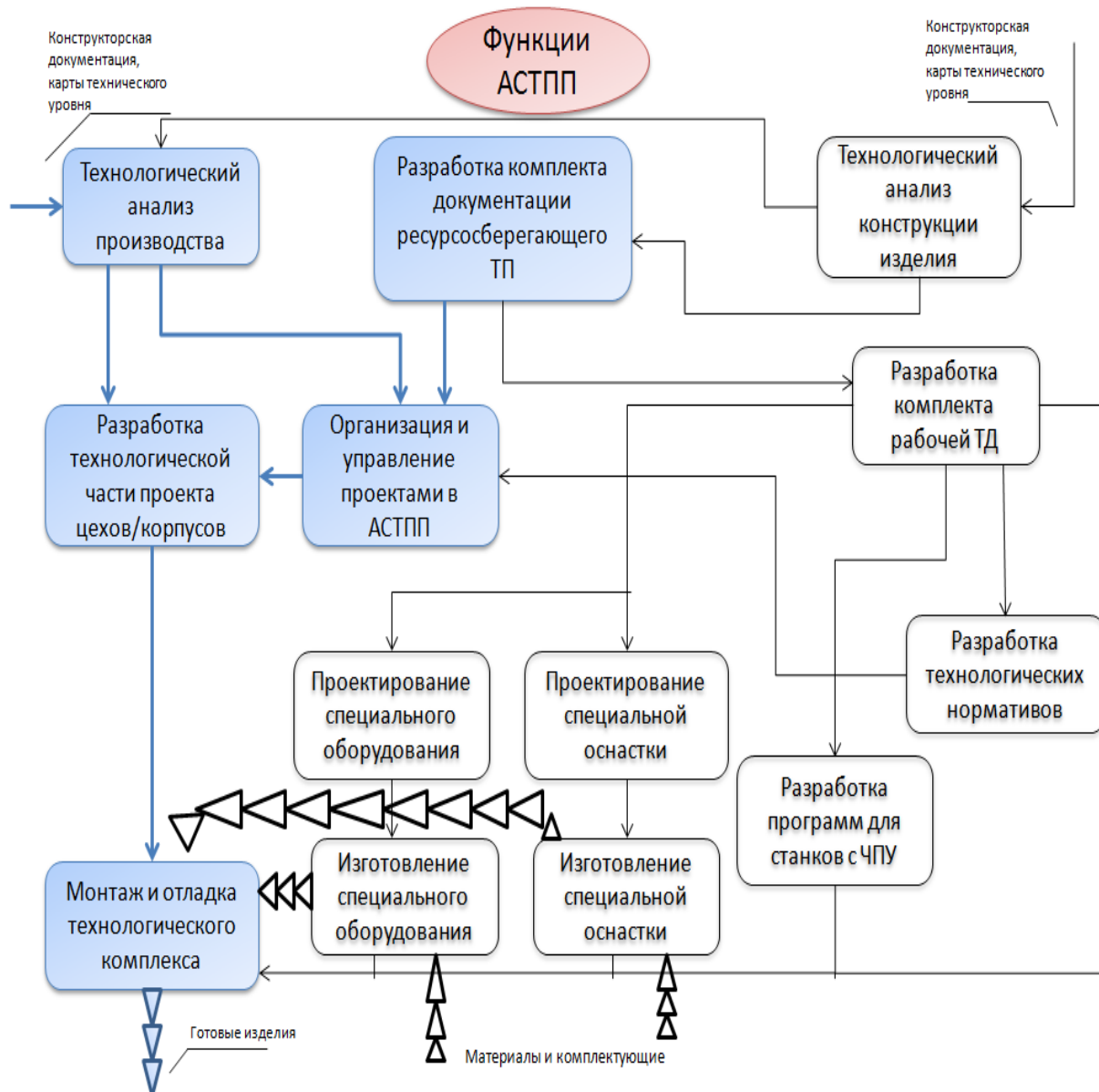


Рис. 4. Исходный граф блок-схемы функций автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП)

Сказанное позволяет осуществлять в АСТПП управление инновационным проектом на протяжении всего жизненного цикла объекта проектирования (участка/ цеха корпуса), в рамках принципов *CALS*-технологий. Названный метод управления проектами реализуется по схеме непрерывной реконструкции производства.

