

УДК 519

## АДАПТИВНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СИСТЕМЕ «РАЗРАБОТЧИК-ПРОИЗВОДСТВО» (ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ, ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ИНЖИНИРИНГ)

© 2014 А.Н. Коптев<sup>1</sup>, А.А. Коптев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С.П.Королёва

<sup>2</sup>ОАО «Авиаагрегат», г. Самара

Поступила в редакцию 09.09.2014

В статье рассмотрены вопросы исследования проблемной ситуации адаптивного взаимодействия в системе «Разработчик-Производство» в рамках разработки концептуальной модели на основе системного подхода к организации такого взаимодействия с целью уменьшения потерь в процессе запуска и ведения конструкторской документации при принятии решений об изменениях и разработки методологии сетевого представления для расчета вновь создаваемых и модернизируемых систем опытно-серийного производства авиационной техники.

Ключевые слова: *адаптация, взаимодействие, сеть, системный подход, производство, конструкторская документация*

Повышение эффективности общественного производства является общей закономерностью экономического роста, и, как следствие, развития экономики. Рыночная экономика кардинально изменила прежние взгляды на подготовку и реструктуризацию производства. Для того, чтобы выстоять и добиться успехов в условиях упорной конкурентной борьбы, нужно систематически снижать издержки производства, повышать качество продукции и обслуживания клиентов и проводить гибкую ассортиментную и ценовую политику. Всё большее углубление рыночной экономики в сферу материального производства требует непрерывной его модернизации на основе научно-технического прогресса. Одним из кардинальных условий модернизации является способность производителей промышленной продукции своевременно сбалансировать хозяйственно-производственную систему для обеспечения выпуска продукции высокого качества с минимальными затратами, имеющей широкий спрос и приносящей предприятию высокую прибыль. Выполнение этого условия является бесспорным аргументом в повышении социального, экономического и культурного уровня не только коллектива производителей, но и государства в целом.

*Коптев Анатолий Никитович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации авиационной техники. E-mail: eat@ssau.ru*

*Коптев Андрей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, главный инженер. E-mail: aak\_s@rambler.ru*

Для выживания производителей продукции в условиях высокой динамичности требований рынка сбыта, в частности, авиационной техники (АТ) необходимо ускоренными темпами осуществлять меры по созданию и внедрению в сферу промышленных предприятий инструментальных средств, обеспечивающих глубокий анализ существующих и синтез будущих систем производства АТ, охватывающих все этапы ее создания, научно обоснованное планирование и организацию выполнения работ по технической подготовке производства и его реструктуризации. При этом основной задачей является точный расчёт актуальной себестоимости продукции, её анализ, понижение затрат в процессе производства и повышение производительности труда в целом благодаря эффективному использованию производственных мощностей и ресурсов всех видов.

В настоящее время ключевая роль при решении изложенных выше жизненно важных задач отводится эффективным методам макро и микро-проектирования целеустремлённых систем производства, реализация которого потребует целесообразного (рационального) относительно его цели расхода ресурсов (различного вида) и времени. В основе решения задач проектирования, конструирования, организации производства, планирования и управления им должны лежать так называемый системный подход. Он органически вытекает из материалистической диалектики и предполагает рассмотрение явлений в их взаимосвязи и взаимообусловленности. Системный подход означает также, что

интересующий нас объект рассматривается не только во взаимосвязи с другими объектами, но и как система. Изучение объекта во внешних взаимосвязях позволяет определить цели его функционирования, а анализ внутренней структуры – оценить пути достижения поставленной цели. При решении любой из отмеченных выше задач в рамках системного подхода основной является задача выбора (определения) наилучшего (наиболее рационального) решения. Очевидно, что выбор может производиться только путём сравнения различных конкурирующих вариантов (альтернатив). Сравнение из множества вариантов может производиться одним из двух способов [7].

