

## **Концепция знаниеориентированной методологии принятия решений при автоматизации проектирования сборочных приспособлений в самолетостроении**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

Изложены тенденции развития информационных технологий в создании летательных аппаратов и предложена знаниеориентированная методология компьютерной поддержки решений при автоматизированном проектировании сборочных приспособлений (СП) в самолетостроении.

Разработаны логические схемы формирования информационного обеспечения, необходимого при создании СП как этап системного исследования проблемы принятия решений при получении окончательных результатов разработки эталонно-аналитического облика и конструкторского проекта СП. Формальное описание функционирования системы поддержки принятия решений (СППР) при проектировании СП служит математическим обоснованием предложенной концепции знаниеориентированной методологии принятия технологических решений для создания соответствующей интеллектуальной информационной технологии.

**Ключевые слова:** жизненный цикл ЛА, информационные технологии поддержки решений, сборочное производство, сборочное приспособление, базы данных и знаний, знаниеориентированная методология принятия решений.

### **Введение**

Общей тенденцией в развитии современных летательных аппаратов (ЛА), предназначенных для выполнения все возрастающих коммерческих и военно-оборонительных требований, является стремление к обеспечению их повышенной эффективности по основным техническим и экономическим показателям. В первую очередь, это требования к летно-техническим характеристикам ЛА, длительности конструкторской, технологической и организационной подготовки к серийному производству, обеспечению оптимальных трудовых и материальных затрат, достижению высокой производительности на всех этапах жизненного цикла ЛА (рис. 1).

На этапе изучения конъюнктуры и формирования технического задания на проектирование ЛА определяют характеристики назначения и летно-технические параметры ЛА, технические и технологические возможности изготовления, вероятную стоимость ЛА с учетом всех покупных частей.

На этапе проектирования и конструирования ЛА разрабатывают принципиальную схему и рабочую конструкторскую документацию, номенклатуру материалов и комплектующих изделий, требования к качеству изготовления ЛА.

На этапе разработки технологической и организационно-управленческой подготовки производства ЛА определяют и разрабатывают прогрессивные технологические процессы и средства изготовления ЛА; проектируют и изготавливают технологическое и рабочее оснащение, в том числе нестандартное контрольно-испытательное оборудование; разрабатывают и осуществляют организационно-управленческие и финансово-экономические мероприятия по обеспечению выпуска ЛА заданного качества в нужные сроки и в потребном количестве.



Рис. 1. Этапы жизненного цикла ЛА

На этапе опытного производства изготавливают головную партию ЛА для проведения полного комплекса наземных и летных испытаний для принятия решения о серийном производстве ЛА.

На этапе эксплуатации ЛА осуществляют сервисное гарантированное обслуживание, выявляют допущенные недостатки проектирования и изготовления ЛА, проводят необходимые доработки и модернизацию по результатам эксплуатации и требованиям пользователей.

Создание ЛА, превосходящего по своей эффективности существующие, в условиях рыночных отношений и обострившейся конкуренции между основными производителями авиационно-космической техники требует всемерного **сокращения сроков работ на перечисленных пяти этапах** и создания условий как можно **более длительного времени эксплуатации** на шестом этапе до момента утилизации ЛА.

На протяжении длительного времени в мировом авиастроении добивались сокращения сроков подготовки производства новых ЛА путем совмещения во времени отдельных этапов конструкторских работ, разработки директивных технологических материалов до передачи конструкторской документации в серийное производство. При этом эффективны типизация технологических процессов, проектирование и изготовление технологической оснастки параллельно с разработкой рабочих технологических процессов, использование типовых и нормализованных элементов технологической оснастки и др.

Общепризнано, что в последние десятилетия сложилась такая объективная ситуация, когда резервы интенсивного развития существующих технологий проектирования и производства ЛА практически исчерпались. Добиваться сокращения сроков подготовки производства, экономии материальных и трудовых затрат, повышения качества изготовления ЛА традиционными технологическими методами и средствами стало невозможно.

Актуальное значение приобрела проблема комплексной автоматизации интеллектуальных и производственных процессов всех стадий жизненного цикла ЛА.

Основной направленностью научно-исследовательских и практических разработок с конца XX столетия является повсеместный переход к использованию информационных технологий, базирующихся на возможности компьютерного (автоматизированного) проектирования ЛА, технологических процессов их изготовления и технологической оснастки [6, 7, 8, 9, 10, 12, 13]. В настоящее время имеются предпосылки успешного комплексного развития автоматизированных систем проектирования, технологического обеспечения, организации и управления производством ЛА, т.к. созданы объективные условия вложения больших инвестиций в наукоемкие информационные технологии за счет концентрации огромных корпоративных капиталов вследствие консолидации авиапроизводителей и их стремления удовлетворить требования растущего рынка ЛА [11].

Решение проблем оптимизации информационных потоков, эффективное использование накопленной и создаваемой научно-технической и организационно-управленческой информации на различных стадиях жизненного цикла ЛА ведет к сокращению сроков создания ЛА, повышению качества проектирования и изготовления ЛА, снижению затрат на технологическую подготовку производства, повышению конкурентоспособности ЛА и обеспечению рациональной эксплуатации ЛА.

Таким образом, в современных условиях ***вложение инвестиций в развитие информационных технологий является глобальной тенденцией*** корпоративного капитала для решения задач удовлетворения рынка современными ЛА в необходимом количестве, в нужные сроки и с требуемым современным повышенным уровнем качества, отвечающим международным нормам.

## **1. Анализ состояния применения информационных технологий в авиастроении и постановка задачи**

Приведем примеры развития объемов использования информационных технологий на трех главных мировых гигантах авиастроения – компании «Boeng», консорциума «Airbus Industries» (Европа), компании «Lockheed Martin» (США) [11].

Компания «Boeng» главным направлением инвестиций выбрала информационные технологии, используемые в крупнейшем компьютерном проекте DCAC/MAM – управление средствами производства, на которую выделяет ежегодно более 3 млрд долларов. При этом компания сама активно принимает участие в разработке своей системы одновременного и непрерывного функционирования программных пакетов разработчиков: компании «Trilogy» - пакет программ по конфигурации самолета; компании «Baon International» - программы планирования и управления средствами и ресурсами производства (ERP); корпорации «Structural Dynamics Research Corp» - программы управления данными о продукции (PDM) и др.

Консорциум «Airbus Industries» вкладывает в развитие информационных технологий более 2 млрд долларов. Проект, осуществляемый консорциумом (в

него входят «Aerospatiale», «DASA», «BAe», «CASA»), нацелен на реализацию четырех этапов стратегического партнерства в области развития и внедрения информационных технологий: системы CAD/CAM/CAE (разработчик – компания «Paramatic Technology Corp»); системы программного обеспечения CAE (разработчик – корпорация «Mac Neal-Schwengler Corp»); системы программного обеспечения поддержки коммерческой деятельности R/3 (разработчик – компания «SAP»); внедрение дисплеев (разработчик – компания «Hewlett-Packart»).

Компания «Lockheed Martin» свои значительные инвестиции внесла в разработку проекта «Star2000», предусматривавшего программное обеспечение в работе с кадрами и финансами, обеспечение функционирования всех процессов по управлению производством и закупками, замену автономно функционирующих компьютеров на интегрированную компьютерную систему и подключение к единой информационной сети всех пользователей компании. Руководство компании считает, что внедрение новой компьютерной системы может обеспечить сокращение цикла производства самолета на 30 – 40% и увеличить прибыль на 50%.

К сожалению, ни одна из названных фирм не раскрывает секретов о **внутрифирменных системах, выполняющих интеллектуальную компьютеризированную методологию принятия и оценки конструктивно-технологических и организационно-производственных решений**. Методики создания подобных систем, включая базы знаний и данных, являются конфиденциальными, определяющими поведенческий стиль фирмы.

К числу применяемого компьютерного инструментария авиастроителей Украины и России можно отнести компьютерные системы твердотельного проектирования с применением 3D-графики с использованием программы АКС (ТПП КРЕДО, серия T-FLEX, система ТеММа-3D, система КОМПАС). При этом отмечается, что в сравнении с возможностями зарубежных инструментариев CADD5, CATIA, Unigraphics, EUQLID, Pro (Engineer) российские системы не в полной мере обеспечивают решение всех авиастроительных задач, но в силу их меньшей стоимости могут занять достойное место **в применении информационных технологий для решения многих инженерных и организационно-экономических задач в авиастроении, в особенности в области технологической подготовки производства**.

При этом коренным решением повышения эффективности производства ЛА является **комплексная знаниеориентированная система** автоматизированного создания и сопровождения ЛА от момента возникновения идеи о его разработке с новыми качественными и количественными характеристиками и до завершения выполнения им функциональных обязанностей.

Такая система должна состоять из ряда самостоятельных интеллектуальных подсистем, интегрированных в единую систему в соответствии с общепринятой в настоящее время концепцией CALS–технологий и технологий знаний (knowledge technology):

- Подсистема «Создание проектно-конструкторской документации на новый ЛА», в которой по результатам математического моделирования с использованием базы знаний выбирают конструктивные и технологические решения и осуществляют создание **электронного макета** конструкции ЛА. Электронное представление ЛА на экране дисплея создает возможность технологам приступить к разработке технологических процессов и средств технологического оснащения по мере завершения проектирования конструкторами отдельных деталей и узлов, т.е. работать параллельно с конструкторами (согласно одному из основных прин-

ципов CALS – «параллельного инжиниринга»), что позволяет существенно сократить сроки подготовки производства.