Общая концепция каскадного метода управления инновационными проектами технического (технологического) перевооружения машиностроительного производства показана на рис. 5.

Каскадный метод управления проектами технического перевооружения

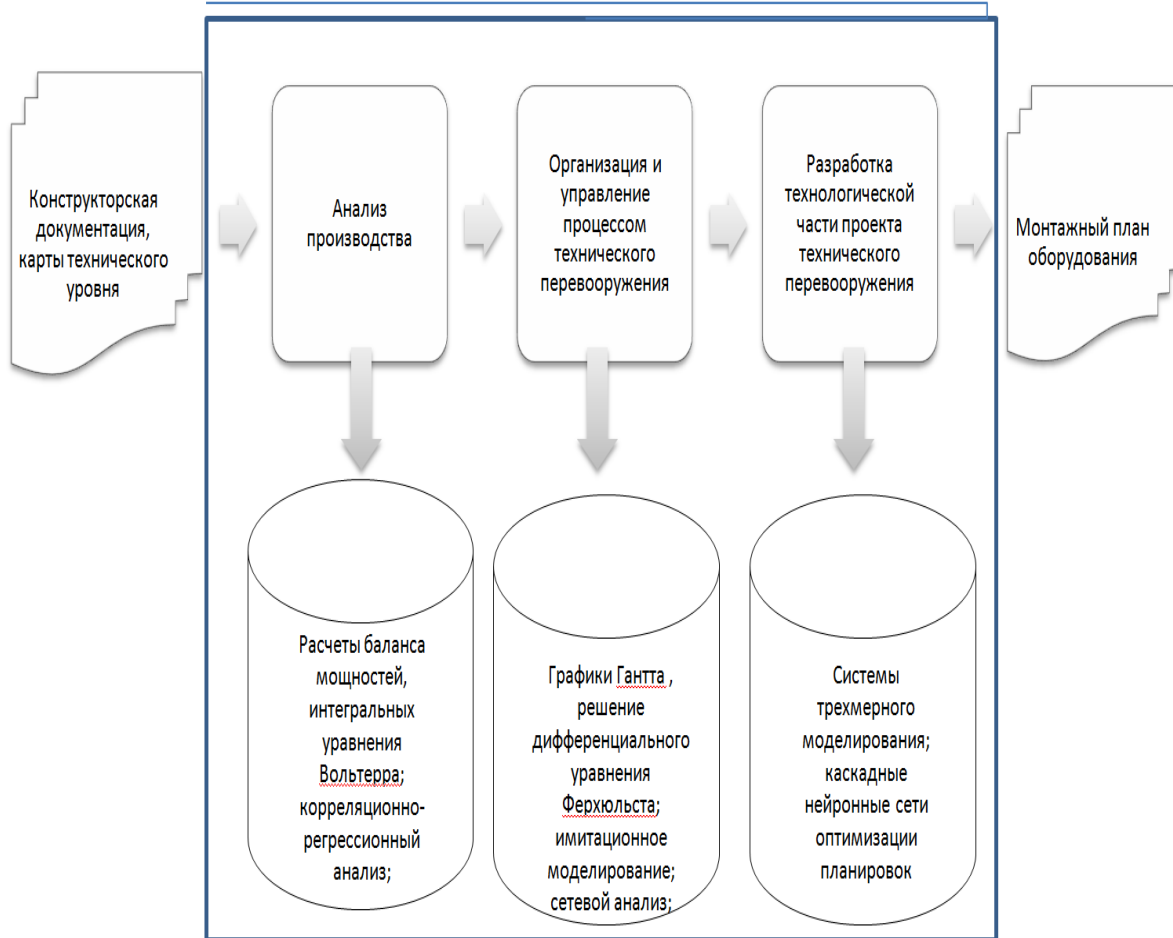


Рис. 5. Схема реализации каскадного метода управления проектами технического перевооружения производства

Детальное описание принципов работы каждого модуля приведено авторами в соответствующих работах. Покажем общую концепцию каскадного метода управления проектами технического перевооружения, обзорно рассмотрим функциональные блоки (рис. 5).

