

Методологические основания решения задач
оптимизации сборки летательных аппаратов

В современных условиях создания такой сложной авиационной техники как летательные аппараты (самолеты, вертолеты, космические комплексы и др.) решения задач оптимизации сборки, удовлетворяющих одновременно многим технико-экономическим критериям, невозможно без применения методов и средств автоматизации расчетов и проектирования оптимизационных моделей.

Анализ сборочного производства летательных аппаратов (ЛА), его структур и функций с учетом многообразия собираемых объектов, средств производства, исполнителей, форм организации выполнения технологических процессов и обеспечения качества сборки, движения материальных и других ресурсов в пространстве и времени, взаимосвязанных между собой определенными отношениями и находящихся в противоречивом взаимодействии, свидетельствует о том, что сборочное производство следует рассматривать как большую и сложную систему — систему сборочного производства летательных аппаратов (СПЛА)

Как любая сложная система, сборочное производство ЛА состоит из большого множества компонентов, которые формируются, исходя из их функциональных характеристик и взаимоотношений в процессе функционирования системы в целом. Это позволяет представить систему в виде структуры, удобной для аналитического исследования и синтеза компонентов-подсистем собственно системы и подсистем внешней среды (рис. 1).

Структуру собственно системы (основной системы) сборочного производства можно представить как совокупность функционально связанных производственных комплексов узловой, агрегатной и общей сборки ЛА, рабочих технологических процессов сборки и контроля ка