- Подсистема «Технологическая подготовка», в которой на основе знание-ориентированного математического моделирования разрабатывают технологии изготовления ЛА, включающие выбор и разработку рабочих технологических процессов и средств технологического оснащения (оборудования и технологических приспособлений), обеспечивающих заданное качество, объемы и сроки изготовления ЛА. Согласно полученной технологической документации создаются необходимые технологические средства оснащения, опытные образцы ЛА для отладки функциональных возможностей всех составных частей ЛА, осуществляются стендовые и летные испытания и делается заключение о серийном производстве ЛА.

- Подсистема «Серийное изготовление ЛА», в которой основное внимание должно быть уделено разработке программ для оборудования с числовым программным управлением для операций изготовления, сборки, стендовых испытаний в автоматическом режиме, обеспечивающих более высокий уровень качества изготовления деталей, сборки частей планера ЛА и более высокую производительность труда. Использование в производственном процессе электронного макета ЛА и его отдельных частей позволяет значительно повысить точность воспроизведения сложных трехмерных поверхностей ЛА, и точность увязки всех контуров может быть получена в сотых долях миллиметра.

Из анализа практики применения известных инструментариев автоматизированного проектирования типа CAD/CAM/CAE следует, что большинство из них (см. таблицу классификации систем [12]) являются схожими по комплексу решаемых задач и довольно широко и эффективно используются в авиастроении, в основном на этапах проектирования и конструирования ЛА [6, 8, 10], а также для подготовки рабочих программ к станкам с числовым программным управлением (ЧПУ) для изготовления деталей ЛА [7, 11, 14].

На фоне этих положительных достижений отмечается явное отставание темпов разработки и объемов применения автоматизированных подсистем на главных этапах технологической подготовки производства, касающихся **автоматизированного проектирования технологических процессов и технологической оснастки**.

Имеющиеся сведения относятся только к использованию автоматизированных подсистем проектирования сравнительно несложных технологических процессов изготовления деталей холодной штамповкой и механической обработкой, а также некоторых видов к ним простой технологической оснастки – инструментальных штампов, прессформ, фрезерных приспособлений [7, 14]. Что же касается сборки конструкций ЛА, то до настоящего времени практически отсутствуют проекты автоматизированного проектирования как технологических процессов сборки (ТПС), так и сборочных приспособлений (СП), на разработку которых традиционными (неавтоматизированными) методами затрачивается огромный интеллектуальный труд технологов и конструкторов на этапе технологической подготовки производства.

Создание систем проектирования ТПС и СП в авиастроении сдерживается отсутствием:

- корректных моделей и методов определения проектных параметров ТПС и СП, адекватных реальным;
- систематизированных электронных баз данных (БД), необходимых для разработки проектов ТПС и СП;

– систем поддержки принятия решений (СППР), позволяющих проектировщику, лицу, принимающему решение (ЛПР) при проектировании сложных технических систем (СТС), сочетать собственные субъективные знания с машинным (компьютерным) анализом объективных баз данных для выработки окончательных проектных выходных результатов.

Решение этих проблем является сложной задачей, требующей для своего разрешения дальнейших научно-технических усилий.

В данной работе содержательно ставится задача разработки общей концепции знаниеориентированной методологии принятия решений при автоматизации проектирования сборочных приспособлений в самолетостроении. Эта задача состоит в создании системы методов информационного обеспечения процессов поддержки принятия конструкторско-технологических решений при проектировании сборочных приспособлений.

## **2. Сборочное производство и создание интеллектуальной системы поддержки решений при автоматизации проектирования сборочных приспособлений**

Сборочное производство, как завершающую стадию изготовления ЛА, следует рассматривать в качестве подсистемы, образующей самостоятельную большую и сложную производственно-технологическую единицу авиационного предприятия. Она характеризуется наличием многообразных (и многовариантных) технологических процессов сборки и технологических средств сборки (в том числе специальных сборочных приспособлений), объединенных организационно на специализированных участках сборки, исходной конструктивно-технологической и нормативно-технической документации, необходимой для ведения производственной деятельности.

В целях формирования принимаемых решений структуру сборочного производства как большой организационно-технологической системы (БОТС) сборки ЛА можно представить в виде совокупности функциональносвязанных компонент:

- производственных участков узловой, агрегатной и общей сборки ЛА;
- технологических процессов, сборочных приспособлений и оборудования для выполнения технологических процессов;
- организации, обеспечения ресурсами и управления технологическим процессом сборки;
- исходной базы данных для разработки рабочих технологических процессов (состав сборочных единиц планера ЛА, принятых методов сборки и схем последовательности сборки);
- рабочей конструкторской документации (чертежи, технические требования и условия на сборку).

Используя системный подход к решению задач исследования и их решения, целесообразно структуру БОТС представить в виде схемы (декомпозиции) иерархических уровней элементов (компонент) системы как относительно самостоятельных.

При этом степень детализации и количества иерархических уровней определяется реальными потребностями исследования. Связи между подсистемами и их элементами (компонентами) в иерархической структуре устанавливаются в соответствии со следующими **принципами построения**:

– **подчинения**, когда один из двух взаимосвязанных компонентов является определяющим в их совместном функционировании;

– **согласования**, когда оба взаимосвязанных компонента (элемента) равноценны в их совместном функционировании.

Применительно к структуре БОТС сборки ЛА иерархическое построение ее структуры и установление структурных связей между ее элементами означает, например, следующую **подчиненность**: невозможно спроектировать сборочные приспособления, не разработав предварительно технологических процессов сборки сборочных единиц. В то же время между элементами «сборочные приспособления» и «оборудование» может быть установлена связь **согласования**.

С учетом изложенного на рис. 2 представлена многоуровневая декомпозиция решаемых задач при реализации организационно-технологической системы сборки ЛА, расчлененной на шесть уровней.

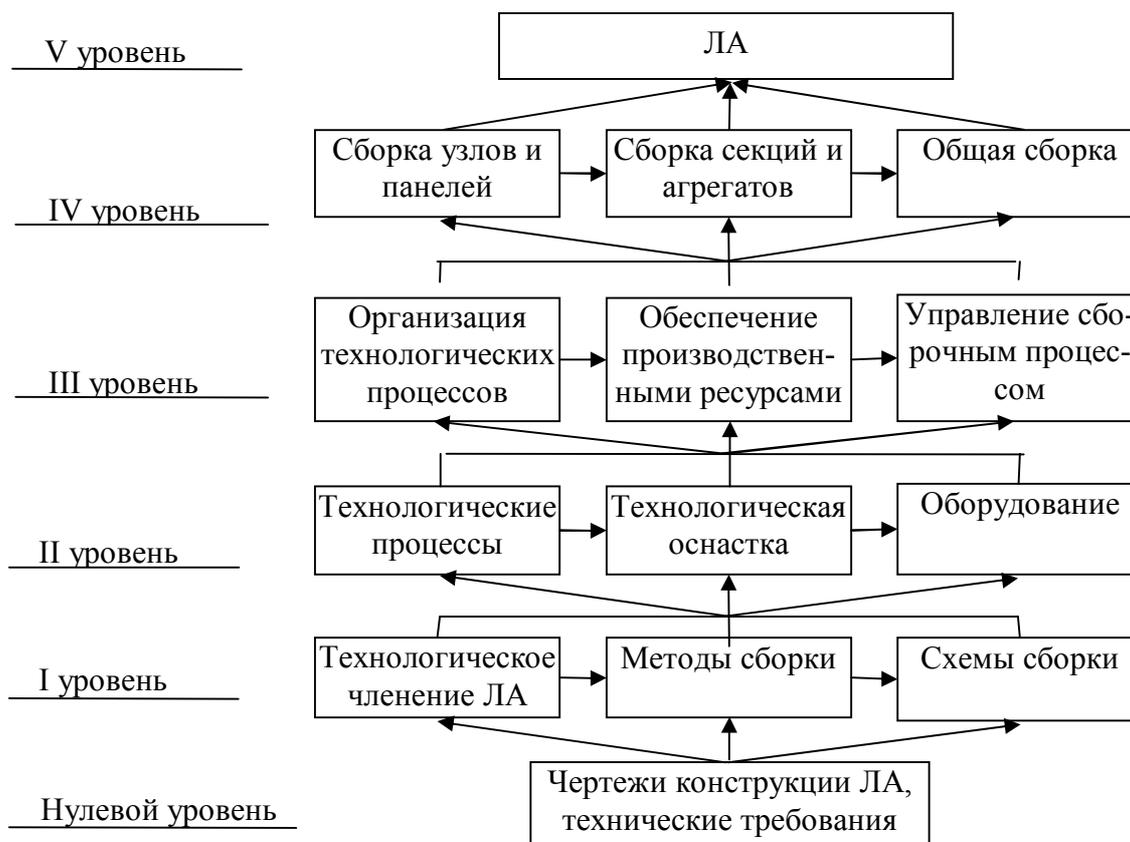


Рис. 2. Многоуровневая декомпозиция решаемых задач в системе «Сборка ЛА»

Нулевой уровень является исходным для технологической подготовки производства и представляет собой комплект конструкторской документации (чертежи, технические требования, условия), полученный на этапе конструкторской подготовки.

