

Клочков В.В.¹, Пекарш А.И.²

¹Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. РФ, г. Москва

²ОАО «Комсомольск-на-Амуре авиационное производственное объединение им. Ю.А. Гагарина». РФ, г. Комсомольск-на-Амуре

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗВИТИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОЙ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРИНЦИПАХ CALS

Введение

Авиастроительная индустрия выпускает сложную наукоемкую продукцию с длительным жизненным циклом (ЖЦ). С экономической точки зрения, ЖЦ авиационной техники характеризуется следующими особенностями [1]:

1. Большая длительность отдельных этапов ЖЦ затрудняет прогнозирование и планирование, что, в совокупности с высокой стоимостью отдельных этапов ЖЦ, приводит к значительным рискам осуществления проектов.

2. Средняя себестоимость изделий существенно сокращается с ростом накопленного объема их выпуска вследствие высокого уровня постоянных затрат (в т.ч., на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, НИОКР) на предпроизводственных стадиях жизненного цикла изделий (ЖЦИ) и эффектов обучения на стадии серийного производства.

Все эти особенности обусловили актуальность применения CALS-технологий в авиастроительной индустрии. Соответствующие технологические аспекты освещены в фундаментальных монографиях [6, 11]. Внедрение CALS-технологий принципиально неверно воспринимать лишь как тотальную автоматизацию традиционных процессов маркетинга, разработки, подготовки производства и серийного производства, эксплуатации, мониторинга, техни-

ческого обслуживания и ремонта. Создание информационных систем на предприятии должно сопровождаться реорганизацией как бизнес-процессов — реинжинирингом, так и организационных структур — реструктуризацией, с учетом новых возможностей, предоставляемых этими системами. Помимо создания технических средств, эффективное внедрение CALS-технологий в авиационной промышленности требует, как будет показано ниже, организационных изменений в структуре и функциях отдельных подразделений авиастроительных и ремонтных предприятий, эксплуатирующих организаций, и даже изменений в сфере правового регулирования. Поэтому CALS-технологии — не только технический, но и организационно-экономический феномен.

Генеральная цель разработки и внедрения CALS-технологий — оптимизация управления бизнес-процессами на протяжении всего жизненного цикла изделий. Участники ЖЦИ получают возможность оперативно взаимодействовать друг с другом в целях совместного создания ценности. Именно такая концепция взаимодействия предприятий считается наиболее продуктивной в современной теории производственного менеджмента и маркетинга, см., например, [4].

Для каждой стадии жизненного цикла необходимо:

- выявить возможные источники экономического эффекта от внедрения CALS-технологий,



- сформулировать подходы к количественному прогнозированию эффекта от внедрения CALS-технологий,
- на основе объективных оценок выявить условия, в которых внедрение CALS-технологий принесет наибольший экономический эффект.

Факторы эффективности и опыт внедрения с ALS-технологий на предпроизводственных стадиях ЖЦИ авиационной промышленности

Программно-аппаратные средства CALS активно внедряются на предпроизводственных стадиях жизненного цикла авиатехники, таких как стадии рабочего проектирования, испытаний и доводки, технологической подготовки производства. По данным обзорного исследования [7], благодаря внедрению CALS-технологий в авиационной промышленности США были достигнуты следующие результаты:

- сокращение затрат на проектирование — от 10% до 30%;
- сокращение затрат на подготовку технической документации — до 40%;
- сокращение затрат на разработку эксплуатационной документации — до 30%, и т.п.

Снижение затрат на разработку конструкции изделия и технологии его производства — не единственный фактор, определяющий экономическую эффективность внедрения CALS-технологий на стадии проектирования. Более того, не всегда его можно считать решающим. В современных условиях следует обращать внимание не только на удешевление предпроизводственных стадий ЖЦИ, но и на их ускорение. Согласно упомянутым исследованиям [7], внедрение CALS-технологий в авиационной промышленности США позволило сократить длительность разработки изделий на 40...60%. Заметим, что относительное сокращение длительности разработки более существенно, чем относительное сокращение стоимости (10...30%). Безбумажные технологии проектирования изделий, в сочетании с числовым программным управлением (ЧПУ) технологическим оборудованием, позволяют радикально сократить длительность передачи изделия в серийное производство. Помимо сокращения ожидаемой длительности предпроизводственных стадий ЖЦИ, важно и сокращение риска непредвиденного увеличения их длительности. Благодаря внедрению CALS-технологий радикально уменьшается объем необходимых конструктивных изменений, доработок, исправления ошибок, и т.п. По данным исследования [7], в авиационной промышленности США сокращение объема конструктивных изменений при внедрении CALS-технологий составило 23%...73%. В итоге сокращается технический риск срыва заданных сроков разработки и доводки характеристик изделий до заданного уровня.

Рассмотрим подробнее основные инновационные решения, позволяющие реализовать описанные преимущества, и их практическую реализацию на примере ОАО «КнААПО» — передового предприятия российского наукоемкого машиностроения. Прежде всего, к таким решениям относятся:

- параллельный инжиниринг;
- бесчертежные технологии проектирования авиатехники и подготовки ее серийного производства;
- оптимизация управляющих программ для станков с ЧПУ.

Параллельный инжиниринг. Современный подход к постановке на производство опытных партий авиационной техники предполагает выполнение процессов разработки и проектирования одновременно с моделированием процессов изготовления и эксплуатации. На этапе технического проектирования и подготовки производства опытных образцов летательных аппаратов использование CALS-технологий в рамках параллельного инжиниринга при взаимодействии серийного завода с конструкторским бюро позволяет ускорить:

- уточнение принятых на этапе эскизного проекта схем конструктивно-технологического членения, сборки, монтажа бортовых систем, увязки сборочной и контрольной оснастки, отработки и испытаний бортовых систем;
- доработку конструкторской документации с учетом схем производственной кооперации;
- разработку директивных технологических процессов на узловую и агрегатную сборку, монтаж и испытание бортовых систем, изготовление элементов конструкций из новых материалов, изготовления типовых и уникальных деталей;
- разработку маршрутных технологических процессов, уточнения состава, характеристик и затрат на проектирование и изготовление средств технического оснащения;
- технологический анализ электронной конструкторской документации, отработку электронного описания изделия.