Первый способ связан с созданием и испытанием реальных конкурирующих объектов (система процессов, организаций, управлений, ...), в ходе которых производится их экспериментальное сравнение. Однако представляется совершенно очевидным, что применительно к уникальным, сложным, дорогостоящим объектам (системам и процессам) такой путь нереален, так как в условиях научно-технической революции, с одной стороны, резко возрастает многовариантность технических, проектных, экономических, организационных, управленческих и других решений, а с другой стороны, весьма возросла цена неверного, ошибочного решения. В сущности, проблема состоит в том, чтобы сделать выбор ещё до создания реального объекта.

Как правило, в условиях функционирующих сложных производств, к которым, несомненно, относится серийное авиационное производство, остаётся практически реализуемым лишь второй способ, основанный на построении достаточно адекватных (близких к оригиналу) математических моделей (аналитических или имитационных) реальных объектов и процессов их функционирования и сравнения результатов исследования реальных моделей (серийное производство) совместно с моделями будущего опытного и серийного производства вновь создаваемых объектов производства и процессов.

Для исследования поиска, разработки и внедрения новых решений необходима методология комплексного исследования будущего опытного и серийного производства как системы, т.е. как объединения элементов реального производства с элементами модели будущего производства, связанных комплексом (системой) отношений и выступающих по отношению к внешней среде как единое целое [1- 3]. Всё это требует проведения исследования по существу нового расширяющегося производства с учётом (и во взаимосвязи) следующих аспектов:

– системно-компонентного (исследование состава системы);

– системно-структурного (исследование структуры и строения системы);

– системно-функционального (исследование функций и функциональных связей элементов системы);

– системно-агрегативного (исследование системобразующих факторов);

– системно-ситуационного (исследование взаимодействия системы с внешней средой);

– системно-эволюционного (исследование динамики поведения и развития системы).

Необходимым условием решения этих задач является внедрение новейших достижений науки и техники на основе кардинального использования научно-технического прогресса в сфере материального производства, которые обеспечат в системе «Разработчик-Производство» высокую мобильность и высокую эффективность, например, самолётостроительного предприятия в условиях рыночной экономики. Это является актуальной проблемой для такой сложной отрасли промышленности как современное авиационное. В свою очередь, все это требует решения комплекса задач:

– исследование проблемной ситуации взаимодействий в системе «Разработчик-Производство» и разработки концептуальной модели на основе системного подхода к организации такого взаимодействия с целью уменьшения потерь в процессе запуска конструкторской документации (КД) и конструкторских изменений (КИ) для постановки серийного производства новых изделий;

– разработка и внедрение математических методов и моделей формализации для представления объектов и систем производства, необходимых для исследования структур сборочных единиц, частей, агрегатов и самолёта в целом и технологических процессов их изготовления;

– разработка методологических основ теории сетевых представлений и расчета систем производства самолёта и его компонент на базе тензорной методологии Г. Крона и работ А.Е. Петрова, А.Н. Коптева;

– разработка математических методов и моделей для поддержки принятия решений в интегрированных автоматизированных производственных интеллектуальных системах управления авиационным объединением.

В процессе проведенных исследований выявлен возрастающий интерес к синтетическому исследованию в противоположность аналитическому, к глобальному подходу в противоположность локальному. Современная теория систем развилась как научная дисциплина, которая используется для описания и анализа совокупностей взаимосвязанных переменных без учета их конкретной природы. Центральное место в теории систем занимает понятие модели, которое

описывает взаимодействия между переменными системы. Основные понятия теории систем – это взаимосвязь и поведение, а основная задача – расчет поведения взаимосвязанных объектов, исходя из поведения отдельных объектов. Обращаем внимание на то, что иерархический способ построения модели различными специалистами не позволяет ей успешно функционировать при различной подробности, детализации. Оказывается невозможным в единой структуре направить на общую цель самые разнообразные модели – от языковых, содержательных, до математических, формальных, в том числе модели, отличающиеся не только степенью формализации, но и самими языками описания: юридическими, финансовыми, производственными и социально-ценностными, т.е., в общем, совокупность высказываний об одном и том же объекте, но на различных языках. Все это требует создания единого языка для коллектива специалистов различных профессий, решающих общую задачу по модернизации (адаптации) производства новых изделий в системе «Разработчик-Производство», обеспечивающего интеграцию профессиональных знаний. Таким языком является язык математики – мы имеем в виду тензорный анализ и его развития в той форме, которую ему предал Г. Крон в «Тензорном анализе сетей», вполне приглядную для создания универсального языка техники и, в частности, для создания компаунд-моделей адаптации существующего производства к новым целям [4, 5].