Первый уровень завершается разработкой вариантов принципиальных схем сборки ЛА (с учетом располагаемых ресурсов), для формирования которых необходимо решить задачи выбора рационального расчленения планера ЛА на сборочные единицы, исходя из требований уменьшения циклов сборки ЛА и выбора методов сборки, обеспечивающих заданную точность сборки ЛА. Задачи этого

уровня можно отнести к этапу разработки директивных технологических материалов при подготовке к производству нового ЛА.

Второй уровень охватывает решение задач технологической подготовки производства непосредственно на серийном заводе и включает разработку рабочих технологических процессов, проектирование сборочных приспособлений, оснащение сборочного производства необходимым оборудованием. Специфика решения задач этого уровня заключается в необходимости учета серийности выпуска ЛА, масштабов и сроков их изготовления.

Третий уровень характеризуется решением задач организации и управления сборочным процессом и включает выбор организационных форм выполнения технологических процессов сборки, диспетчеризацию и управление ходом производства.

Четвертый уровень характеризуется формированием участков узловой, агрегатной и окончательной сборки ЛА, распределением всех располагаемых ресурсов и реализацией собственно производственного процесса сборки, проверки качества и испытания на функциональную пригодность всех систем ЛА.

Пятый уровень – заключительный, характеризующий достижение цели системы – получение готового ЛА, его летные испытания и эксплуатацию.

При таком построении иерархической структуры системы «Сборка ЛА» **соблюдены основные условия и принципы многоуровневой декомпозиции:**

- наличие вертикальных и горизонтальных связей между уровнями и компонентами;

- приоритетность уровней и компонент по подчинению и согласованию;

- вариантность выбора решения задач каждого уровня.

По степени важности принимаемых решений в системе «Сборка ЛА» с помощью информационных технологий на первое место следует поставить задачи автоматизации разработки технологических процессов сборки и средств оснащения сборочного производства. Эти этапы жизненного цикла ЛА наиболее затратные, т.к. поглощают более 70-80% материальных и трудовых ресурсов на общую подготовку производства, растягивают процесс подготовки производства на многие месяцы и годы.

Самой дорогостоящей стадией технологической подготовки сборочного производства является создание сборочных приспособлений (СП). Следовательно, актуально создание интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) типа «Оснастка», ориентированной на использование информационной технологии знаний.

### **3. Структура и функции ИСППР «Создание сборочного приспособления»**

Каждая компонента всех уровней системы «Сборка ЛА» может, в свою очередь, рассматриваться как относительно самостоятельная подсистема. Так, интересующая нас компонента «Технологическая оснастка», характеризующая создание стапельно-сборочной, контрольно-испытательной и других средств оснащения сборочного производства, может быть выделена в самостоятельную подсистему «Создание сборочных приспособлений». Это позволяет нам построить декомпозиционную структуру ИСППР «Создание сборочного приспособления» как информационную технологию знаний, применяя ранее использованные нами основные условия и принципы многоуровневой декомпозиции.

Сформируем структуру функций ИСППР «Создание сборочного приспособления» из шести уровней декомпозиции знаний о совокупности функционально связанных комплексов компонент подсистемы аналогично основной системе «Сборка ЛА» (рис. 3).

**Приняв сборочное приспособление за конечный завершающий (пятый) уровень**, характеризующий знания о достижении генеральной *цели подсистемы* – создание сборочного приспособления, обеспечивающего заданное качество собираемой в нем сборочной единицы планера ЛА и высокую производительность труда при выполнении технологических операций сборки, определим и скомпонуем элементы нулевого – четвертого уровней.

**Нулевой уровень** является исходным и представляет комплект знаний о компонентах, полученных на этапе разработки директивных материалов (состав сборочных единиц (СЕ), методы сборки, принципиальные схемы базирования и сборки сборочных единиц).

**Первый уровень** завершается разработкой технического задания (ТЗ) на проектирование и конструирование сборочного приспособления, для которого необходимо располагать сведениями нулевого уровня, а также рабочими технологическими процессами сборки, схемами последовательности сборки сборочных единиц (СЕ).

**Второй уровень** характеризуется знаниями о выполнении конструкторских задач проектирования СП: формируются технические предложения; на основе проработки концепций общих схемных решений выполнения ТЗ разрабатывается структурный и эскизный компоновочный облик СП; создаются дополнительные информационные массивы и модели разработки электронно-аналитического проекта СП. Завершается второй уровень техническим проектом СП, в состав которого входят конструкторская 3D-модель СП, 3D-модели составных частей СП, 2D-модели (чертежи); уточняются проектировочные расчеты, формируется и оформляется рабочий проект СП.

**Третий уровень** охватывает знания о задачах организационной и управленческой подготовки к изготовлению и монтажу СП, в состав которых входят: разработка технологических процессов; формирование и организация обеспечения рабочих мест производственными и трудовыми ресурсами (материалами, инструментами, рабочими соответствующей квалификации и др.); формы диспетчеризации и управления процессами изготовления СП.

**Четвертый уровень** характеризуется знаниями о решении задач изготовления СП (обеспечение рабочих мест необходимыми конструкторскими чертежами, картами технологических процессов и другими нормативными документами), выполнением производственного процесса по изготовлению элементов СП: каркаса, базово-фиксирующих устройств и др.

**Пятый уровень** использует знания о задачах сдачи СП в эксплуатацию: монтажа, контроля и испытаний СП, которые выполняются для крупносборочных приспособлений непосредственно на рабочих местах сборочных участков.

В представленной знаниеориентированной модели задач многоуровневой ИСППР «Создание СП» отражены узловые моменты, для решения которых проектировщики (технологи, конструкторы и организаторы производства) должны располагать соответствующей информацией: **нормативной базой данных и интеллектуальной базой знаний.**

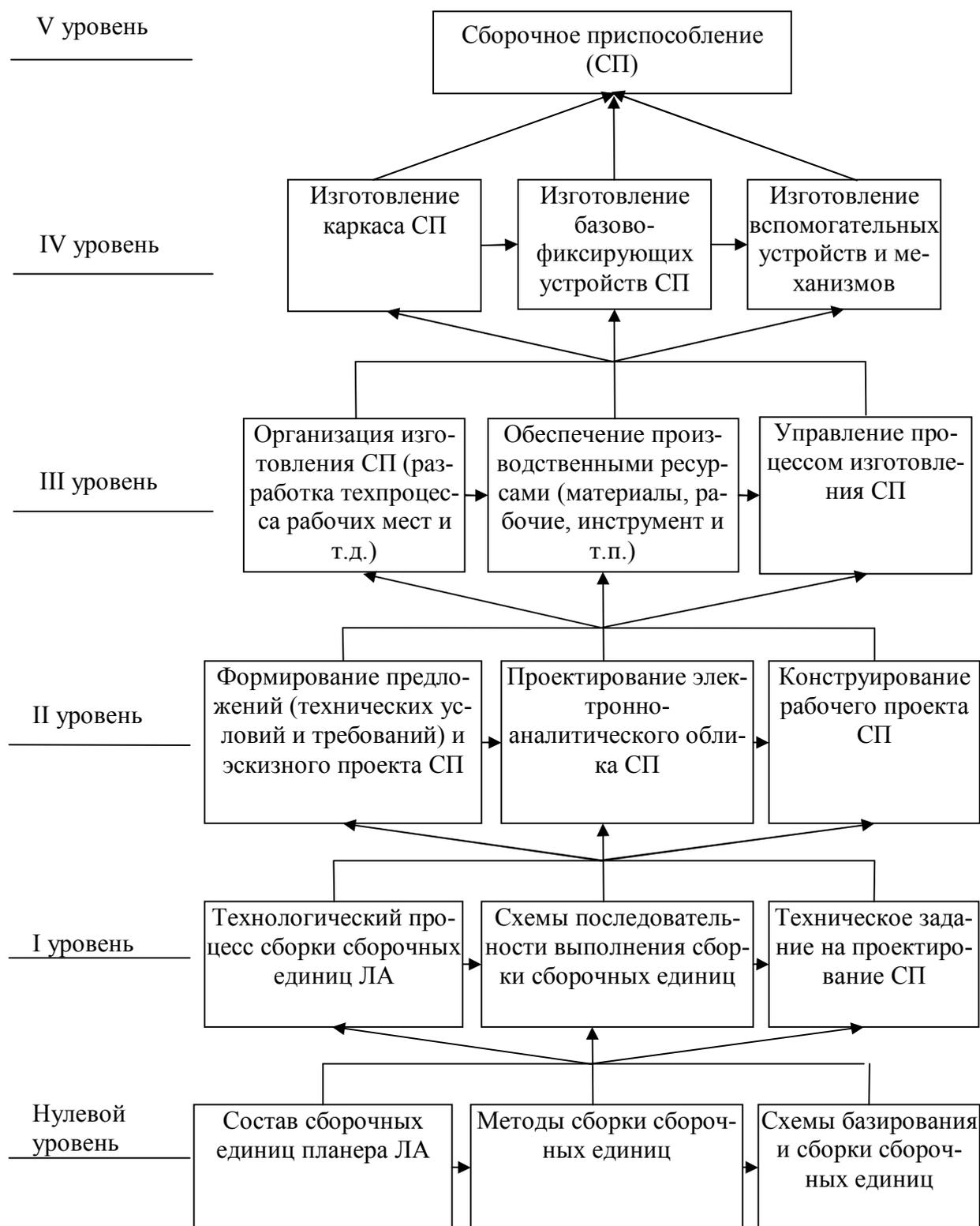


Рис. 3. Многоуровневая декомпозиция знаний о решаемых задачах ИСППР «Создание сборочных приспособлений»

#### 4. Информационное обеспечение в ИСППР «Создание сборочного приспособления»

Из анализа знаний о многоуровневой декомпозиции решаемых задач ИСППР «Создание сборочного приспособления» (см. рис. 3) выделим шесть основных этапов формирования информационного обеспечения, необходимого для принятия решений при разработке процессов проектирования сборочных приспособлений (рис. 4).