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 сократить сроки за счет распараллеливания проектных задач. При параллельном инжиниринге многие проблемы, которые могут возникнуть на более поздних стадиях ЖЦИ, выявляются и решаются на стадии проектирования. Такой подход позволяет улучшить качество изделия, сократить время его разработки и изготовления, уменьшить затраты на постановку производства.

Внедрение бесчертежных технологий. Внедрение бесчертежных технологий на ОАО «КнААПО» позволило перейти к качественно новым методам

проектирования авиационной техники и подготовки производства к ее выпуску. На сегодняшний день база данных ОАО «КнААПО» по всем выпускаемым изделиям содержит более 250000 электронных моделей (ЭМ) деталей и сборок изготавливаемых самолетов. На данный момент более 90% конструкторов и технологов прошли обучение работе в системе твердотельного параметрического моделирования UG NX4, и накопили значительный опыт в работе с электронными моделями и сборками. С помощью системы UG NX4 на ОАО «КнААПО» детали самолета 5-го поколения ПАК ФА (Т-50) и SSJ-100, а также детали производственной оснастки были изготовлены фактически не по чертежам, а по электронным макетам. Положительный опыт изготовления деталей по электронным макетам показал, что сокращаются (в сравнении с чертежной технологией) сроки проведения конструкторских изменений, а также сроки внесения изменений в КД по результатам технологических проработок.

Для автоматизации технологической подготовки механосборочного производства используется система TECHCARD. В ней ведётся создание и редактирование комплектов технологической документации при разработке маршрутно-операционной технологии обработки деталей, паспортов, карт запуска, запросов и др. Система значительно снижает временные затраты на разработку технологической документации и повышает её качество за счет использования встроенных справочников оборудования, материалов, инструмента, операций, переходов и т.д. Для ускорения работы в системе предусмотрены возможности по копированию и использованию прототипов ранее примененных технологических процессов.

Оптимизация управляющих программ для станков с ЧПУ. В производственной деятельности ОАО «КнААПО» широко используется программный комплекс VERICUT компании CGTech — одного из лидеров в области разработки программного обеспечения для производства. VERICUT позволяет выполнить проверку и оптимизацию управляющих программ (УП) для операций 3-х, 4-х и 5-осевой фрезерной, токарной, фрезерно-токарной, сверлильной и электроэрозионной обработки до начала их использования в действующем производстве. Это существенно экономит время и средства на стадии доводки УП, так как позволяет полностью имитировать процесс производства, используя твердотельные модели оборудования, заготовок, деталей, крепежных приспособлений и прочей оснастки, с учетом кинематики станков.

Использование программного комплекса VERICUT позволяет:

- имитировать съём материала с заготовки по УП;
- эмулировать движения исполнительных органов станка при обработке с контролем взаимного столкновения;

- выполнять проверку и сравнение модели, полученной после виртуальной обработки, с электронной моделью конструктора;

- выполнять проверку на «зарезы» и недообработанные зоны;

- анализировать результаты обработки и вносить необходимые коррективы в УП до ее передачи в производственные цеха.

В результате внедрения системы VERICUT на ОАО «КнААПО» повысилось качество новых УП, сократились сроки их внедрения, значительно сократился уровень брака при обработке деталей, повысилась производительность дорогостоящего оборудования, сократились сроки постановки изделий на производство.

На стадии испытаний авиатехники внедрение принципов и технологий CALS позволяет радикально сократить длительность периода испытаний и потребный объем испытательных полетов, по следующим причинам:

1. Появляется возможность организовать оперативную обработку информации, собираемой в полете, в реальном масштабе времени.

2. С помощью средств управления летным экспериментом (УЛЭ, подробнее см. [2]) во время полета можно оперативно изменять полетное задание, что повышает качество получаемой информации и долю зачетных полетов.

3. Облегчается реализация обратной связи между испытательными подразделениями и разработчиками изделий. Как следствие, более оперативно и с меньшими издержками вносятся коррективы в конструкцию изделий по результатам испытаний. Т.е., ускоряется и удешевляется процесс доводки.

Оценка экономической эффективности CALS-технологий на предпроизводственных стадиях ЖЦИ авиационной промышленности

В целом, благодаря применению CALS-технологий на предпроизводственных стадиях ЖЦИ, по оценкам американских авиастроительных компаний, достигается сокращение времени вывода новых изделий на рынок на 25...75% [7]. Как показывает передовой отечественный опыт, полноформатное применение CALS-технологий на ОАО «КнААПО» при освоении производства новых образцов авиационной техники как военного, так и гражданского назначения, основанное на методологии цифрового моделирования, обеспечило сокращение сроков постановки изделий на производство в 2–3 раза по сравнению с традиционными подходами и технологиями. Насколько это эффективно, с экономической точки зрения?

Производитель, представивший свою продукцию на рынках раньше конкурентов, приобретает ряд преимуществ:



- значительный накопленный выпуск позволяет снизить (за счет эффекта обучения) себестоимость производства и дефектность продукции;

- наличие значительного парка изделий в эксплуатации позволяет снизить стоимость их технического обслуживания и ремонта (ТОиР); кроме того, в послепродажном обслуживании, как и в серийном производстве, могут действовать эффекты обучения;

- опыт успешной эксплуатации изделий, раньше представленных на рынке, создает положительную репутацию их производителю, которой новые участники рынка пока не обладают.

Авторитет производителя и опыт успешной эксплуатации его изделий также получают у заказчиков свою экономическую оценку — хотя и неформальную, но не менее важную, по сравнению с количественными показателями эффективности авиатехники.

В результате действия перечисленных выше факторов, даже если новые продукты потенциально более эффективны (т.е., например, могли бы обеспечить меньшую стоимость летного часа, при условии одновременного с конкурентами выхода на рынок), они могут вообще не выйти на рынки, уже занятые конкурентами. Этот эффект называется эффектом блокировки [10]. Из-за наличия сильных эффектов обучения и блокировки радикально возрастает роль т.н. временной конкуренции на рынках авиатехники. Предприятия стремятся вывести свои новые изделия на рынки раньше конкурентов, пусть даже ценой дополнительных затрат на форсирование предпроизводственных стадий ЖЦИ. В военном секторе рынка авиатехники, а также в космической сфере, такая практика является обычной, и даже может не объясняться экономическими причинами, рассмотренными в данной работе.