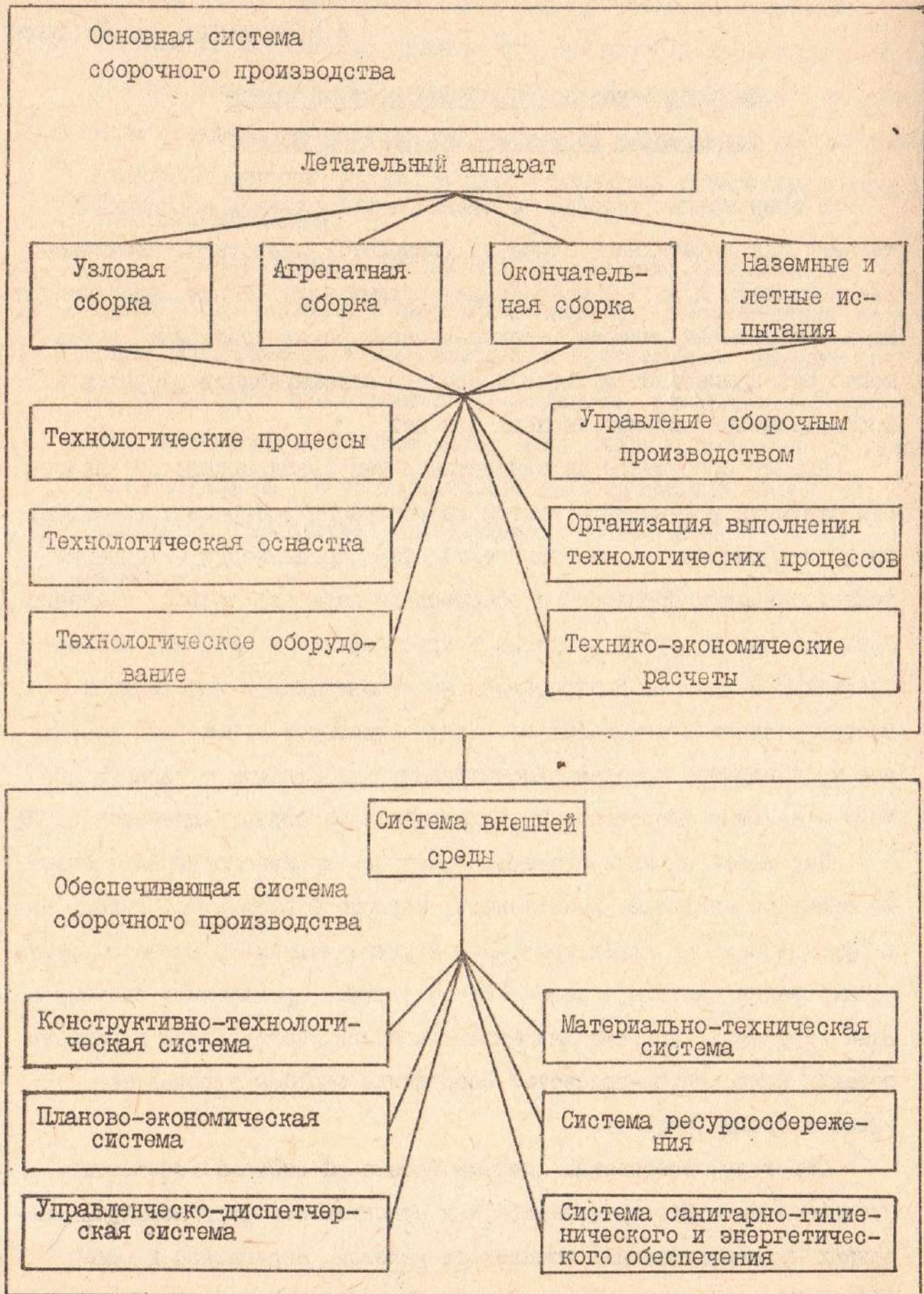


Рис. 1 Структура системы сборочного производства

чества готовых изделий, сборочной и специальной оснастки, оборудования и приборов, а также обеспечивающих комплексов внутри системы: организации выполнения технологических процессов и проверки качества сборки, обеспечения выполнения оперативно-календарных графиков запуска-выпуска изделий, планово-экономических показателей, обеспечение управления сборочным процессом.

Комплекс подсистем внешних компонентов, обеспечивающих и поддерживающих в нормальном функциональном состоянии систему сборочного производства, состоит из совокупности подсистем: изготавливающих и поставляющих на сборку конструктивно и технологически законченные детали и узлы, а также специфированные комплектующие готовые изделия (приборы, установки, системы); разрабатывающих директивную техническую и технологическую документацию, обеспечивающих конструкторской документацией, технологической оснасткой и средствами контроля; поставляющих необходимого качества и количества исполнителей; обеспечивающих заданный уровень санитарно-гигиенических норм на производственных участках и в конторско-бытовых помещениях; обеспечивающих энергетическое и тепловое снабжение, обслуживание зданий и сооружений, поддержание оборудования и технологической оснастки в рабочем состоянии; обеспечивающих планирование и управление сборочным производством.

Основная цель функционирования системы СПЛА - выпуск качественно изготовленных в соответствии с летно-техническими требованиями летательных аппаратов в заданных количествах и сроках, с минимальными затратами трудовых и материальных ресурсов, достигается всем комплексом компонентов как основной системы, так и систем обеспечивающей внешней среды. Любые изменения компонентов (например, изменение качественного и количественного соотношения видов сборки, номенклатуры сборочного оборудования, оснастки, инструмента и т.д.) приводят к изменению качества, количества и себестоимости

мости ЛА, т.е. могут оказать принципиальное воздействие на выходной продукт, ради которого строится и функционирует система.

Совокупность составляющих систему компонентов в их взаимосвязи друг с другом целесообразно представлять в виде схемы иерархических уровней компонентов системы. Это позволяет производить выделение компонентов-подсистем как относительно самостоятельных частей общей большой системы, что является удобным методическим приемом для аналитического исследования и проектирования любой сложной системы, в том числе и организационно-технологической системы СПЛА. При этом степень детализации и количества иерархических уровней общей системы определяется реальными потребностями исследования и создания единой системы. Связи между компонентами-подсистемами в иерархической структуре системы устанавливаются по принципу подчинения, когда один из двух взаимосвязанных компонентов является определяющим в их совместном функционировании, или согласования, когда оба взаимосвязанных компонента равноценны в их совместном функционировании.

Применительно к модели системы СПЛА иерархическое построение ее структуры и установление структурных связей между компонентами означает, например, следующую подчиненность ее технологических компонентов: невозможно определить полный перечень и изготовить технологическую оснастку, не разработав предварительно технологические процессы сборки; любое изменение технологии (например, переход на другой метод сборки) ведет к изменению как состава, так и конструкции сборочной оснастки.

В то же время между такими, например, компонентами системы, как "рабочие технологические процессы" и "организация выполнения технологических процессов" может быть установлена связь согласования.