Известно, что в настоящей инженерной практике момент постановки целей (формулировки технического задания) – один из важнейших этапов создания систем. Специалисты отдают себе отчет в сложности этого этапа и на деле сугубо формально трактуют его результат только тогда, когда наступает юридическая ответственность за неудачу. Обычно же цели уточняются итеративно, с многократными изменениями и дополнениями, а в условиях модернизации производства для изготовления новой продукции возникает задача преобразования существующих целеустремленных систем производства и новых процессов их целевого функционирования. Общее решение этой задачи требует построения из множества обыкновенных уравнений на базе построения второго обобщения [4, 5] одного матричного уравнения, которое имеет тот же вид исходных уравнений с одной степенью свободы, но для любого числа степеней свободы. Система обыкновенных уравнений устанавливается на основе постулата первого обобщения [5] систематическим образом, с помощью  $n$ -матриц демонстрирует существование трех новых взаимосвязанных понятий, занимающих ключевую позицию в современном физическом и, как следствие, техническом анализе

и синтезе. Эти три понятия – «преобразование», «группа», «инвариантность» – составляют основу всех видов изменений, которые могут быть описаны в рамках «Тензорного анализа сетей» [5]. В основе такого подхода лежит целенаправленная деятельность коллектива специалистов различного профиля, приступающих к работе в комплексной программе модернизации или создании нового производства.

Известные научные работы в сфере совершенствования технологической инфраструктуры самолетостроительных предприятий разделены на направления, посвященные вопросам: оценки уровня, прогрессивности и эффективности технологических систем; разработки новых технологий в условиях изменения конструкции самолета и применением в них новых конструкционных материалов и систем жизнеобеспечения; исследования влияния технологических методов на прочность и надежность конструкции. Наряду с этим имеются достаточно широкие исследования в части повышения уровня механизации и автоматизации агрегатно-сборочного, механообрабатывающего и др. видов производств; совершенствования организации, управления и планирования работ ТПП, а также создания различных систем автоматизированного проектирования и управления производственными, технологическими, организационными, финансовыми и экономическими функциями, в том числе систем управления станками, оборудованием, комплексами, разработки систем твердотельного моделирования сложных технологических средств и оснастки и т.д.

Несмотря на обширность фронта исследований, наблюдается значительный научный пробел, который выражается в отсутствии комплексного исследования, посвященного разработке высокоэффективной системы адаптивного взаимодействия, создаваемой на базе научных достижений, в комплексе «Разработчик-Производство», которая позволяла бы оперативно наметить стратегию и тактику организации выполнения и управления процедурами запуска КД и конструктивных изменений (КИ), освоения новых образцов технологического оснащения, использования современных достижений информационных технологий для их широкого внедрения в производство.

Таким образом, на основе системного обзора состояния предметной области исследования были выявлены ряд научных пробелов. К числу этих пробелов следует отнести отсутствие единой методологии организации и реализации работ по запуску КД и ее изменениям с учетом новых экономических требований и информационных технологий; единого подхода к организации, разработке и запуску КД и КИ с целью устранения дублирования и снижения затрат времени с

учетом специфики работы серийного завода, доскональных исследований в части разработки систем интеллектуальной автоматизированной поддержки принятия решений при конструкторских изменениях и метода моделирования процессов распределения работ между исполнителями и инвестиционных ресурсов в производственные сферы предприятия; разработок в сфере системной модернизации и совершенствования инфраструктуры технологических подразделений на стадии ТПП.