Сокращение длительности предпроизводственных стадий ЖЦИ и обеспечение лидерства страны в этих областях, как правило, являются абсолютными приоритетами по соображениям обеспечения обороноспособности или национального престижа. В этом случае ускорение НИОКР и технологической подготовки производства (ТПП) за счет внедрения CALS-технологий становится безусловной необходимостью.

Сравнить эффективность достигаемой благодаря CALS экономии средств и времени, затрачиваемых на проектирование изделий и ТПП, можно с помощью простейшей модели временной конкуренции. Рассмотрим условный пример, иллюстрирующий важность сокращения длительности предпроизводственных стадий ЖЦИ.

Компании А и В планируют вывести на рынок широкофюзеляжные дальнемагистральные пассажирские самолеты, принадлежащие к одному классу. При этом общая длительность ЖЦИ с начала рабочего проектирования оценивается в 25 лет, сум-

марный объем спроса на самолеты данного класса прогнозируется на уровне 100 изделий в год, и компания-лидер — фирма А — выводит свой продукт на рынок через 5 лет после начала проектирования. Будучи монополистом, она имеет возможность установить цену на уровне 150 млн. долл. Предположим, что после выхода на рынок конкурирующего изделия обе фирмы поделят рынок поровну и установят одинаковые цены на уровне 120 млн. долл. Важно отметить, что в данном примере не учитывается практически неизбежный проигрыш фирмы В либо в цене, либо в доле рынка, по причине более позднего выхода на рынок. Это означает, что в реальности выводы для компании В будут более пессимистическими по сравнению с полученными в этом чрезвычайно упрощенном примере.

Примем следующие параметры функций затрат. Пусть начальные вложения в каждый проект равны 10 млрд. долл.; удельные материальные затраты на один самолет составляют 50 млн. долл.; удельные трудозатраты на первый экземпляр (в стоимостном выражении) составляют 135 млн. долл. При этом удельные трудозатраты сокращаются на 20% при удвоении накопленного выпуска за счет эффекта обучения. На графиках, приведенных на рис. 1, изображены полученные с помощью предлагаемой упрощенной модели зависимости ожидаемой прибыли обоих конкурентов от длительности предпроизводственных стадий проекта В. При этом объем начальных вложений в каждый проект варьирует в пределах 20% от ожидаемого уровня.

Как показывают расчеты, увеличение длительности предпроизводственных стадий ЖЦИ на 20% (с 5 до 6 лет) приводит к сокращению ожидаемой величины прибыли фирмы В на 2,6 млрд. долл. При этом увеличение начальных вложений в проект В, изначально составлявших 10 млрд. долл., на те же 20% сократило бы прибыль компании ровно на 2 млрд. долл. Если же, например, запаздывание проекта В относительно конкурента составит 10 лет, фирма А сможет получить прибыль в 2,5 раза больше, чем фирма В, и т.д.

Реализация принципов цифрового производства в авиационной промышленности на базе CALS-технологий

В настоящее время идет активная реструктуризация российской аэрокосмической промышленности. Для отраслей, выпускающих сложные изделия с длительным жизненным циклом, в т.ч. для авиационной, обоснована целесообразность постепенного перехода к матричной структуре отрасли, схематично представленной на рис. 2.

В такой структуре отдельные предприятия специализируются либо на выпуске определенных комплектов изделий, либо на финальной сборке

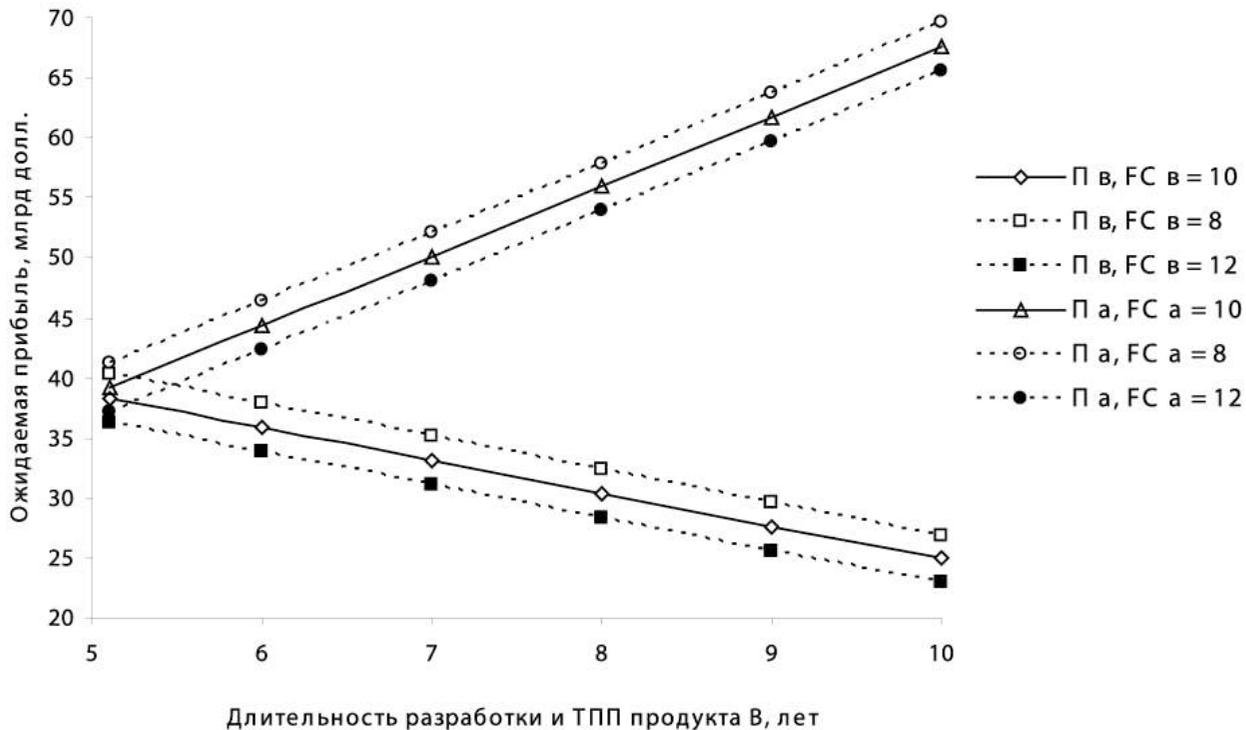


Рис. 1. Зависимость ожидаемой прибыли фирм-конкурентов от длительности предпроизводственных стадий проекта В