**Первый этап** – разработка технического задания (ТЗ) на проектирование СП. Основным разработчиком ТЗ является высококвалифицированный технолог, который формирует исходные данные и разрабатывает ТЗ, используя собственные знания и опыт, нормативную конструкторско-технологическую информацию:

- о специфических особенностях собираемой сборочной единицы (СЕ);
- применяемых в авиапромышленности методах сборки и разработанного на этой основе технологического процесса сборки СЕ;
- способах увязки размеров и форм при переносе их с первоисточников (бумажных или электронных чертежей) на реальные конструктивные объекты (детали СЕ и СП);
- способах достижения требуемой точности сборки и взаимозаменяемости собираемых в СП изделий;
- дополнительные справочно-нормативные материалы (альбомы типовых конструкций СП, производственные аналоги СП, справочные материалы по проектированию и др.).

На схеме (рис. 5) отражены в полном объеме источники информации, на основании анализа которых синтезируются требования, которым должна отвечать и которые обеспечивает будущая конструкция сборочного приспособления. В числе главных требований – достижение заданной геометрической точности собранного изделия и высокой производительности труда.

**Второй этап** – подготовка технических предложений (ТПр) и эскизного проекта (ЭП) сборочного приспособления. Основным исполнителем этого этапа является квалифицированный конструктор по технологической оснастке. Основное назначение этого этапа – разработка принципиальных конструкторских задач по определению конфигурации, состава и функционирования сборочного приспособления и его основных элементов. ТПр и ЭП разрабатываются на основании ТЗ на проектирование и отражают вопросы расположения собираемого объекта в СП (вертикальное, горизонтальное, наклонное), структурный состав СП (вид каркаса, тип базово-фиксирующих устройств, встроенных средств для выполнения сборочных операций и др.), проектные параметры СП (геометрические размеры, силовые нагрузки на элементы конструкций, параметры дополнительных устройств). В эскизном проекте отражается взаимная увязка всех элементов будущей конструкции СП, уточняются графически проектные параметры. Цель разработки ЭП – из числа возможных вариантов сочетаний проектных параметров определить наилучший компоновочный вариант, который позволяет достичь наивысших значений выполнения целевых функций СП по качественным и экономическим показателям. Перечень дополнительных источников исходной информации для разработки ТПр и ЭП приведены на рис. 6.

**Третий этап** – разработка электронно-аналитического проекта СП. Этот этап связан с наиболее теоретически сложной и трудоемкой частью проектирования СП, т. к. требует разработки моделей и методов процессов аналитически-

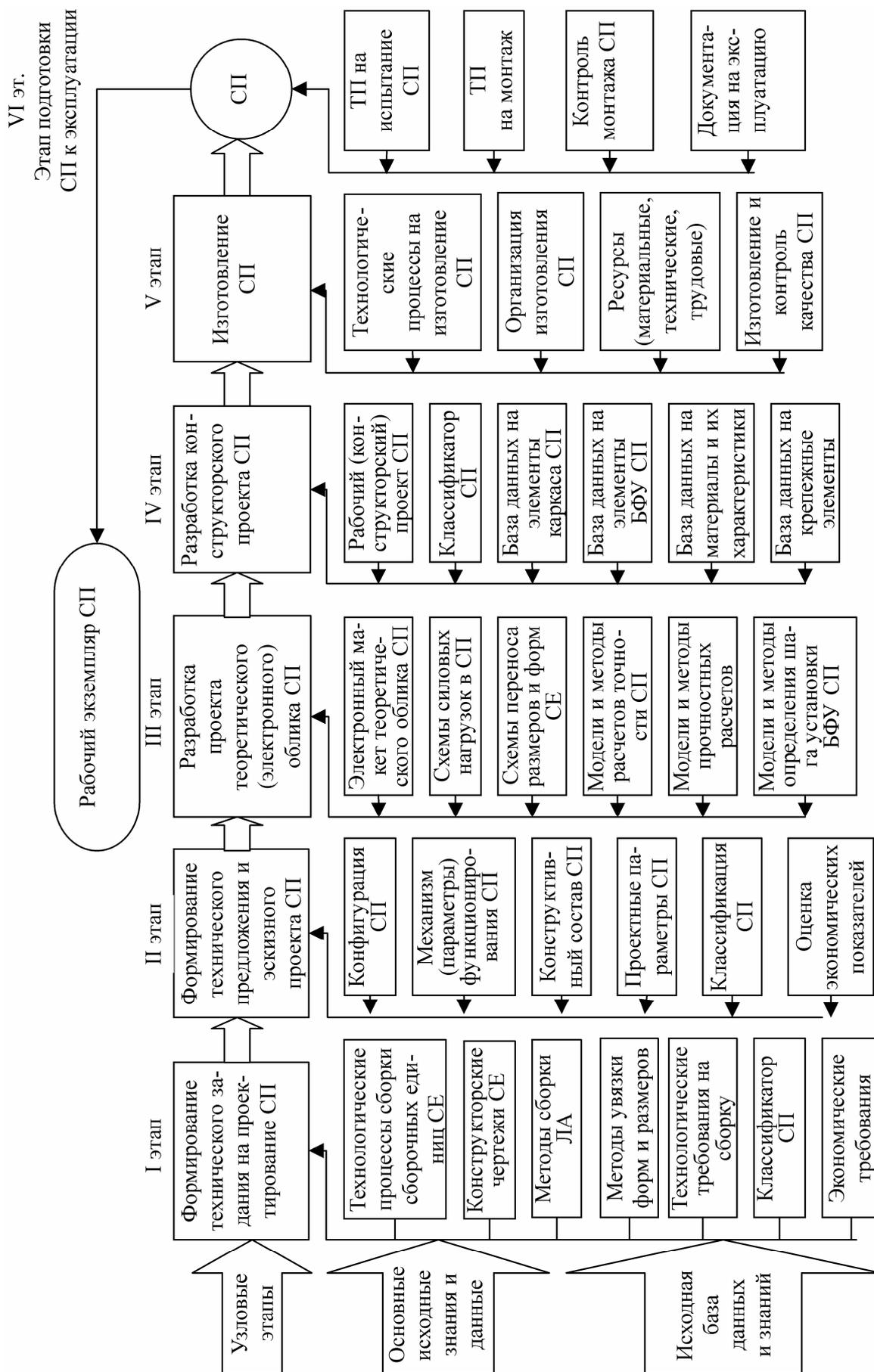


Рис. 4. Схема этапов информационного обеспечения процесса проектирования и изготовления СП