При выделении из внешней среды определенной совокупности взаимосвязанных частей в качестве обособленной системы, множество не

вошедших в систему объектов образует внешнюю среду, взаимодействующую с выделенной основной системой и оказывающую влияние на изменение состояния основной системы в процессе ее функционирования.

Методологические подходы при решении вопроса о выделении из внешней среды обособленной системы позволяют, в зависимости от формулировки целей и задач исследования, относить те или иные компоненты-подсистемы внешней среды к основной системе. При этом система должна обладать свойством конечности как принципиальной возможности ее практической реализации в оптимальные сроки и с оптимальными затратами потребных ресурсов на ее создание.

В соответствии с поставленной целью и задачами, решаемыми для достижения цели, выделяют те компоненты из общей системы СПЛА, которые существенным образом влияют на оптимизацию сборки ЛА на всех этапах подготовки производства (конструкторской, технологической и организационной) и собственно производства ЛА (организация выполнения сборочных процессов, управление и контроль). При этом для формализации решения задач оптимизации сборки ЛА следует использовать принцип многоуровневой декомпозиции, характеризующейся расчленением процесса проектирования системы на иерархические уровни функционально завершенных этапов решения комплекса подзадач данного уровня (рис. 2).

Первый уровень завершается разработкой вариантов принципиальных схем сборки, для формирования которых необходимо решить задачи выбора технологического расчленения ЛА на сборочные единицы, методов сборки и достижения точности сборки сборочных единиц и их взаимозаменяемости в комплексе ЛА, последовательности сборки с учетом располагаемых ресурсов и их разновидностей. Задачи этого уровня можно условно отнести к этапу разработки директивных технологических материалов при подготовке к производству нового ЛА.