На основе системно-информационного подхода разработана концептуальная модель (образ) опытно-серийного производства (системно-агрегативные свойства) включающая радикальные изменения в процедурах запуска КД в производстве, т.е. создания единого конструкторского бюро (КБ) на базе ОГК и ФОКБ, создание высокоавтоматизированных систем агрегатно-сборочного производства, тесно связанного с информационной системой комплекса «Разработчик-Производство».

Агрегатно-сборочное производство является одним из завершающих и наиболее ответственных этапов производства самолётов. Уровень технического и организационного совершенствования агрегатно-сборочного производства, трудоёмкость которого для современного самолёта достигает более 40% от трудоёмкости изготовления самолётов в целом, в значительной степени определяет его технологическую себестоимость и основные показатели экономической эффективности самолётостроительного предприятия. На основе предложенной сетевой математической модели (двойственные сети) и системно-информационного подхода к производству авиационной техники создаются основы методологии обоснования и разработки принципов исследования ОП и на их базе создания их производства в рамках достижений информационных технологий.

Практические проблемы анализа производственных комплексов, в частности, авиационных комплексов «ОКБ-Производство» в рамках широкого применения информационных технологий требует интеграции системных и информационных методов анализа и еще большего привлечения к осмыслению задач стратегического управления методами математического моделирования и алгоритмизации сложных систем синтеза. Системно-информационный анализ разрабатывался применительно к случаю, когда можно формализовать цели, т.е. задачи, которые в основном типичны для создания опытного производства самолета. Однако он применим в значительной степени и для других уровней производства, поскольку в системно-информационном анализе задание цели может иметь размытый характер.

В обобщенной постановке задача создания опытно-серийного производства представлена как трехкомпонентная среда

$$K_a, K_{тр}^*, K_{усл} \quad (1)$$

где  $K_a$  – некоторый предмет задачи в актуальном (текущем, исходном) состоянии;  $K_{тр}^*$  – императивная (виртуальная) модель желаемого состояния этого предмета или модель потребного будущего;  $K_{усл}$  – условия, ограничения, которые должны быть выполнены в процессе перевода предмета задачи из его актуального состояния в требуемое.

По отношению к задаче проектирования опытно-серийного производства (ЗПП) компоненты системы (1) интерпретируются следующим образом:

-  $K_a$  – заявка на объект проектирования (ОП), представляющая потребности и мотивы, относящиеся к некоторому фрагменту действительности. Эту заявку в ЗПП представляет целевая модель искомого объекта  $M(O)_ц$ ;

-  $K_{тр}^*$  – продуктивная модель ОП  $M(O)_{пр}$  – комплект технической документации для изготовления или использования объекта в производственных условиях, которая отвечает; требованиям определенных стандартов;

-  $K_{усл}$  – условия реализации задачи или ограничения на временное, трудовые, материальные ресурсы  $Q$ , выделяемые для решения данной ЗПП.

Под задачей создания опытно-серийного производства на этапе системно-информационного анализа будем понимать как задачу построения продуктивной модели объекта  $M(O)_{пр}$  для которого определена целевая модель  $M(O)_ц$  и установлены условия или ресурсы  $Q$  решения задачи. ЗПП обобщенной постановке может быть представлена кортежами

$$ЗПП = \langle M(O)_ц, M(O)_{пр}, Q \rangle = \langle \langle FnM'(O), Z', Y', X', G \rangle, M(O)_{пр}, Q \rangle, \quad (2)$$

где компоненты  $Z', Y', X', G$  являются в общем случае векторами, имеющими свои размерности.

Требования к функциональным свойствам ОП задаются в постановке ЗПП в форме модели  $F_n M(O) \subseteq Y_n \times Z$ . Требования к условиям функционирования ОП  $Z'$  задаются допустимыми областями множества возможных состояний среды (внешних  $Z_y$  или окрестностных  $Z_o$  условий), а также продолжительностью функционирования  $Y''_n$ . Требования к свойствам ОП помимо  $F_n M(O)$  ограничивают:

а) допустимую область множества возможных значений внешних (существенных и утилитарных) свойств ОП  $Y'$  для всех  $z \in Z$ ;

б) допустимую область множества возможных значений внутренних (сущностных) свойств объекта  $X'$ , которые характеризуют принципы его построения/действия и обуславливают обладание множеством внешних свойств  $Y$ , согласованных с  $F_n M(O)$  (функциональная модель).