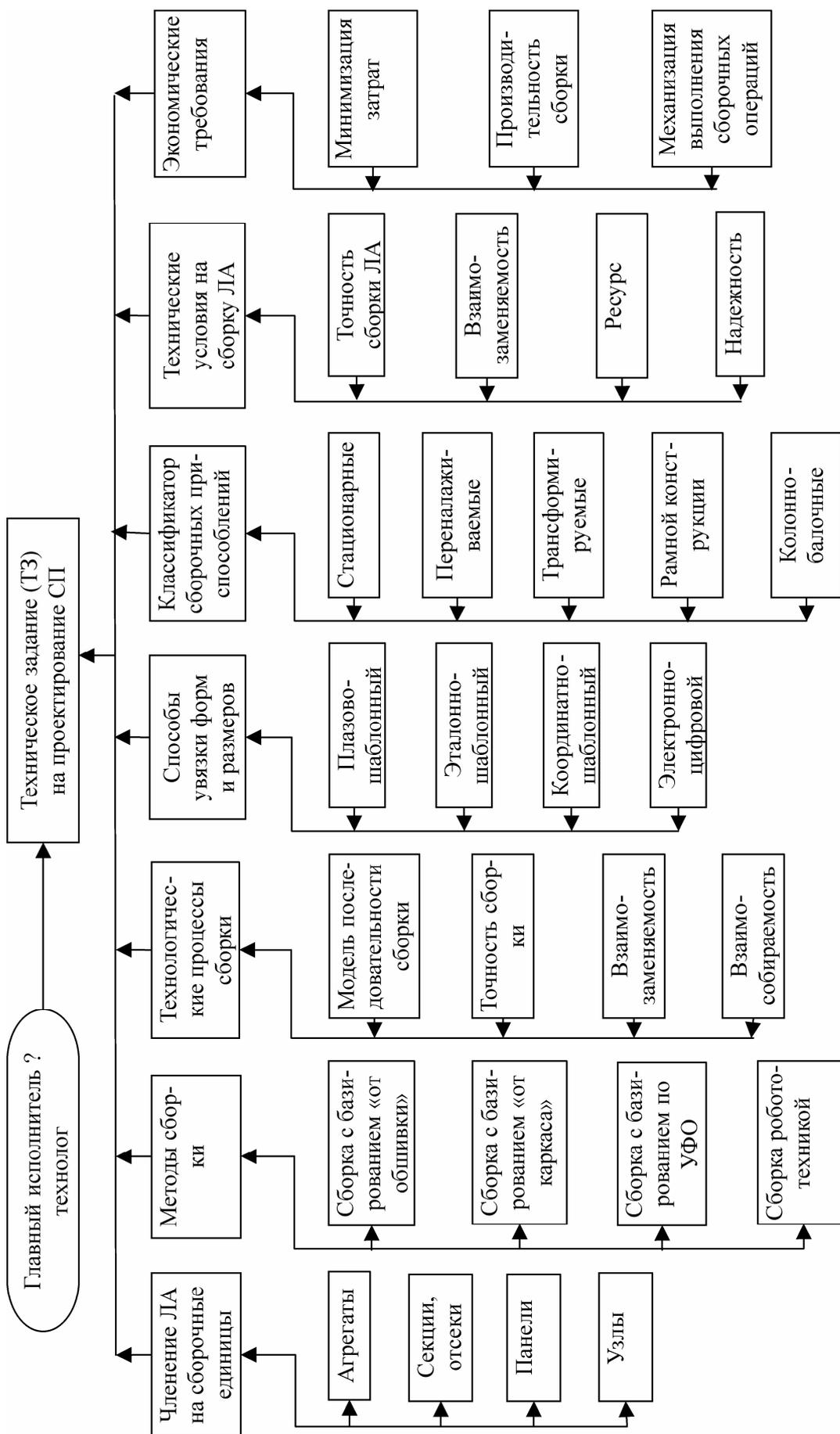


Рис. 5. Схема формирования информационного обеспечения разработки технического задания (ТЗ) на проектирование СП

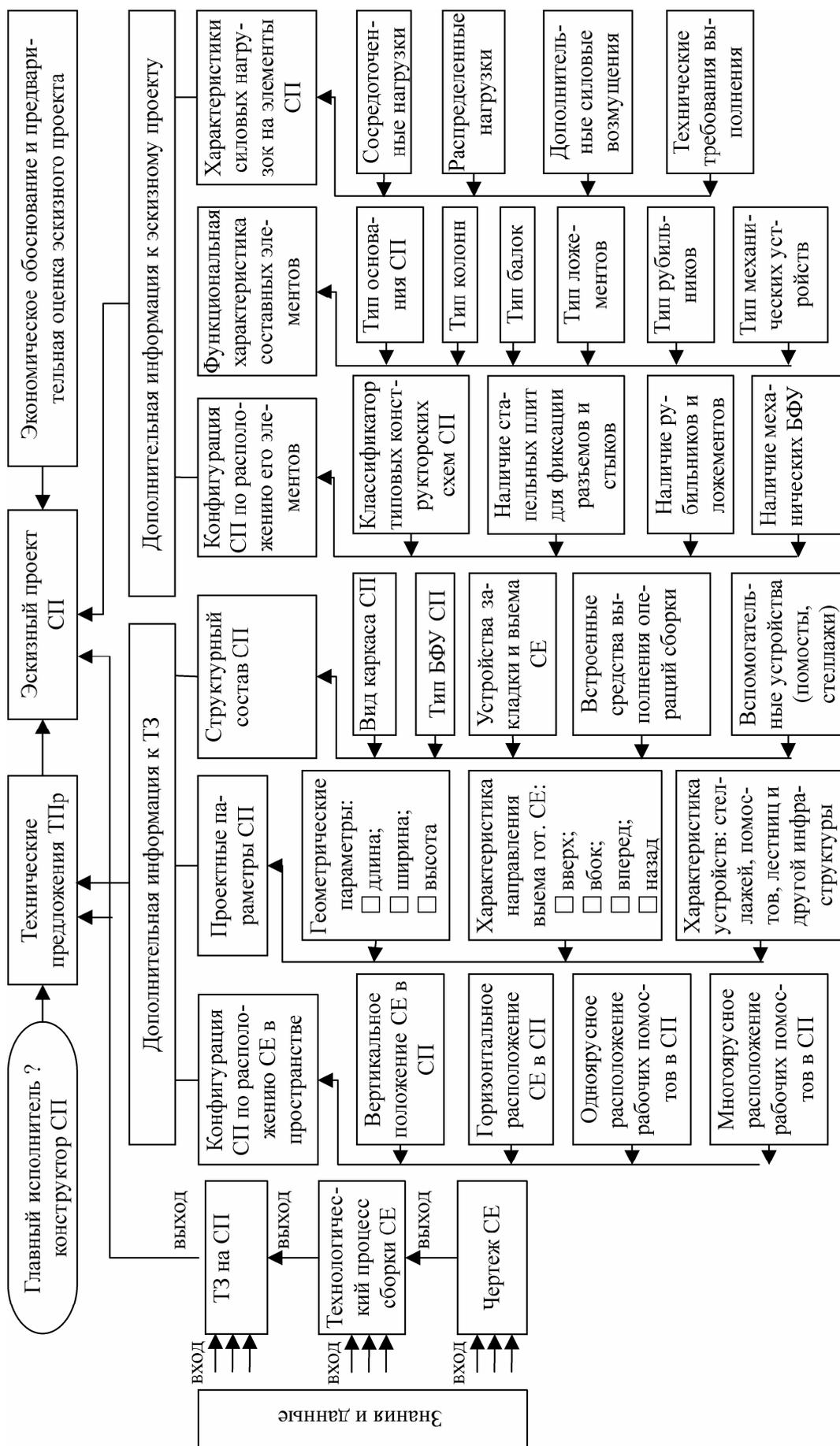


Рис. 6. Схема формирования информационного обеспечения для разработки технического предложения и эскизного проекта СП

расчетных конструктивно-технологических параметров, без которых невозможна разработка конструкторского проекта, а именно:

- определение оптимальных мест расположения и количества базово-фиксирующих устройств СП, обеспечивающих заданную геометрическую точность собираемых объектов; определение характеристик сечений несущих конструкций (балок) СП по деформациям каркаса как многократно статически неопределимой системы, нагруженной внешними силами в процессе сборки;
- определение требуемой точности изготовления и точности увязки базово-фиксирующих устройств, их взаимной геометрической увязки.

Методики определения перечисленных параметров должны быть ориентированы на использование компьютерного инструментария, а решение задач – на применение нормативных и проектно-расчетных баз данных, перечень которых приведен на схеме формирования информационного обеспечения (рис. 7).

Принятие правильных (корректных) конструктивно-технологических решений (КТР) на этапах II и III имеет **высокую цену**, равную стоимости исправления возможно допущенных ошибок или некорректных решений, выявляемых на последующих этапах IV, V, VI разработки конструкторских чертежей и особенно на этапах изготовления СП и эксплуатации.

**Четвертый этап** – разработка конструкторского проекта СП. Этот этап является заключительной частью проектирования, в результате которого создаются рабочие конструкторские чертежи общего вида СП, его отдельных узлов и деталей (рис. 8.).

Приняв за основу эскизный проект и электронно-аналитический облик СП, с учетом требований к функционированию в условиях эксплуатации СП и его составных частей (стационарные, переналаживаемые или трансформируемые) выбирают из числа стандартизованных элементов каркаса и БФУ такие, которые обеспечивают наибольшую производительность при сборке сборочных единиц ЛА и заданное качество (точность и взаимозаменяемость). При этом выбор конструкций элементов каркаса из числа стандартных (или нормализованных) должен подчиняться **принципам экономической целесообразности**: при обязательном выполнении своих функциональных обязанностей, обеспечивающих качество и взаимозаменяемость собранных сборочных единиц ЛА, они должны быть минимальной массы (материалосберегающие) и сравнительно простой конструкции (экономия трудозатрат). В случае технической или технологической необходимости разработки новых конструкций должны соблюдаться вышеуказанные принципы экономической целесообразности. Особое внимание необходимо уделить в конструкции СП вопросам обеспечения: удобства работы в СП; требований санитарных норм и техники безопасности при работе в СП; свободного выема готового изделия из СП и удобной закладки элементов сборочной единицы в СП; подвода к СП электроэнергии или пневмогидравлических энергоносителей.

Достижение целей конструирования СП должно быть экономически эффективным как при проектировании, так и при изготовлении и эксплуатации СП, т.е. осуществляться при минимальных затратах трудовых, временных и материальных ресурсов.