или послепродажном обслуживании. Вертикальную интеграцию «вокруг» определенного типа финальных изделий предлагается реализовать в форме «мягких» альянсов (без жесткой интеграции предприятий, снижающей гибкость организационной структуры). В рамках каждого такого альянса реализуются общее управление проектом, маркетинг, послепродажное обслуживание, а комплектующие изделия закупаются на основе субподряда (субконтрактинга). Успешные примеры подобной кооперации известны, например, в зарубежном авиационном двигателестроении. Так, альянс CFM International между компаниями General Electric (США) и Snecma Moteurs (Франция), несмотря на отсутствие формального объединения активов предприятий-участников, разработал и выпустил за первые 10 лет своего существования более 13000 экземпляров авиадвигателей гражданского назначения типа CFM56, который стал лидером в своем классе. В настоящее время в авиационной промышленности развитых стран мира углубляется специализация предприятий, поставляющих отдельные комплектующие изделия и производственные услуги. По существу, ведущие самолетостроительные и двигателестроительные компании мира все больше становятся похожими на описанные «мягкие» альянсы, объединяющие сотни и даже тысячи предприятий-поставщиков. В каждый альянс входят:

- самостоятельные предприятия-поставщики комплектующих изделий и предприятия-подрядчи-

ки, разрабатывающие программное обеспечение, выполняющие финальную сборку изделий, осуществляющие их послепродажное обслуживание, и т.п.;

- головное предприятие альянса, на долю которого остаются преимущественно предпринимательские, а не производственные функции — логистика,



Рис. 2. Перспективная организационная структура отраслей наукоемкого машиностроения



маркетинг, общее управление проектом (в т.ч. системная интеграция продуктов отдельных поставщиков и подрядчиков). Головное предприятие является носителем бренда и несет совокупную ответственность перед организациями, эксплуатирующими изделия, за их качество.

Участников альянса объединяют не столько формальные жесткие связи, сколько общие экономические интересы. В отсутствие жесткой интеграции, состав предприятий-участников альянса может при необходимости гибко изменяться. Такая адаптивная организационная структура получила в экономической литературе и в хозяйственной практике название *виртуального предприятия* [8]*. Виртуальные предприятия включают в себя множество *предприятий-агентов*, выпускающих различные комплектующие изделия, осуществляющих финальную сборку изделий, их техническое обслуживание и ремонт. Агенты виртуального предприятия могут быть расположены по всему миру, могут иметь разнообразные формы собственности, и т.д.

В единый производственный комплекс их объединяет единое информационное пространство (ЕИП), содержащее данные о конструкции изделий, технологиях их производства и ремонта, а также о конфигурации и техническом состоянии каждого выпущенного экземпляра изделий определенного типа. Таким образом, виртуальные производственные объединения функционируют на принципах CALS.

Для предприятий такого типа характерна возможность смены поставщиков отдельных комплектующих изделий и производственных услуг с целью обеспечения низких закупочных цен при поддержании заданного уровня качества комплектующих и услуг.

Виртуальное предприятие постоянно находится в процессе реструктуризации. Повышенная гибкость организационной структуры виртуальных предприятий обеспечивается, прежде всего, организационно-технологическими решениями, позволяющими быстро наладить выпуск комплектующих заданного качества на любом из потенциальных предприятий-поставщиков. Технологии CALS, системы автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированные системы управления научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами (АСУ НИОКР), числовое программное управление работой производственного оборудования, и др. — все эти информационные системы и технологии, по существу, открыли путь к формированию виртуальных предприятий в промышленности развитых стран.

Именно в рамках описанной концепции — кооперации различных предприятий на основе цифровых технологий, т.е. концепции цифрового производства, — реализуются современные проекты

российского авиастроения. Концепция цифрового производства полностью реализована на практике на ОАО «КнААПО» при развертывании серийного производства самолетов SSJ-100 и производства опытной партии самолетов Т-50. Отличительной особенностью постановки производства опытной партии Т-50 является то, что разработка и создание самолетов происходит в кооперации головного исполнителя ОКР — ОАО «ОКБ Сухого» — и головного исполнителя по производству опытных образцов — ОАО «КнААПО». Опытные образцы Т-50 производятся сразу на серийном заводе без опытного макетирования в конструкторском бюро. Параллельное проведение ОКР и подготовки производства позволило значительно сократить сроки до первого вылета Т-50. Подобный тип взаимоотношений между организацией-проектировщиком и предприятием-изготовителем ранее применялся только при постановке производства самолетов SSJ-100 и является инновационным в авиастроительной отрасли России. В настоящее время проект SSJ-100 вошел в стадию серийного производства.

В производственной кооперации составных частей самолета SSJ-100 принимают участие авиационные заводы, территориально расположенные в Комсомольске-на-Амуре, Новосибирске, Воронеже. ОАО «НАПО» выпускает головную, хвостовую части самолета и оперение, ОАО «КнААПО» — отсеки фюзеляжа, центроплан, отъемные части крыла. ОАО «ВАСО» производит навесные агрегаты и обтекатели. Сборка самолетов осуществляется на филиале ЗАО «ГСС» (гражданские самолеты Сухого) в Комсомольске-на-Амуре.

Необходим анализ экономических аспектов организации виртуальных предприятий. Прежде всего, необходимо определить, в каких условиях виртуальные производственные объединения с гибким составом участников эффективнее, чем традиционная для машиностроения жесткая вертикальная интеграция предприятий.

В общем случае, образование виртуальных предприятий предоставляет следующие благоприятные возможности:

- возможность быстрой разработки и освоения серийного производства сложных изделий с использованием ключевых компетенций ведущих специализированных предприятий со всего мира;
- возможность гибкой смены поставщиков с целью удовлетворения динамично изменяющегося спроса на финальные изделия в той или иной конфигурации (т.н. flexible production);
- возможность гибкой смены поставщиков с целью минимизации материальных затрат при заданном уровне качества комплектующих и производственных услуг.

* В зарубежной литературе используется аббревиатура IVE — Industrial Virtual Enterprise.

На стадии серийного производства наиболее существенными являются два последних фактора, которые, в свою очередь, поразному проявляются в различных подотраслях авиационной промышленности.