1. Анализ загрузки производственных мощностей

Укрупненный анализ загрузки производится на основании прогнозного плана развития предприятия и имеющейся проектной мощности производственного подразделения. Поясним суть анализа с помощью диаграммы (рис.6):

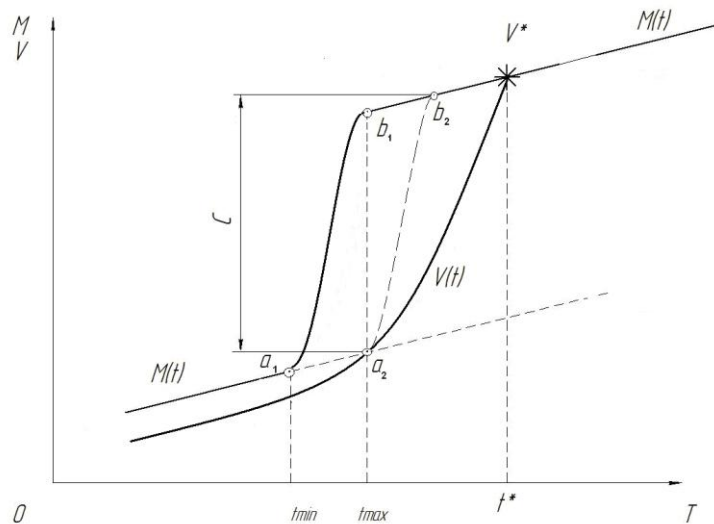


Рис. 6. Укрупненный анализ производственной мощности производственного подразделения

На рисунке показаны кривая изменения объемов выпуска изделий, объемов производства в цехе (участке) – $V(t)$, так и кривая роста производственной мощности – $M(t)$ за счет технического перевооружения производства и проведения других организационно-технических мероприятий по модернизации и/или совершенствованию производства, V^* – объем производства, на который предприятие намерено (планирует) выйти к моменту времени t^* , C – затраты:

- $(a_1; v_1)$ – S -образная кривая переходного процесса реализации проекта технического перевооружения за счет заемных средств (кредита);
- $(a_2; v_2)$ – S -образная кривая переходного процесса реализации проекта технического перевооружения за счет собственных средств предприятия (прибыли).

Точка пересечения графика объемов производства с прямой производственной мощности (a_2) показывает момент возникновения дисбаланса производственных сил. Ранние и поздние сроки устранения дисбаланса находятся по формуле:

$$k \int_{t_1}^{t_{\min}} V(t) dt = \int_{t_1}^{t_{\max}} M_{t1}(t) dt, \quad (2)$$

$$V(t_{\max}) = S_{t_{\max}} F + M(t) \Big|_{t_1}^{t_{\max}}, \quad (3)$$

где первое уравнение системы определяет ранние сроки начала осуществления проекта технического перевооружения производства (t_{\min}), второе – поздние сроки осуществления проекта технического перевооружения производства (t_{\max}),

k – нормативный коэффициент выполнения норм (можно принять, равным 1),

$V(t)$ – объемы производства в норм-часах или единицах изделий,

$M(t)$ – производственная мощность в норм-часах или единицах изделий, t_1 – дата последнего ТПП,

$S_{t_{\max}}$ – максимальное количество оборудования в производственном отделении,

F – фонд рабочего времени оборудования (величина нормативная, для универсальных механообрабатывающих станков $F=4015$ н-ч).

Ранний срок ТПП определяется сроком окупаемости оборудования, поздний – выходом в зону дефицита производственных сил и фактически находится как точка пересечения графика объемов производства с графиком производственной мощности. При этом перевод производственной мощности из норм-часов в единицы товарной продукции осуществляется делением производственной мощности в норм-часах на трудоемкость изготовления в часах соответствующего изделия.

В рамках мероприятий по устранению дефицита производственных мощностей может быть

- В случае незначительных дисбалансов (не более 20%) внедрена новая группа оборудования, произведена оптимизация диаграмм-спагетти и очередности запуска заготовок в обработку (подробно описана в п. 8).
- В случае больших дефицитов (более 20 %) необходима инициализация полномасштабных проектов технического перевооружения, в рамках которых должны быть пересмотрены технологические процессы изготовления изделия в целом. Тогда выход на заданные объемы выпуска должен производиться согласно п.11 настоящей инструкции.