**Заключительные пятый и шестой этапы.** Изготовление СП и подготовка его к эксплуатации в сборочном цехе предприятия также нуждаются в формировании определенного массива исходных информационных баз данных и знаний, обеспечивающих качественное изготовление и монтаж СП (рис. 9). В отличие от традиционных форм и способов изготовления технологической оснастки, при

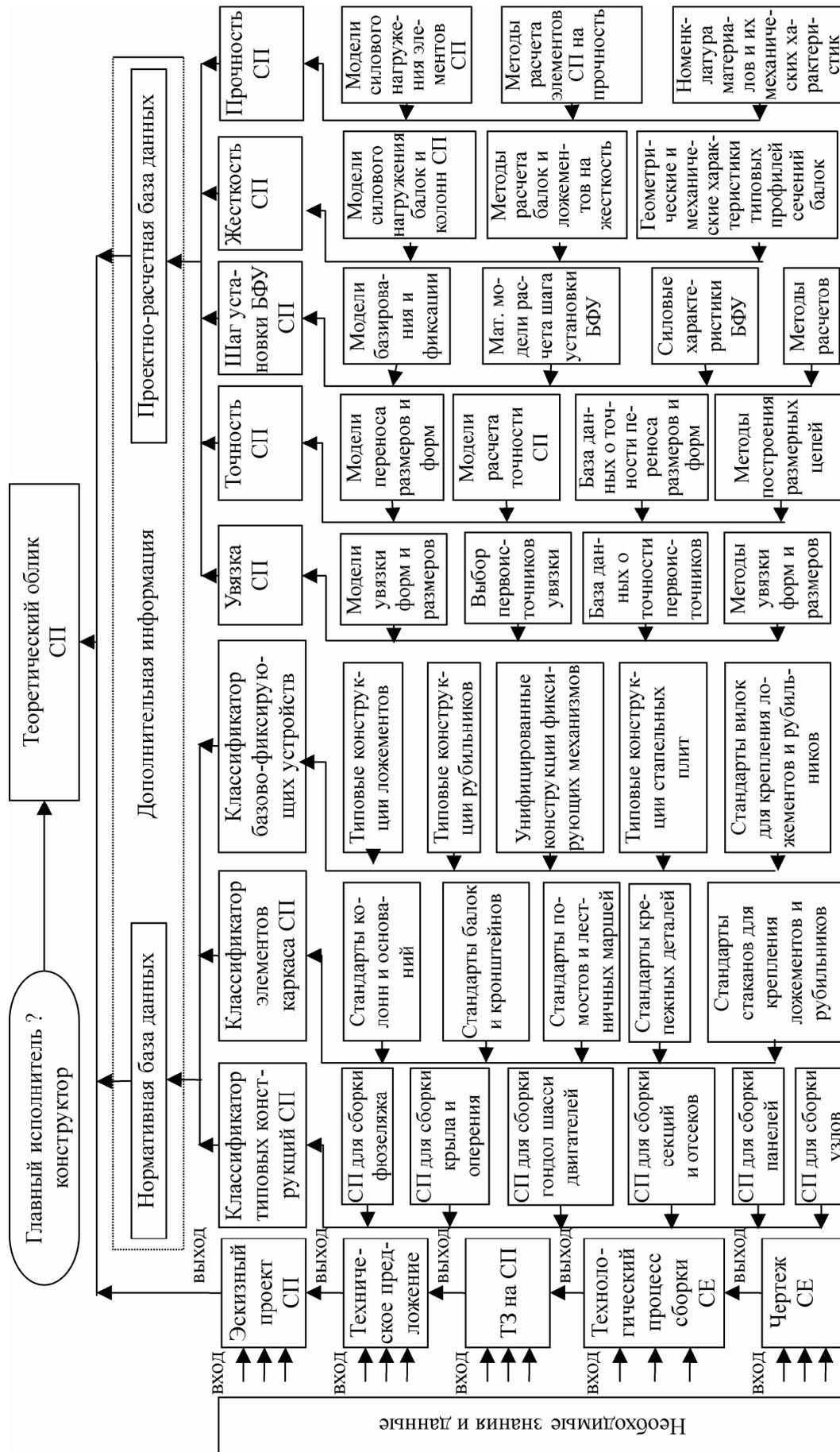


Рис. 7. Схема нормативных и проектно-расчетных баз данных и знаний для разработки проекта теоретического (электронного) облика СП

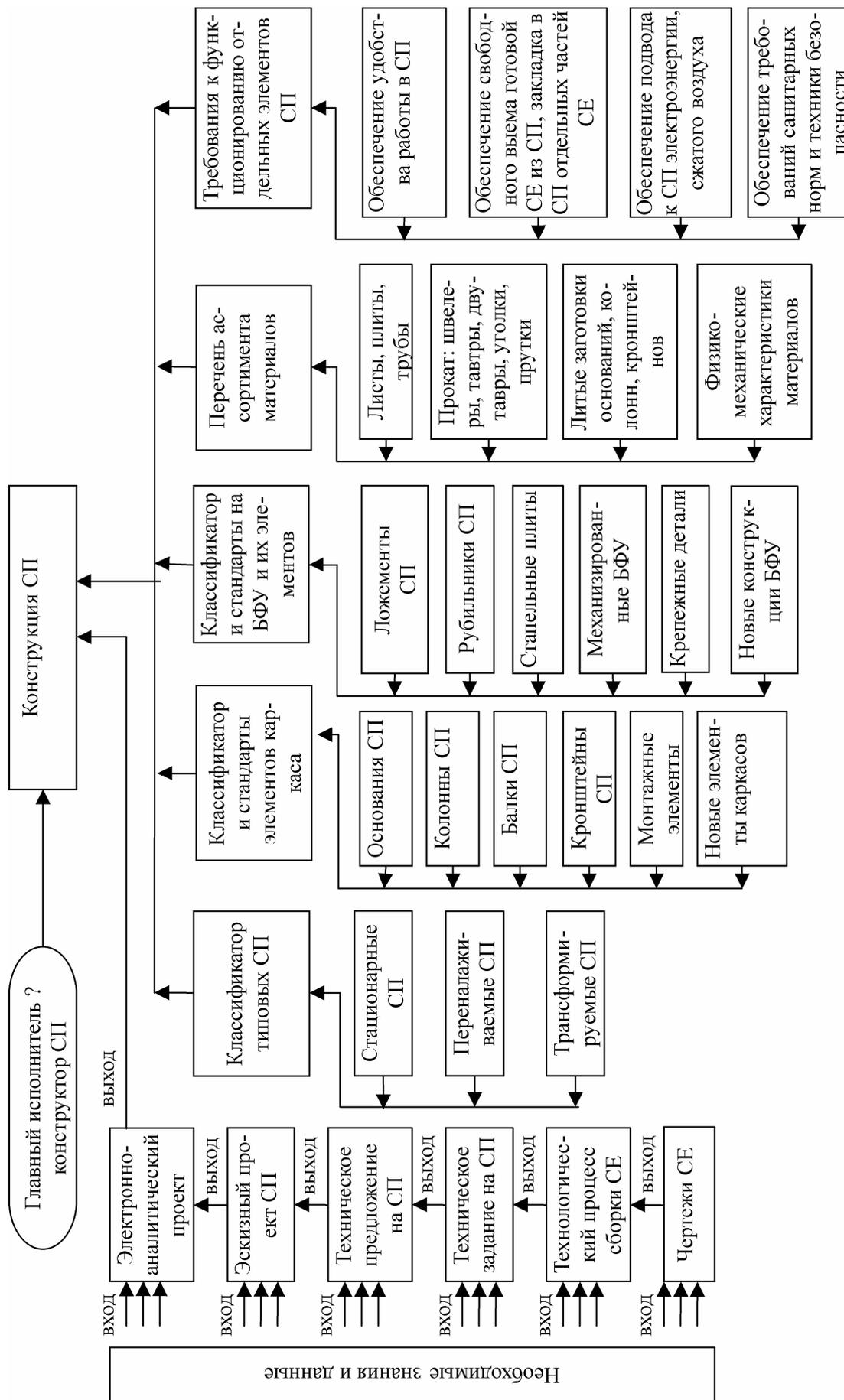


Рис. 8. Схема формирования информационного обеспечения для разработки конструкции СП