Эффективность оптимизации закупочной политики авиастроительных предприятий на рынках покупных комплектующих изделий

Даже относительно малое сокращение затрат на закупку комплектующих изделий и производственных услуг, достигаемое за счет гибкой смены поставщиков и подрядчиков, может приводить к значительному повышению прибыли головного предприятия. Рассмотрим упрощенную модель минимизации закупочных затрат за счет гибкой смены агентов. Пусть головному предприятию доступен выбор из $n > 1$ поставщиков комплектующих изделий или производственных услуг данного вида, причем, каждый потенциальный поставщик располагает достаточной производственной мощностью, чтобы полностью удовлетворить потребности головного предприятия в комплектующих изделиях определенного вида, составляющие q единиц в год. Предположим, что отпускные цены поставщиков изменяются независимо случайным образом, причем, принимают высокое значение $p^{выс}$, в среднем, на период $T^{выс}$, а низкое значение $p^{низк}$ — в среднем, на период $T^{низк}$. Периоды повышения и понижения цен чередуются. В рамках такого «ценового» подхода можно моделировать также колебания качества продукции поставщиков и нарушения ритмичности поставок, если этим явлениям удастся сопоставить стоимостную оценку.

Средняя закупочная цена комплектующих или производственных услуг данного вида при закупке у одного и того же поставщика составит

$$\bar{p}^{поставш} = \frac{p^{выс} \cdot T^{выс} + p^{низк} \cdot T^{низк}}{T^{выс} + T^{низк}},$$

а при «идеальной» смене состава агентов (т.е., при закупке по цене $p^{низк}$ всегда, когда это возможно) —

$$\bar{p}^{идеал} = p^{выс} \left(\frac{T^{выс}}{T^{выс} + T^{низк}} \right)^n + p^{низк} \cdot \left[1 - \left(\frac{T^{выс}}{T^{выс} + T^{низк}} \right)^n \right].$$

Однако мгновенная смена агентов без затрат невозможна. Введем следующие показатели гибкости организационной структуры:

$h^{см}$ — единовременные затраты средств на смену поставщика,

$\tau^{см}$ — характерное время, необходимое для смены поставщика.

Оценим суммарные затраты и потери, связанные с каждой сменой поставщика:

$$c^{см} = h^{см} + \tau^{см} \times \Delta p \times q.$$

Годовая частота смены поставщиков $m^{см}$ может быть оценена на основе модели, в которой система

поставщиков представляется в виде замкнутой системы массового обслуживания. Фактическая среднегодовая закупочная цена (при активной стратегии) составит, с учетом потерь на смену поставщиков:

$$\bar{p}^{факт} = \bar{p}^{идеал} + \frac{m^{см} \cdot c^{см}}{q}.$$

Предлагается следующий интегральный показатель эффективности активной смены агентов виртуального предприятия:

$$\gamma = \frac{\bar{p}^{факт} - \bar{p}^{идеал}}{\bar{p}^{поставш} - \bar{p}^{идеал}}.$$

Анализ разработанной модели показывает, что эффективность активного изменения состава агентов повышается, если:

- возрастает относительная амплитуда колебаний цен предложения поставщиков и их характерный период;
- снижаются затраты средств и времени на смену поставщика;
- увеличивается объем закупки комплектующих и услуг.

При этом существуют такие пороговые значения показателей гибкости организационной структуры виртуального предприятия $h^{см}$ и $\tau^{см}$, при которых преимущества виртуального предприятия теряются (т.е., $\gamma \approx 1$), и более предпочтительной становится традиционная жесткая вертикальная интеграция. Таким образом, организации виртуальных производственных объединений в российской авиационной промышленности должно предшествовать, наряду с появлением конкурирующих поставщиков, достижение определенного порогового уровня гибкости хозяйственных связей между предприятиями отрасли. Помимо технологических факторов (внедрение гибкого производственного оборудования, безбумажных технологий информационного обмена, и т.п.), это требует также повышенной адаптивности внутрифирменной среды и системы управления. Включение предприятий в состав виртуальных структур сопряжено с существенными изменениями в менталитете руководства и работников, в методах учета затрат и результатов.

Сокращение времени и стоимости смены поставщиков способно значительно смягчить для виртуального предприятия последствия срыва поставок комплектующих, в т.ч., из-за недобросовестности поставщиков. Это позволяет виртуальному предприятию существовать и устойчиво функционировать даже при наличии контрактных проблем, несмотря на отсутствие жесткого формального закрепления вертикальных связей. Появляется возможность более глубокой интеграции предприятий отрасли в мировое авиастроение без ущерба для экономической безопасности отечественной авиационной промышленности. Также возможность гибкой



смены поставщиков с небольшими транзакционными издержками усиливает конкурентные позиции авиастроительных предприятий на рынке комплектующих изделий и производственных услуг.

Эффективность гибкого удовлетворения индивидуализированного спроса на продукцию авиационной промышленности

Гибкость структуры позволяет виртуальным предприятиям более оперативно реагировать на меняющиеся запросы потребителей, осуществляя, фактически, штучное производство изделий по индивидуальным заказам, оперативную модернизацию конструкций и т.п. Таким образом, достигается качество продукции в современном, расширенном понимании этого термина [3], т.е., удовлетворение индивидуальных запросов различных потребителей.

Экономико-математическое моделирование гибкого изменения конфигурации изделий, выпускаемых виртуальным предприятием, возможно в рамках следующего подхода. Предположим, что финальное изделие может быть поставлено в различных конфигурациях (исполнениях), которые обозначены индексами $k = 0, 1, \dots, l$ в порядке возрастания сложности. При этом $k = 0$ соответствует т.н. *базовой комплектации* изделия – наиболее дешевой и распространенной. Спрос на различные варианты исполнения финальных изделий возникает случайным образом

с вероятностями $f_k, \sum_{k=0}^l f_k = 1$.

Предположим, что клиенты готовы уплатить за финальное изделие, поставленное в срок строго в заданной конфигурации, премию («надбавку за срочность» и индивидуальность заказа). Как известно, изделия в более сложных исполнениях, как правило, имеют и более высокую себестоимость. Поэтому далее под премией подразумевается чистый выигрыш головного предприятия – прирост т.н. маржинальной прибыли, т.е., разности цены и переменных затрат, приходящихся на одно изделие. Также необходимо учитывать, что премия убывает со временем t , прошедшим с момента получения заказа, по известному закону $\Delta p_k(t)$. Убывание премии связано со следующими факторами:

- заказ может быть передан конкурентам;
- срочность исполнения повышает привлекательность изделия для заказчика.