Укрупненный анализ производственной мощности в случае серийного производится по группам оборудования, поскольку должна соблюдаться однородность выборки. В результате анализа по диаграмме рис.3 выделяется «ведущая» группа оборудования (та, которая ограничивает объемы выпуска).

Ввиду неоднородности выборки по оборудованию и по обрабатываемым деталям в серийном и мелкосерийном производстве укрупненный анализ производственной мощности не всегда показывает узкие места по отдельным рабочим местам и группам оборудования, поскольку не учитывается факт неравномерности работы оборудования и возможность возникновения локальных или мгновенных узких мест. Для выявления такого вида дисбалансов возможно применение

- Циклограмм работы оборудования (на временной шкале откладывается цикличность работы всех групп оборудования, и отмечается движение деталей по ним, делается вывод о наличии простоя оборудования или возникновения очереди. Циклограмма может быть нарисована вручную или в *Ms Project*),
- Диаграмм-спагетти, которые показывают маршрут движения деталей и сборочных единиц по производственному подразделению в ходе технологического процесса,
- Имитационного моделирования в системе *Open SIM*.

2. Организация и управления процессом ТПП

При использовании данного метода управления инновационными проектами в условиях АСТПП важно знать конкретные математические модели S-образных закономерностей для различных типов инновационных проектов. Для освоения высоких и критических технологий в ходе разработки инновационных проектов технического (технологического) перевооружения производства для постановки на производство инновационной продукции в автоматизированных системах

технологической подготовки производства (АСТПП) такие кривые описываются уравнением (1) (кривые «освоения технологий»).

Управление отдельными инновационными проектами на основе применения S-образных закономерностей может быть объяснено следующим примером, рис.7.

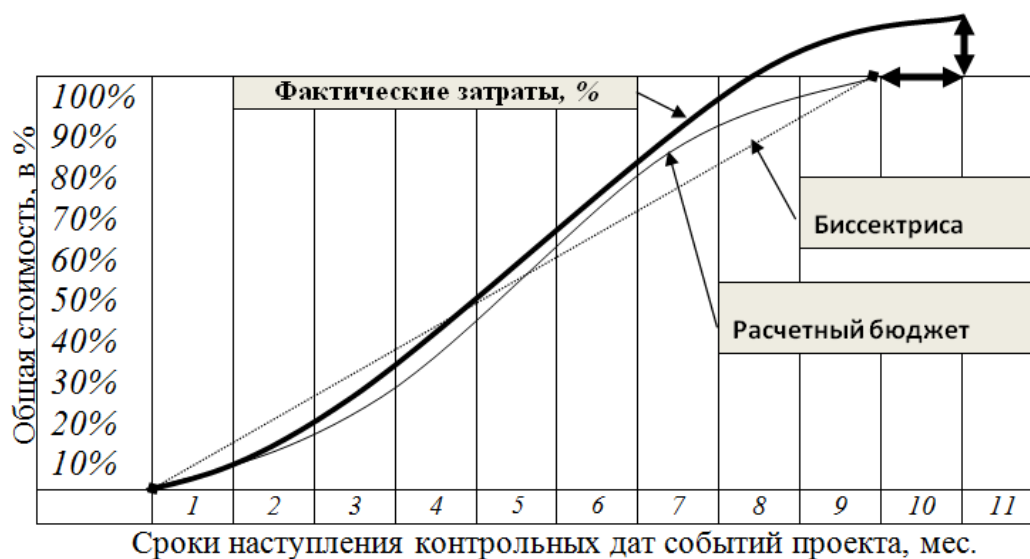


Рис. 7. График изменения стоимости проекта и хода его расписания

Постановка новых изделий (инновационной продукции) на производство подразумевает внедрение новых технологий и, соответственно, новых: гибких автоматических линий, групп мехатронного станочного оборудования, автоматных участков, роботизированных производственных участков, автоматических линий и роторно-конвейерных комплексов и других комплексов оборудования, обеспечивающих освоение технологических инноваций.

Применение рассмотренной на рис.6, 7 схемы анализа переходных процессов «освоения новых технологий» в ходе разработки инновационных проектов технологического перевооружения производства позволяет не только разрабатывать не только отдельные проекты, но и целевые программы технического перевооружения цехов и участков предприятия и разработать график непрерывной технической реконструкции (модернизации) производства на предприятии, табл.1.