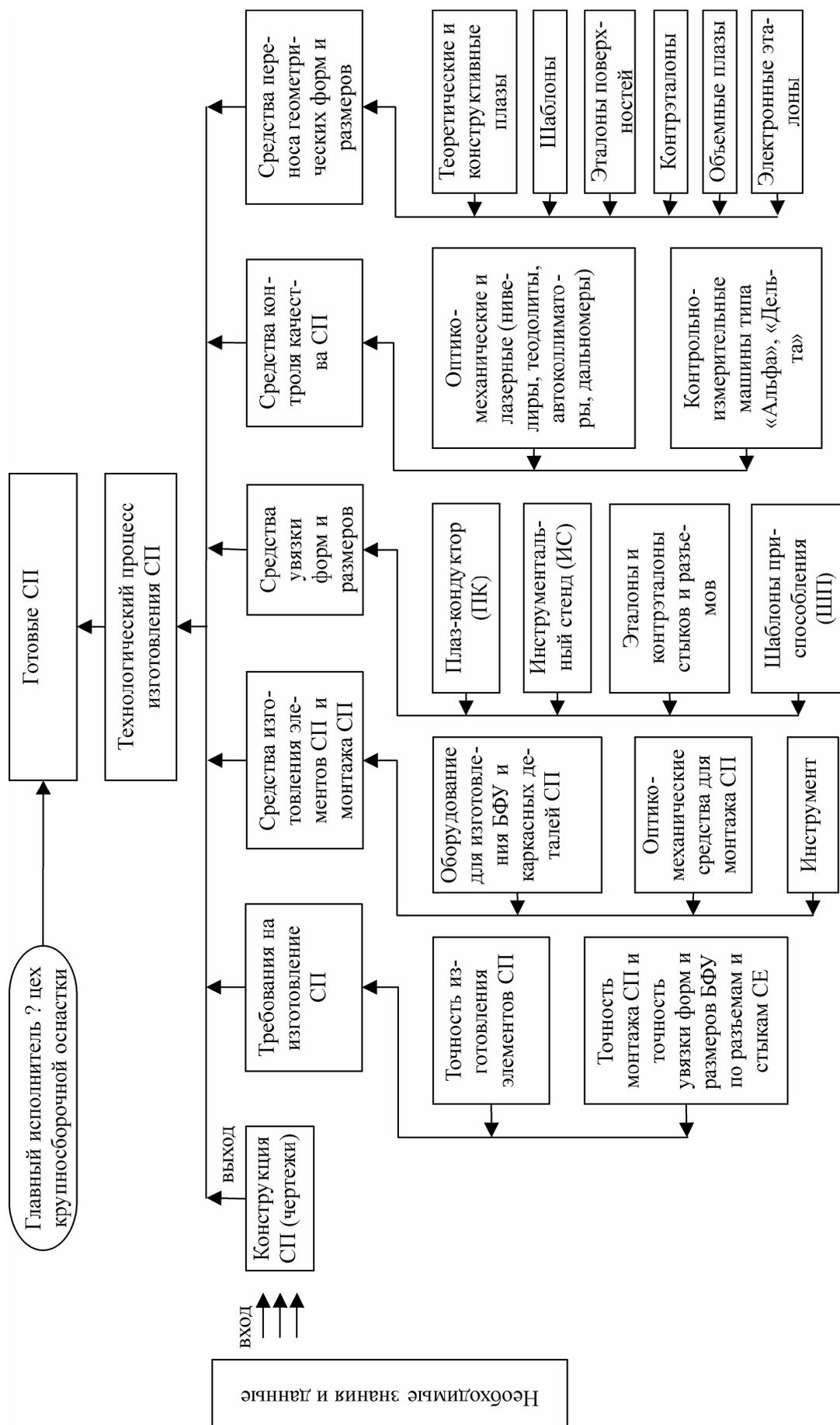


Рис. 9. Схема формирования информационного обеспечения базы данных и знаний для изготовления СП

нятых в машиностроении, известно, что в самолетостроении используются специфические способы переноса геометрических форм и размеров с помощью натуральных плоских плазов, на которые нанесены чертежи летательного аппарата. Информация с плоских плазов переносится копированием на жесткие (металлические) шаблоны, затем – на объемные эталоны и макеты, далее – на технологические корзинки шаблонов и контрэталон, с помощью которых изготавливается рабочая формообразующая и сборочная оснастка для изготовления деталей и сборки летательного аппарата.

Поэтому цех по изготовлению сборочной оснастки должен располагать специфическими средствами для переноса форм и размеров летательного аппарата на элементы сборочной оснастки при их изготовлении и монтаже на каркасах СП: жесткие шаблоны приспособления; плаз-кондуктор; инструментальный стенд; оптико-механические и лазерные установки (нивелиры, автоколлиматоры, лазерные дальномеры, теодолиты, контрольно-измерительные машины и др.)

В последнее время получили применение электронные эталоны деталей, секций, отсеков и полные эталоны ЛА, которые позволяют с помощью станков и установок с числовым программным управлением воспроизводить формы и размеры, минуя жесткие носители (шаблоны, макеты, контрэталон и пр.), что значительно упрощает весь производственный процесс изготовления элементов СП (главным образом БФУ), но по-прежнему оставляет открытым вопрос упрощения монтажных средств (плаз-кондуктора, инструментального стенда, оптико-механических и лазерных установок).

## 5. Графоаналитический способ представления информационных потоков в ИСППР

Как следует из представленных схем формирования массива исходных баз данных и выходных результатов (рис. 5, 6, 7, 8, 9), необходимых для создания СП, их можно объединить в единый **комплексный ориентированный граф** (рис. 10) по функциональному признаку участников процесса проектирования сложной технической системы:

- технологический блок, основными участниками которого являются специалисты-технологи по сборочному производству;
- конструкторский блок, основными участниками которого являются конструкторы по проектированию сборочной оснастки;
- производственный блок, основными участниками которого являются специалисты-производственники по изготовлению и монтажу сборочной оснастки.

Каждый из этих блоков преследует определенные цели и выполняет задачи, результаты которых являются основными выходами блоков:

- 1-й блок – на основе конструкторских чертежей ЛА разрабатывает технологические процессы сборки сборочных единиц планера ЛА и подготавливает для 2<sup>го</sup> блока основной выходной документ – «Техническое задание (ТЗ) на проектирование сборочного приспособления»;
- 2-й блок – на основе ТЗ на проектирование СП разрабатывает «Техническое предложение на проектирование СП», «Эскизный проект СП», «Электронно-аналитический облик СП» и основной выходной документ – «Конструкторский проект СП»;
- 3-й блок – на основе конструкторских чертежей СП разрабатывает «Технологический процесс изготовления и монтажа СП», осуществляет производственный процесс «Изготовление и монтаж СП».

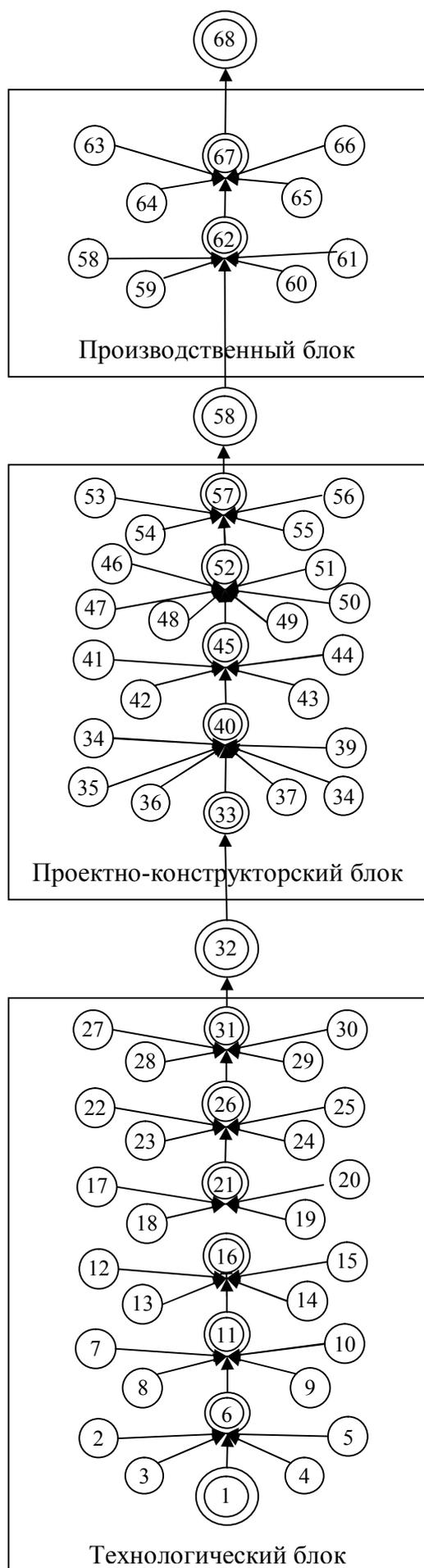


Рис. 10. Схема комплексного ориентированно-информационного графа использования знаний для поддержки решений при создании СП

1 – чертеж сборочной единицы СЕ; 2 – точность СЕ; 3 – взаимозаменяемость СЕ; 4 – собираемость СЕ; 5 – последовательность сборки СЕ; 6 – ТЗ на сборку СЕ; 7 – сборка СЕ «от обшивки»; 8 – сборка «от каркаса»; 9 – сборка по УФО; 10 – сборка робототехникой; 11 – методы сборки СЕ; 12 – ЭШМ; 13 – ШМ; 14 – КШМ; 15 – ЭЦМ; 16 – методы переноса форм и размеров; 17 – стационарные (неизменяемые) СП; 18 – перенастраиваемые СП; 19 – трансформируемые СП; 20 – сборно-разборные СП; 21 – тип СП; 22 – колонно-балочные СП; 23 – ферменные СП; 24 – комбинированные СП; 25 – механизированные СП; 26 – вид СП; 27 – металлоемкость СП; 28 – энергоемкость СП; 29 – производительность СП; 30 – экономические требования к СП; 31 – технологический процесс сборки СЕ; 32 – техническое задание на проектирование СП; 33 – оформление заказа на проектирование СП; 34 – чертежи на СЕ; 35 – технологический процесс сборки СЕ; 36 – конфигурация СП; 37 – проектные параметры СП; 38 – структурный состав СЕ; 39 – оценка принятых решений; 40 – техническое предложение на проектирование СП; 41 – геометрическая конфигурация СП; 42 – функциональные параметры элементов СП; 43 – конструктивные материалы для СП; 44 – оценка эскизного проекта; 45 – эскизный проект СП; 46 – схема (модель) силового нагружения СП; 47 – схема (модель) увязки форм и размеров СП; 48 – геометрическая модель каркаса СП; 49 – геометрическая модель расстановки БФУ СП; 50 – модель размерных цепей и методы расчета точности изготовления СП; 51 – модель и методы расчета прочности и жесткости СП; 52 – электронно-аналитический проект СП; 53 – классификаторы стандартных элементов каркаса СП; 54 – классификаторы стандартных БФУ; 55 – типовые конструкции средств механизации СП; 56 – классификаторы стандартных вспомогательных устройств СП; 57 – конструкторский проект СП; 58 – рабочие чертежи на СП; 59 – требование на изготовление СП; 60 – требования на монтаж СП; 61 – требования на контроль СП; 62 – технологический процесс на СП; 63 – оборудование для изготовления СП; 64 – оснастка для изготовления СП; 65 – средства контроля; 66 – материалы для изготовления СП; 67 – изготовление и монтаж СП; 68 – готовое СП

Внутри блоков каждый из промежуточных выходов обрастает **информационными разнотипными данными**, которыми проектировщик должен пользоваться для принятия обоснованных конструктивно-технологических решений.