Предположим, что длительность изготовления изделия в k -й комплектации равна $t(k)$. При оценке этой величины необходимо учитывать следующее. Массовое производство изделия в базовой комплектации возможно, в т.ч., и при жестко вертикально интегрированной структуре, в рамках которой реализуется полный цикл выпуска стандартизированных изделий. Но для производства

изделий в индивидуальных конфигурациях головному предприятию необходимо формировать индивидуальный состав агентов, т.е., по существу, уникальное виртуальное объединение. Поэтому $t(k)$ определяется:

- длительностью формирования уникального виртуального объединения для исполнения данного заказа,
- длительностью освоения производства необходимых комплектующих изделий и производственных услуг каждым из предприятий-агентов,
- длительностью поставки заказанных комплектующих изделий для финальной сборки.

Предприятие может выбрать одну из двух альтернативных стратегий:

- вести производство изделий исключительно в базовой комплектации;
- перейти на гибкое удовлетворение индивидуальных заказов, что потребует дополнительных постоянных затрат гибк $\Delta FC_{\text{гибк}}$ на обеспечение гибкости производства.

Последняя величина включает в себя не только затраты на внедрение CALS-технологий, а также гибких производственных систем, но и стоимость поддержания резервных мощностей на предприятиях-агентах, которые должны оперативно исполнять индивидуализированные заказы.

Таким образом, переход к производству изделий по индивидуальным заказам, по сравнению с выпуском изделий в базовой комплектации, приводит к следующему изменению прибыли:

$$\Delta \Pi = q \cdot \sum_{k=0}^l \{f_k \cdot \Delta p_k [t(k)]\} - \Delta FC_{\text{гибк}},$$

где q – суммарный объем выпуска изделий.

Заметим, что описанное изменение прибыли может оказаться отрицательным, если:

- относительно мал спрос на изделия в индивидуальном исполнении – как в натуральном выражении ($f_k \ll f_0, k=1, 2, \dots, l$), так и в стоимостном (т.е. $\Delta p_k(t)$ невелико и быстро убывает со временем);
- мал суммарный объем выпуска изделий q , и/или велики постоянные затраты на обеспечение гибкости производства гибк $\Delta FC_{\text{гибк}}$;
- велики длительности исполнения сложных заказов $\{t(k)\}$;
- велики затраты на переналадку оборудования для исполнения индивидуальных заказов h^{cu} , что сокращает фактический размер премии за индивидуальность исполнения изделий $\Delta p_k(t)$.

Все эти факторы могут привести к тому, что предприятие изберет традиционную стратегию массового производства изделий в базовой комплектации. Однако внедрение CALS-технологий, как было отмечено выше, позволяет существенно сократить время и стоимость смены поставщиков. Существенно меньшие сроки и себестоимости

поставки изделий в сложных конфигурациях позволят формировать виртуальные предприятия для исполнения индивидуальных заказов и, как следствие, — сохранять конкурентоспособность и получать большую прибыль в условиях индивидуализации спроса. В настоящее время рынки авиаперевозок чрезвычайно нестабильны, а потребности авиакомпаний все более разнообразны. Авиакомпании все чаще заинтересованы не только в приобретении воздушных судов в индивидуальных комплектациях, но и в возможности оперативного изменения комплектации в ходе строительства воздушного судна (тем более что исполнение заказов на новые воздушные суда, в силу наличия очереди, может занимать несколько лет). Так, например, по данным компании «Boeing», внедрение принципов CALS позволило сократить срок финальной сборки пассажирского самолета семейства Boeing-737 до 11 суток. Сборка осуществляется из модулей, поставляемых субподрядчиками, расположенными как в США, так и за рубежом. Как отмечает руководство компании, это позволяет наиболее гибко удовлетворять постоянно меняющиеся в условиях изменчивого рынка авиаперевозок запросы авиакомпаний, касающиеся комплектации воздушного судна, компоновки салона, и т.п., и, как следствие, радикально повысить привлекательность и конкурентные качества продукции. Поэтому переход авиастроительных предприятий к гибкому производству может стать настоятельным требованием рынка в XXI веке.

Такие возможности в полной мере реализованы при серийном производстве региональных самолетов SSJ-100 на ОАО «КнААПО». Стыковка отсеков фюзеляжа, изготовленных по электронным моделям на заводах, территориально отдаленных друг от друга, наглядно продемонстрировала правильность одного из базовых принципов, положенных в основу создания SSJ-100, — минимизации количества сборочной оснастки и затрат на ее изготовление. Головные части самолета сразу после прибытия на сборочный завод без какой-либо подрезки контуров обшивки и дополнительной подгонки состыковываются с центральной частью фюзеляжа, полностью обеспечивая требуемую точность аэродинамических поверхностей передней, наиболее ответственной части самолета. Следует подчеркнуть, что никаких металлических макетов стыка, которые обычно сначала изготавливались, а затем длительное время согласовывались между заводами, в концепции производства SSJ-100 не предусмотрено. Вся необходимая информация о зоне стыка получена заводами из единого электронного макета самолета.

Реализация принципов эффективного внедрения CALS-технологий на передовых предприятиях российского авиастроения

В рамках технической реализации принципов CALS в компании «Сухой» продолжаются работы по созданию единого информационного пространства (ЕИП). Первым этапом этой работы явилась организация информационного взаимодействия между разработчиком и производственными площадками за счет развертывания корпоративной системы передачи данных (КСПД) и системы корпоративной электронной почты (СКЭП). Посредством КСПД ОАО «КнААПО» осуществляет обмен конструкторской документацией между партнерами, участвующими в реализации программ.

Следует подчеркнуть, что в ОАО «КнААПО» реализуется стратегия комплексной информатизации производства и управления на всех уровнях. При этом особое внимание уделяется интеграции систем и технологий различных уровней, поскольку это — необходимое условие достижения высокой эффективности информационных технологий. Так, например, материально-техническое снабжение, планирование и управление производством осуществляется в ERP-системе BAAN, в которой организовано централизованное хранение нормативно-справочной информации. При этом система подготовки производства реализована на основе TeamCenter Manufacturing, в которой производится расцеховка состава изделия и автоматическая передача данных о количестве деталей и маршрутах изготовления в ERP-систему BAAN. Также с помощью TeamCenter осуществляется управление данными о средствах технологического оснащения. Управление конструкторскими и технологическими данными осуществляется в системе TeamCenter Engineering.