Таблица 1. График технического перевооружения и реконструкции цехов и участков предприятия

<i>Годы</i>	<i>2015</i>	<i>2016</i>	<i>2017</i>	<i>2018</i>	<i>2019</i>
<i>цех №1</i>	T_{12}	<i>ОТМ</i>	O_{13}	<i>ОТМ</i>	K_1
<i>цех №2</i>	<i>ОТМ</i>	K_2	<i>ОТМ</i>	T_{23}	<i>ОТМ</i>
<i>цех №3</i>	O_{33}	<i>ОТМ</i>	K_3	<i>ОТМ</i>	T_{34}
...					
<i>цех № n</i>	K_n	<i>ОТМ</i>	T_{n5}	<i>ОТМ</i>	<i>ОТМ</i>
<i>Всего: T_i O_{ij} K_i</i>					

Примечания: *ОТМ* – организационно-технические мероприятия по рабочим местам; T_{ij} – техническое перевооружение j -го участка i -го цеха; O_{ij} – оргпроекты реорганизации j -го производственного участка i -го цеха; K_i – комплексная реконструкция i -го цеха

Использование кривых освоения технологий позволяет сделать укрупненную оценку времени освоения изделия предприятием. Суть метода ясна из рис. 8. Кривые освоения технология строятся для всех производственных подразделений и выступают в качестве передаточных функций звеньев системы предприятия. Анализ такой структурной сетки предприятия позволяет оценить время постановки на производство нового изделия, выявить «узкие» места. В качестве мероприятий по устранению «узких» мест могут быть образование новых структурных подразделений или ликвидация существующих, реструктуризация организации производства.