Границы допустимой области множества значений сущностных свойств объекта  $X'$  часто определяются ресурсами, необходимыми для изготовления или использования ОП. В общем случае ограничения могут касаться ресурса какого-либо одного, вида (материалоемкости интегральной или по конкретным классам материалов, трудоемкости, энергоемкости, фондоемкости и т. д.) или одновременно нескольких видов.

Условия решения ЗПП задаются допустимой областью значений ресурсов  $Q$ , выделенных для использования в процессе проектирования объекта. В качестве таких ресурсов обычно рассматриваются продолжительность решения, общая трудоемкость, полная стоимость решения ЗПП. При этом стоимость проектирования может выражаться не только в виде денежных расходов, но и в количестве дефицитных материалов, времени использования уникального оборудования и, что очень важно, в реализации проекта самолета в заданные сроки.

Системным направлением исследований, проводимых авторами и их коллегами, являются реализация концепции теории образов, рассматриваемых в рамках точного формализма, который будет использоваться в качестве концептуальной основы для синтеза и анализа ОП, ТП и СП, помогая нам лучше понять, как образы элементов (образующих) конструкции самолета и самолет в целом строятся и обрабатываются, в рамках освоения технологий электронного описания и систем CAD/CAM/CAE.

В предлагаемой концепции разработаны основные принципы представления объектов и систем агрегатно-сборочного производства, лежащих в основе технической подготовки опытно-серийного производства. Введены основные понятия для формализации объектов ОП и ТП производства реализованных на основе теории образов У. Гренандера и, как следствие, предложен язык их представления, включающего описание образующих и их преобразований в рамках тензорной методологии, на которые, как показано выше, наложены адаптивные требования к различным видам преобразований и того же объекта производства. Для решения проблем представления ОП, ТП и СП введено понятие множества в широком смысле, из которого выделено понятие мультимножества, позволившего произвести классификацию ОП и СП, которые

описываются обыкновенными уравнениями, лежащими в основе обобщенной модели.

Таким образом, на первом этапе внешнего проектирования выявляются требования к целеустремленным (ЦУТС) и целенаправленным процессам функционирования системы (ЦНПФС), обусловленные их окружением, т.е. внешней средой и целевым предназначением, которые существенно связаны организацией информационного взаимодействия между разработчиком и производственными площадками за счет развертывания корпоративной системы передачи данных (КСПД) и системы корпоративной электронной почты (СКЭП). Посредством КСПД осуществляется обмен конструкторской документацией между партнерами, участвующими в разработке и производстве. Даже разница в часовых поясах позволяет без потери времени вести работы по проектам непрерывно в течение суток: конструктор в Москве передает электронную документацию, созданную в ОКБ «Производства», получают документы, а затем обрабатывают их и формируют замечания, т.е. идет параллельная работы по адаптации объекта производства в системе «Разработчик-Производство». Использование технологии параллельного инжиниринга обеспечивает информационное взаимодействие многих удаленных участников проектирования сложных технических систем. При этом обмен информацией идет на всех этапах проектирования, что позволяет организовать сокращение сроков за счет распараллеливания проектных задач. Предполагает выполнение процессов разработки и проектирования одновременно с моделированием процессов изготовления и эксплуатации. Сюда же относится одновременное проектирование различных компонентов сложного изделия. При параллельном инжиниринге многие проблемы, которые могут возникнуть на более поздних стадиях ЖЦ, выявляются и решаются на стадии проектирования. Такой подход позволяет улучшить качество изделия, сократить время его разработки и изготовления, уменьшить затраты.