Второй уровень охватывает решение задач технологической под-

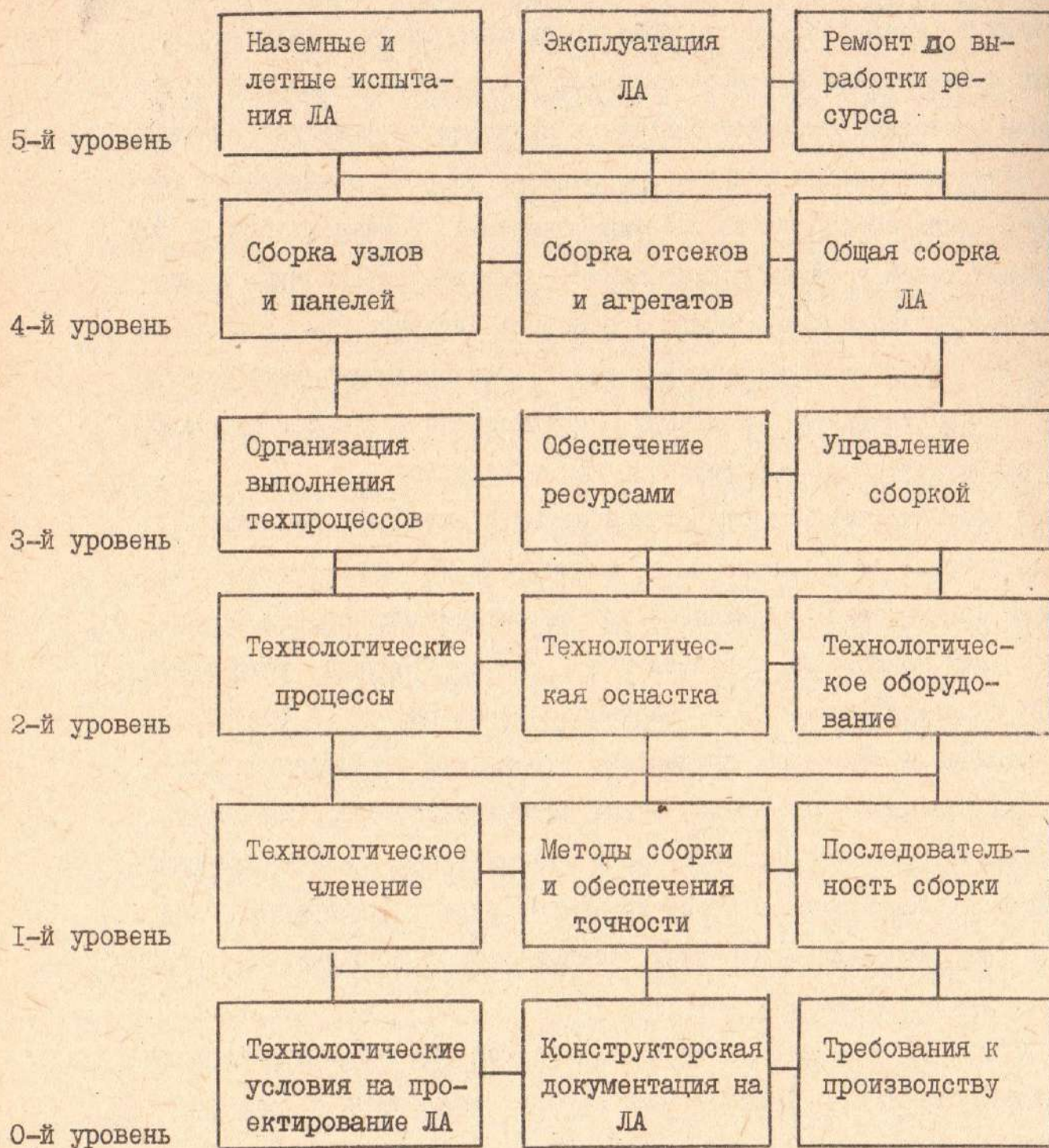


Рис. 2. Многоуровневая декомпозиция задач оптимизации сборки ЛА

готовки производства на серийном заводе и включает этапы инженерно-технических решений по разработке технологических процессов сборки, оснащения сборочного производства технологической оснасткой и оборудованием, в том числе и нестандартным. Специфика решения задач второго уровня заключается в необходимости учета серийности выпуска ЛА, масштабов и сроков их изготовления.

Третий уровень характеризуется решением задач организации и управления сборки ЛА и включает выбор организационных форм сборочного производства, организацию выполнения технологических процессов сборки, диспетчеризацию и управление ходом производства на сборочных местах. Решение задач этого уровня можно условно отнести к этапу разработки организационной подготовки производства.

Четвертый уровень - задачи организации собственно сборочного производства: формирование и функционирование участков узловой, агрегатной и общей сборки ЛА. В результате реализации производственного процесса на указанных участках сборки, проверки его качества и испытания всех систем ЛА достигается окончательный результат - готовый ЛА.

К высшему пятому уровню системы отнесены задачи наземных и летных испытаний ЛА, эксплуатации и ремонтов ЛА до момента выработки ресурса.

Исходный, нулевой уровень - это проектирование и отработка конструкторской документации, технических требований к качеству их исполнения в производственных и эксплуатирующих подразделениях.

При таком построении иерархической структуры системы СИЛА соблюдены основные принципы многоуровневой декомпозиции: наличие вертикальных и горизонтальных связей между уровнями и этапами; приоритетность действия уровней и этапов сверху до низу; взаимозависимость между уровнями; вариантность выбора и решения задач каждого уровня.

Обязательным свойством системы является наличие у нее цели функционирования, для достижения которой все компоненты системы решают свои задачи целенаправленно, находясь в определенных взаимосвязях и согласованности в действиях.

Функция системы СПЛА заключается в обеспечении сборки летательных аппаратов заданного качества и в заданные сроки. Особыми условиями выполнения функции системы СПЛА является требование получения максимальной эффективности сборки ЛА в условиях их серийного производства.

Форму описания функции формализованно можно представить в виде трех составляющих:

$$F = f(A, B, C), \quad (1)$$

где А — обозначает действие системы (компонента), приводящее к желаемому результату;

В — указание объекта, на который направлено действие;

С — формулировка особых условий и ограничений, при которых выполняется действие системы (компонентов).

Исходя из этой формы представления функции, для системы СПЛА функцией может быть следующее описание:

Сборочное производство ЛА (Φ_{CO}) = сборка (А) летательного аппарата (В) при оптимизированных организационно-технических параметрах в условиях серийного производства (С).