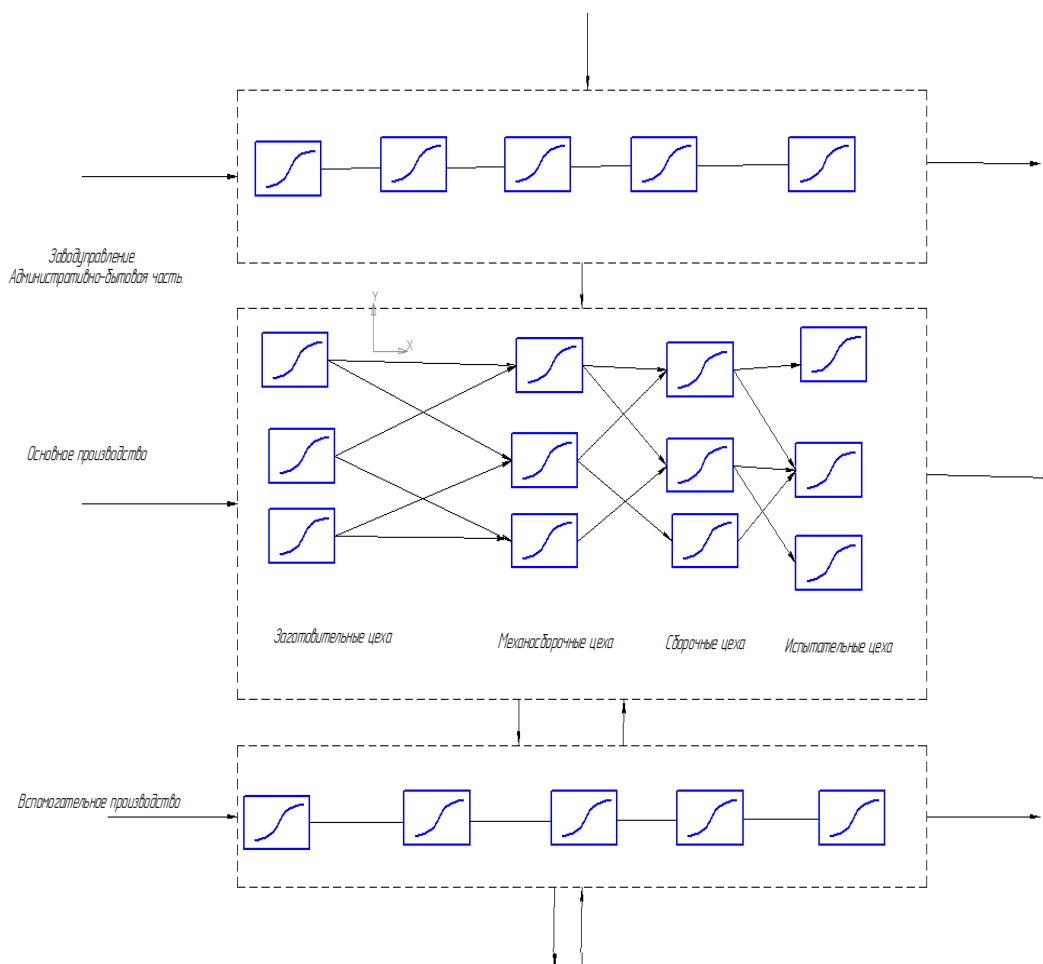


Рис. 8. Использование кривых освоения технологий в качестве передаточных функций звеньев производственной системы.

3. Разработка технологической части проекта ТПП

Рассмотрим блок «Разработка технологической части проекта технического перевооружения» (рис.5). На этом этапе с использованием нейронных сетей Хопфилда и/или каскадных нейронных сетей в *Matlab* проводится оптимизация как проектных технологических процессов, так и технологических планировок оборудования (участков, цехов или корпусов) по критериям минимумов приведенных затрат, штучного времени, что позволяет в свою очередь минимизировать грузопотоки и производственные площади. В результате применения метода можно получить Парето-оптимальные проектно-технологические решения и наиболее рациональный монтажный план оборудования, а также исходные данные для:

- управления каждым проектом технического перевооружения (участка, цеха, производственного корпуса);
- разработки целевой программы управления инновационными проектами.



Рис. 9. Использование технологий трехмерного моделирования для создания чертежей технологических планировок

На основании ведомости производственной программы и оптимального варианта технологического процесса можно с помощью типовых методов расчета разработать чертеж технологической планировки оборудования. Такие планировки в последние годы для повышения наглядности стремятся дополнить 3D-моделями цехов и/или производственных участков, (рис.9). Использование технологий трехмерного моделирования, например, с помощью *Autodesk Inventor* и технологии создания виртуальной реальности *Capturing Motion* в комнатах класса *CAVE* позволяет в интерактивном режиме изменять при необходимости проект (цеха/корпуса/участка) (рис.9)

В основе метода лежат эмпирические зависимости, установленные авторами в ходе исследований реальных проектов технического перевооружения машиностроительного производства, нейросетевые модели, трехмерные модели объектов инновационного проектирования.

Применение названных методов позволяет строить долгосрочную стратегию управления развитием производства с учетом изменения планов выпуска продукции, изменения баланса производственных мощностей, что обеспечивает устойчивое развитие предприятия и его конкурентоспособность на различных стадиях жизненного цикла объектов проектирования

Апробация работы:

В результате проведенной работы были разработан пакет для автоматизированного расчета сроков этапов проектов технического перевооружения производства

«Анализ и управление производственными мощностями на предприятии» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2015613794). Была систематизирована нормативная документация для расчета длительности этапов проектно-изыскательных работ, возникающих в ходе реализации проектов технического перевооружения. По результатам такого анализа была разработана электронная база данных норм времени на выполнение проектных работ по техническому перевооружению производства (Патент № 2015620546).

Каскадный метод управления проектами технического перевооружения был внедрен в реальные авиадвигателестроительные производства (акты о внедрении прилагаются). Практика работы одного из предприятий авиационной промышленности по такому графику в течение пяти лет за счет применения рассмотренной выше системы выполнения работ хозяйственным способом показала весьма существенные результаты:

- удвоения объемов производства на тех же площадях и при той же численности работающих за счет реконструкции восьми цехов, технического перевооружения 50 производственных участков и выполнения других организационно-технических мероприятий;

фактический индекс роста объема производства составил – 194,4%, производительности труда – 179,6 %, было освоено производство 52 новых изделия авиационной техники, улучшены условия труда более 5000 рабочих, повысилась фондоотдача, улучшены другие технико-экономические показатели действующего производства.

По результатам проведенных научных исследований были сделаны публикации в ведущих рецензируемых журналах ВАК и SCOPUS, были сделаны доклады на международных конференциях (форма 16 прилагается).