Отличительной особенностью Программы производства самолета-демонстратора нового поколения является то, что разработка и создание демонстратора происходит в кооперации с головным исполнителем ОКР – «Разработчиком» и головного исполнителя по производству опытных образцов «Производителем». Опытные образцы самолета-демонстратора нового поколения производятся сразу на серийном заводе, без опытного макетирования в конструкторском бюро. Подобный тип взаимоотношений между организацией-проектировщиком и предприятием-изготовителем до принятия Программы производства самолетов-демонстраторов пятого поколения не применялся и является инновационным.

Параллельное проведение ОКР и подготовки производства позволило значительно сократить сроки до первого вылета самолета-демонстратора нового поколения. Реализация принципов параллельного инжиниринга в Программе производства самолетов-демонстраторов нового поколения включает в себя организационные и технические мероприятия. Аналогичная идеология создания планируется и при реализации Программы МС-21. На стадии ОКР предприятие-производитель проводит подготовку производства, включающую техническое перевооружение, разработку технологической документации, разработку и изготовление средств технологического обеспечения.

Таким образом, до получения от ОКБ полного комплекта конструкторской документации и директивной технологии, предприятия-производители для адаптации Программы производства на серийном заводе по предварительным материалам организует работы по следующим направлениям:

- техническое перевооружение и организация производства;
- технологическое сопровождение разработки конструкторской документации;
- подготовка производства;
- информационные технологии;
- разработка и освоение новых материалов и технологий;
- анализ экономической эффективности конструктивно-технологических решений и производства.

На втором этапе внутреннего проектирования вырабатывается проектное задание на ЦУТС и ЦНПФС. При этом все его подэтапы

осуществляются одновременно в течение всего процесса проектирования, реализуя тем самым комплексный подход в замкнутой схеме. Конкретизация обобщенной задачи проектирования опытно-серийного производства самолетов и ее решение осуществляются в два этапа:

- первый связан с системно-агрегативным представлением, т.е. с выявлением требований к производству опытного образца и процессам его производства, обусловленных их конструктивным несовершенством, устраняемым на этом этапе в рамках параллельного инжиниринга;

- второй – структурно-параметрическое представление: проектное задание на опытное производство и процессы функционирования его систем в единичном акте, и прорабатывается проект на полную загрузку в условиях взаимодействия в системе более высокого уровня.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гренандер, У. Лекции по теории образов. Синтез образов. Том 1. – М.: Мир, 1979. 383 с.
2. Гренандер, У. Лекции по теории образов. Анализ образов. Том 2. – М.: Мир, 1981. 448 с.
3. Гренандер У. Лекции по теории образов. Регулярные структуры. Том 3. – М.: Мпр, 1983. 432 с.
4. Коптев, А.Н. Тензорная методология в теории представлений организационно-технических систем / А.Н. Коптев, Г.И. Коротнев // Вестник СГАУ. 2002. №1. С. 91-94.
5. Крон, Г. Тензорный анализ сетей. М.: Советское радио, 1978. 720 с.
6. Петров, А.Е. Тензорная методология в теории систем. М.: Радио и связь. 1985. 152 с.
7. Петров, А.Е. Тензорный метод двойственных сетей. М.: Центр ИТиП, 2007. 496 с.

## ADAPTIVE INTERACTION IN "DEVELOPER-PRODUCTION" SYSTEM (PROBLEMS AND DECISIONS, PARALLEL ENGINEERING)

© 2014 А.Н. Коптев<sup>1</sup>, А.А. Коптев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov

<sup>2</sup> JSC "Aviaagregat", Samara

In article questions of research the problem situation of adaptive interaction in system "Developer-Production" within the development of conceptual model on the basis of system approach to the organization of such interaction for the purpose of reduction the losses in the course of start and maintaining design documentation at making decisions on changes and development of network representation methodology for calculation of again created and modernized systems of aircraft equipment skilled mass production are considered.

Key words: *adaptation, interaction, network, system approach, production, design documentation*

Anatoliy Koptev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Aircraft Maintenance Department. E-mail: eat@ssau.ru; Andrey Koptev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Engineer. E-mail: aak\_s@rambler.ru