В целом, предприятие обладает более чем 600 лицензиями на различные программные продукты CAD/CAM/CAE/PLM, в том числе является крупнейшим в России пользователем программных продуктов компании Siemens: TeamCenter, NX, и др. Однако эффективное внедрение информационных технологий не ограничивается лишь приобретением лицензий на самые передовые программные продукты. Важно отметить, что программные средства развиваются не только усилиями компаний-поставщиков, но и работниками самого предприятия. Только в таком интерактивном режиме возможно развитие практически применимых информационных систем на предприятиях наукоемкой промышленности. Фактически, информационные системы и технологии интегрируются во внутреннюю среду предприятия, обогащаются за счет его человеческого капитала. Так, например, функционал комплекса «TeamCenter-NX»



значительно расширен за счет внедрения разработанных специалистами ОАО «КнААПО» различных программных продуктов. Эти программы, как и многие другие, являются интеллектуальной собственностью ОАО «КнААПО». Они обеспечивают повышение уровня автоматизации и производительности труда инженера-конструктора, инженера-технолога при создании электронных моделей в среде TeamCenter/Unigraphics. Разработанное программное обеспечение позволяет снизить трудоемкость работ, повысить качество построения электронных моделей, провести качественный контроль электронных моделей и сборок электронных моделей.

Экономическая эффективность CALS-технологий на стадии эксплуатации изделий аэрокосмической индустрии

Поддержание бесперебойной эксплуатации авиатехники, обеспечение высокой экономической эффективности авиaperевозок и боеготовности военно-воздушных сил требуют развитой системы материально-технического (логистического) обеспечения эксплуатации и ремонта изделий. На стадии эксплуатации авиатехники технологии CALS также предоставляют предприятиям обширные благоприятные возможности. При наличии индивидуального информационного сопровождения эксплуатации каждого изделия, можно прогнозировать моменты съёмов, списаний, ремонтов деталей, узлов и агрегатов. Исходной информацией для такого прогноза может служить план полетов парка авиатехники. Система учета и прогнозирования выработки ресурса должна быть интегрирована в систему материально-технического обеспечения эксплуатации и ремонта авиатехники. На рис. 3 изображена рекомендуемая схема информационных потоков в системе интегрированной логистической поддержки (ИЛП) эксплуатации и ремонта авиатехники.

В результате организации системы ИЛП, функционирующей по предложенной схеме, появляются следующие благоприятные возможности:

- возможно сокращение затрат, связанных с пополнением и поддержанием потребных складских запасов узлов и агрегатов, сменных авиадвигателей, запасных частей, и т.п.;
- возможно сокращение простоев воздушных судов и потерь, связанных с дефицитом сменных авиадвигателей и запасных частей, а также с недостатком мощностей исполнителей ТООиР.

Необходимо отметить, что система ИЛП, функционирующая по предлагаемой схеме, будет работоспособной лишь при условии обеспечения беспрепятственного информационного обмена эксплуатирующихся организаций и поставщиков запчастей в

реальном масштабе времени. Фактически, производитель иногда должен принимать к исполнению заказы на изготовление и поставку запчастей, когда летательный аппарат, нуждающийся в замене деталей или узлов, еще находится в воздухе.

Внедрение ИЛП требует значительных затрат на разработку и внедрение технологической базы и организационное обеспечение.

Поэтому ИЛП эксплуатации и ремонта авиатехники нуждается в научно обоснованной оценке экономической эффективности.

Данная оценка может быть получена из следующих соображений. При отсутствии автоматизированного учета состояния каждого изделия в эксплуатации, точное значение потребности в запчастях — даже для замены деталей, выработавших свой ресурс, — прогнозировать сложно (в силу обширности номенклатуры, и др.). Поэтому с точки зрения складского хозяйства и снабжения все потребные потоки запчастей рассматриваются как случайные процессы. Неопределенная потребность в запчастях для замены деталей, выработавших свой ресурс, требует поддержания дополнительного страхового запаса II (рис. 4), стоимость которого может оказаться сопоставимой с ценой самого изделия.

Прогнозирование выработки ресурса элементов авиадвигателей уменьшает неопределенность потребного потока запчастей, а, страхового запаса. Труднопрогнозируемой остается лишь потребность в запчастях для замены отказавших или поврежденных в эксплуатации деталей. Для покрытия этой потребности служит страховой запас I, (см. рис. 4), а потребность в страховом запасе II отпадает.

Обозначим:

$C_{\min}^{\text{план}}$ — минимальные затраты, связанные с плановыми поставками запчастей (для их оптимизации используется детерминированная модель Уилсона [9]);

$C_{\min}^{\text{страх I}}, C_{\min}^{\text{страх II}}$ — минимальные затраты и потери, связанные с поддержанием страховых запасов I и II, соответственно (для оптимизации их объемов используется однопериодная стохастическая модель управления запасами [9]);

ΔC — прирост затрат, связанных с внедрением и эксплуатацией информационных систем контроля технического состояния и учета выработки ресурса элементов авиатехники.

Тогда интегральным показателем экономической эффективности информационного сопровождения эксплуатации авиатехники можно считать относительное сокращение суммы затрат на поддержание запасов и потерь из-за дефицита запасных частей:

$$\delta = \frac{TC - TC'}{TC} \cdot 100\%,$$

где $TC = C_{\min}^{\text{план}} + C_{\min}^{\text{страх I}} + C_{\min}^{\text{страх II}}$ — сумма затрат и потерь до внедрения системы учета и прогнозирования выработки ресурса,