Анализ перечисленных информационных массивов исходных баз данных и выходных результатов свидетельствует не только об их **многочисленности и разнотипности**, работа с которыми требует использования арсенала фундаментальных и прикладных наук в области механики, математики, материаловедения, аэродинамики, экономики и др., но и их **частичной неопределенности** (количественной и информативной), требующей привлечения средств математического моделирования и извлечения дополнительных знаний для принятия корректных конструктивно-технологических решений при проектировании сборочных приспособлений. К тому же некоторые исходные данные носят не количественный, а качественный характер, что создает дополнительные трудности поиска **оптимальных** решений.

Известно, что одной из основных трех составляющих частей **инженерного проектирования** (изобретательство, инженерный анализ, принятие решений) **принятие корректных конструктивно-технологических решений** при проектировании сборочных приспособлений означает процесс выбора одной альтернативы из многих по признаку достижения поставленной цели – минимизацию затрат на проектирование и изготовление СП при одновременном обеспечении заданного качества и высокой производительности сборки в нем сборочных единиц ЛА.

В связи с этим процесс поиска оптимальной альтернативы при системном подходе осуществляется на основе принципов: 1) итерационного («пошагового») проектирования и 2) анализа проектных решений на «реализуемость». Суть использования этих принципов состоит в том, что после каждого шага принятия проектных решений по графу (рис. 10) проверяется их соответствие требованиям генеральной цели проектирования СП.

Если решения удовлетворяют требуемым параметрам, то такие проектные решения принимаются корректными («реализуемыми»). Принцип «реализуемости» проверяют либо методом экспертных оценок, когда данных о первоначальном облике проектируемого объекта мало и возможно большое число проектных решений, либо методами системного моделирования – статического и динамического анализа проектных решений на **системных математических моделях** СТС компьютерными средствами.

Следовательно, принятие корректных конструктивно-технологических решений потребовало разработки системных формализованных моделей отдельных элементов проектируемой системы (СП), интеллектуальной структуризации, систематизации и обработки баз данных, для чего необходимы соответствующие компьютерные технологии и средства, а их функционирование должно базироваться на системе (модели) поддержки принятия решений [1, 2, 3, 4, 12], соответствующей специфике проектируемых объектов, в данном случае – сборочных приспособлений для сборки конструкций ЛА.

### Заключение

Предложенная концепция компьютерного проектирования была принята в качестве рабочей стратегии построения системы автоматизированного проектирования сборочных приспособлений в самолетостроении и нашла свое частичное разрешение в разработках [2, 3, 5, 12, 15, 16] для проекта электронно-

аналитического облика СП. Создание электронно-аналитического облика СП выполнялось с помощью информационных технологий и компьютерных средств на основе формализации модели геометрического облика СП, принятия корректных конструктивно-технологических решений путем компьютерной обработки больших массивов нормативных баз данных и специально разрабатываемых баз знаний в процессе проектирования (моделей и методов определения расчетных параметров СП).

Электронно-аналитический проект СП явится основой графической параметризации (интерпретации) геометрических образов отдельных элементов (деталей, узлов каркаса, базовых и фиксирующих устройств, средств соединения их в единое целое) известными и широко апробированными методами компьютерного моделирования [6, 11], что позволит осуществить компьютерными средствами разработку рабочих конструкторских чертежей, провести проверку соответствия рабочего проекта СП заданным техническим условиям. Это также даст возможность выйти на автоматизированные способы изготовления сложных по геометрической конфигурации узлов базово-фиксирующих устройств СП с помощью обрабатывающего оборудования с ЧПУ и тем самым завершить полное автоматизированное создание СП.

### Список литературы

1. Бабушкин А.А. Методологические основания разработки системы автоматизированного проектирования приспособлений для сборки летательных аппаратов / А.А. Бабушкин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ» – 2007. – Вып. 37. – С. 25 - 34.
2. Бабушкин А.А. Обеспечение точности изготовления и точности увязки сборочных приспособлений в авиастроении / А.А. Бабушкин // Вісник Інженерної академії України. – К.: ІАУ, 2008. – Вип. 1. – С. 8 - 11.
3. Бабушкин А.А. Моделирование процесса сборки в сборочных приспособлениях самолетных конструкций / А.А. Бабушкин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2008. – Вып. 40. – С. 70 - 86.
4. Бабушкин А.И. Проблемы экономии затрат и обеспечения точности аэродинамических контуров ЛА на этапе технологической подготовки производства. / А.И. Бабушкин, А.А. Бабушкин // Вісник Інженерної академії України. – К.: ІАУ. – 2008. – Вип. 2. – С. 9 - 13.
5. Бабушкин А.А. Моделирование и алгоритмизация расчетов на прочность и жесткость многоопорных элементов конструкции сборочных приспособлений / А.А. Бабушкин // Вісник Інженерної академії України. – К.: ІАУ. – 2008. – Вип. 3 – 4. – С. 8 – 14.
6. Балабуев П.В. Глобальная информация – прорыв информационных (компьютерных) технологий / П.В. Балабуев // Информационные технологии в наукоемком машиностроении. – К.: Техніка. – 2001. – С. 24 - 63.
7. Крысин В.Н. Технологическая подготовка авиационного производства / В.Н. Крысин – М.: Машиностроение, 1984. – 200 с.
8. Володин В.В. Автоматизация проектирования летательных аппаратов / В.В. Володин. – М.: Машиностроение, 1991. – 256 с.
9. Информационные технологии в наукоемком машиностроении. Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / под ред. А.Г. Братухина. – К.: Техніка, 2001. – 278 с.

10. Егер С.М. Основы автоматизированного проектирования самолетов / С.М. Егер, Н.К. Лиситцев, О.С. Самойлович. – М.: Машиностроение, 1986. – 222 с.
11. Кривов Г.А. Эффективно организованная электронная технологическая среда – основа компьютерного проекта самолета / Г.А. Кривов / Информационные технологии в наукоемком машиностроении. – К.: Техніка, 2001. – С. 337 - 397.
12. Бабушкин А.А. Модели и средства автоматизации проектирования сборочных приспособлений в технологической подготовке производства летательных аппаратов: магистерская диссертация / А.А. Бабушкин. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007.
13. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления / И.Б. Сироджа. – К.: Наук. думка, 2002. – 490 с.
14. Самсонов О. Программно-методический комплекс подготовки производства / О. Самсонов // САПР и графика. – Вып. 1. – 2000. – С. 12 – 15.
15. Сироджа И.Б. Формализация функционирования и управления системой поддержки решений при проектировании стапельно-сборочной оснастки летательных аппаратов / И.Б. Сироджа, А.А. Бабушкин // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Х.: НАКУ «ХАІ». – 2008. – Вип. 4. – С. 75 - 86.
16. Сироджа И.Б. Формализация компьютерной поддержки принятия решений при проектировании стапельно-сборочной оснастки летательных аппаратов. / И.Б. Сироджа, А.А. Бабушкин // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2009. – Вып. 1(58). – С. 89 - 96.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. зав. каф. В.П. Божко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Поступила в редакцию 26.05.09.

## **Концепція знанняорієнтованої методології прийняття рішень при автоматизації проектування збірних пристроїв у літакобудуванні**

Викладено тенденції розвитку інформаційних технологій у створенні літальних апаратів і запропоновано знанняорієнтовану методологію комп'ютерної підтримки рішень при автоматизованому проектуванні складальних пристроїв (СП) у літакобудуванні.

Розроблено логічні схеми формування інформаційного забезпечення, необхідного при створенні СП як етап системного дослідження проблеми прийняття рішень при отриманні результатів розробки еталонно-аналітичного образу конструкторського проекту СП. Формальний опис функціонування системи підтримки прийняття рішень (СППР) при проектуванні СП слугує математичним обґрунтуванням запропонованої концепції знанняорієнтованої методології прийняття технологічних рішень для створення відповідної інтелектуальної інформаційної технології.

**Ключові слова:** життєвий цикл ЛА, інформаційні технології підтримки рішень, складальне виробництво, складальний пристрій, бази даних знань, знанняорієнтована методологія прийняття рішень.

## **The principle of knowledge – oriented methodology of decision solving for automated designing of application in aircraft design**

This article devoted the arising of information technology in designing of supported aircraft. The methodology of computer solving based on knowledge has been created for automated designing of application in aircraft designing.

The logical schemes for designing of the information supporting for creation of technology application has been created.

The logical schemes is a stage of system researches of a decision solving problems for finish results of elaboration of template – analytic image of design project of technology application.

The formal description of the decision solving system is a mathematician supporting of proposed knowledge oriented methodology of technology decision supporting system for supporting related intelinge information technology.

**Keyword:** Life – Circle aircraft, information technology of support decision, aircraft – made application, Data and Knowledge Base, Knowledge oriented methodology of decision solving.