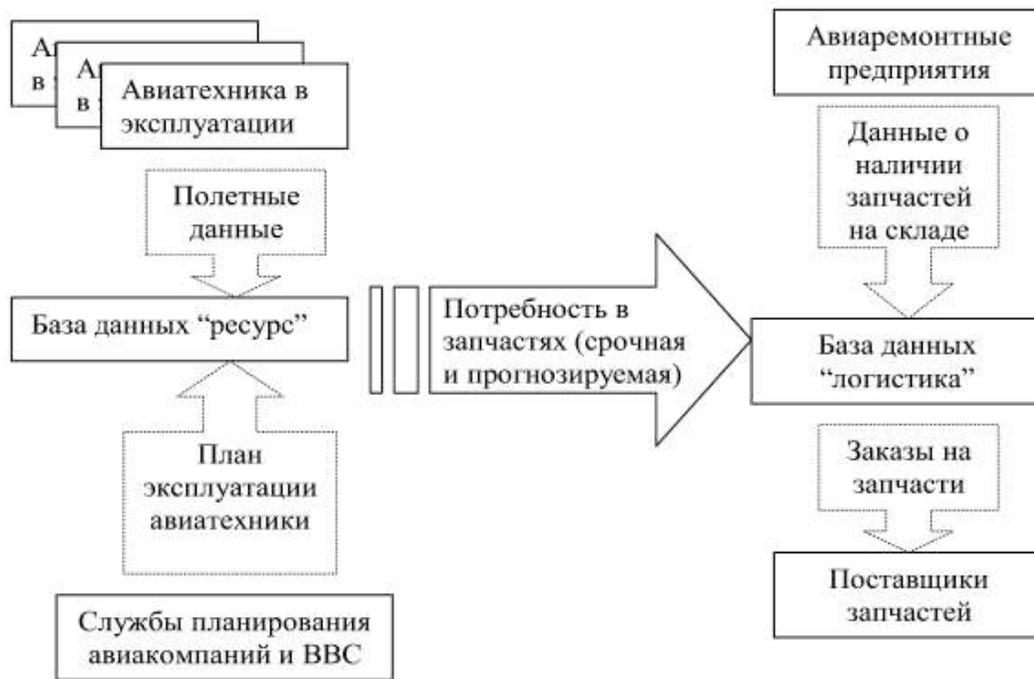


Рис. 3. Рекомендуемая схема информационных потоков в системе ИЛП эксплуатации и ремонта авиатехники



Рис. 4. Структура запасов агрегатов, узлов и запасных частей к авиатехнике

$TC = C_{\min}^{\text{план}} + C_{\min}^{\text{страх}^I} + \Delta C$ — сумма затрат и потерь после внедрения системы учета и прогнозирования выработки ресурса, и устранения страхового запаса II.

Анализ данной модели показывает, что устранение страхового запаса II и соответствующих затрат будет наиболее заметным для современных изделий, обладающих относительно высокой безотказностью и долговечностью. Расчеты показывают, что благодаря более рациональному планированию материально-технического обеспечения, появляется возможность существенно, на десятки процентов, снизить потребный уровень страховых запасов, затрат на их поддержание и потерь из-за простоев авиатехники.

Заключение

Как показал анализ, проведенный выше*, CALS-технологии позволяют оптимизировать бизнес-

процессы на протяжении всего жизненного цикла авиатехники, а значит, снизить:

- длительность предпроизводственных стадий ЖЦИ и риск ее увеличения;
- стоимости всех стадий ЖЦИ, а также риск изменения этих стоимостей.

При этом время выхода новой продукции на рынки, стоимость ЖЦИ и риск ее изменения являются важнейшими показателями конкурентоспособности. Следовательно, внедрение CALS-технологий позволяет, в конечном счете, повысить конкурентоспособность продукции и самих предприятий. Поэтому интегральная оценка экономической эффективности CALS-технологий на всех стадиях ЖЦ продукции авиационной промышленности может быть выражена через интегральные показатели конкурентоспособности продукции и предприятий.

Оценки экономической эффективности CALS на различных стадиях ЖЦИ, приведенные выше, показывают, что лишь эффективное внедрение CALS-технологий позволяет обеспечить конкурентоспособность национальной авиационной промышленности в современных условиях. Соответствующие передовому мировому уровню темпы реализации программы SSJ-100 были достигнуты впервые в отечественной практике благодаря применению современных цифровых технологий. Именно это позволило сократить сроки реализации проекта, обеспечить

* Подробнее, с соответствующими экономико-математическими моделями и проведенными с их помощью расчетами, можно ознакомиться в книге [5].



высокое качество продукции, снизив при этом в полтора раза трудоемкость производства.

Полномасштабное внедрение CALS-технологий на ОАО «КнААПО» позволило объединению стать признанным лидером авиастроения России.

Литература

1. *Авиастроение*: летательные аппараты, двигатели, системы, технологии / под ред. д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки РФ А.Г. Братухина. М.: Машиностроение, 2000. 536 с.

2. *Берестов Л.М., Вид В.И., Мельник В.И.* Управление летным экспериментом / М.: Машиностроение, 1990. 144 с.

3. *Васильев В.А., Каландаришвили Ш.Н., Новиков В.А., Одинокоев С.А.* Управление качеством и сертификация / М.: Интернет инжиниринг, 2002. 416 с.

4. *Деминг Э.* Новая экономика / М.: Эксмо, 2006. 208 с.

5. *Клочков В.В.* CALS-технологии в авиационной промышленности: организационно-экономические аспекты / М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 124 с.

6. *Российская энциклопедия CALS.* Авиационно-космическое машиностроение / под ред. А.Г. Братухина. М.: НИЦ АСК, 2008. 608 с.

7. *Судов Е.В., Левин А.И., Давыдов А.Н., Барабанов В.В.* Концепция развития CALS-технологий в промышленности России / М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2002. 36 с.

8. *Тарасов В.Б.* Предприятия XXI-го века: проблемы проектирования и управления // Автоматизация проектирования, 1998, № 4 (10). С. 45–52.

9. *Экономико-математический энциклопедический словарь* / М.: Большая Российская Энциклопедия, 2003. 688 с.

10. *Arthur Brian W.* Competing Technologies, Increasing Returns and Lock-in by Historical Events // *Economic Journal*, 1989, № 99, pp. 116–131.

11. *CALS* (непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции) в авиастроении / под ред. д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки РФ А.Г. Братухина. М.: Изд-во МАИ, 2002. 304 с.

Расшифровка аббревиатур

- ЖЦ — жизненный цикл;
- НИОКР — научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;
- ЖЦИ — жизненный цикл изделия;
- ЧПУ — числовое программное управление;
- УЛЭ — управление летным экспериментом;
- ТОиР — техническое обслуживание и ремонт;
- ТПП — технологическая подготовка производства;
- ЕИП — единое информационное пространство;
- САПР — система автоматизированного проектирования;
- ИЛП — интегрированная логистическая поддержка.