При этом условием оптимальности всей системы является оптимальная совместимость ее подсистем или параметров сборки ЛА, что можно представить в виде:

$$M_c = \prod_{i=1}^n M_i (i=1, \dots, n) \rightarrow \max, \quad (2)$$

где M_c — мощность пересечения множеств параметров совместимых подсистем;

M — множества значений параметров отдельных подсистем.

Обязательным свойством системы является наличие у нее цели функционирования, для достижения которой все компоненты системы решают свои задачи целенаправленно, находясь в определенных взаимосвязях и согласованности в действиях.

Функция системы СПЛА заключается в обеспечении сборки летательных аппаратов заданного качества и в заданные сроки. Особыми условиями выполнения функции системы СПЛА является требование получения максимальной эффективности сборки ЛА в условиях их серийного производства.

Форму описания функции формализованно можно представить в виде трех составляющих:

$$F = f(A, B, C), \quad (I)$$

где А — обозначает действие системы (компонента), приводящее к желаемому результату;

В — указание объекта, на который направлено действие;

С — формулировка особых условий и ограничений, при которых выполняется действие системы (компонентов).

Исходя из этой формы представления функции, для системы СПЛА функцией может быть следующее описание:

Сборочное производство ЛА (Φ_{CO}) = сборка (А) летательного аппарата (В) при оптимизированных организационно-технических параметрах в условиях серийного производства (С).

При этом условием оптимальности всей системы является оптимальная совместимость ее подсистем или параметров сборки ЛА, что можно представить в виде:

$$M_c = \prod_{i=1}^n M_i (i=1, \dots, n) \rightarrow \max, \quad (2)$$

где M_c — мощность пересечения множеств параметров совместимых подсистем;

M — множества значений параметров отдельных подсистем.

Каждый компонент системы также определяется своей функцией. Функция компонентов системы зависит как от собственных свойств компонента, так и от его связей с другими компонентами.

Следовательно для решения оптимизационных задач в сложных системах необходимо:

1. Разработать корректную модель объекта оптимизации, т.е. такую модель, которая в должной мере была бы адекватна реальному объекту и удобной для математической обработки.
2. Указать области определения или существования модели, т.е. всех ограничений, которые требуют своего учета.
3. Установить критерии оптимальности (или сформулировать целевую функцию), которые являются правилами выбора предпочтительного варианта решения задач.

Методологической основой разработки корректных моделей объекта оптимизации является развитие и широкое применение методов математического моделирования, сущность которого заключается в том, что исследуемый реальный объект (компонент системы или система в целом) заменяется математической моделью. Преимущество математической модели — возможность изучения ее и экспериментирования с помощью вычислительных алгоритмов и программ на ЭВМ.

Вычислительный эксперимент (а не натуральный) многократно уменьшает материальные и трудовые затраты, значительно ускоряет процессы получения достоверной информации о качественных и количественных параметрах реальной модели.

Поэтому рекомендуемыми моделями применительно к системе СПЛА с учетом особенностей решаемых задач оптимизации сборки ЛА могут быть теоретико-множественные, лексикографические и аналитические модели, использующие теории множеств, графов, матлогики, матанализа и матпрограммирования.

Так как процесс оптимизации с использованием моделей следу-

ет рассматривать как способ отыскания наилучшего решения для реальной системы без непосредственного экспериментирования с самой системой, то требование корректности модели объекта оптимизации означает, что при формировании модели следует учитывать важнейшие параметры системы, не перегружая ее менее существенными. Однако при этом следует иметь в виду, что теряется степень адекватности модели реально существующей системы и соответствие, качество модели можно оценить лишь путем сопоставления результатов, полученных на модели и в реальной системе.

Схема решения задач оптимизации сборки ЛА представлена на рис. 3.

Для реализации этой схемы необходимо выполнить:

1. Постановку задач и изучение информации к поставленным задачам в целях окончательной формулировки задач исследования.

2. Разработку моделей в математической или других формах представления, с учетом ограничений.

3. Выбор критериев эффективности или критериев принятия решений для оптимизации исследуемых параметров сборки ЛА.

4. Разработку методов и средств для решения поставленных задач, в том числе разработка вычислительных алгоритмов и программ для реализации их с помощью вычислительной техники.

5. Экспериментальные исследования моделей, включая проверку их в производственных условиях.

6. Разработку рекомендаций и нормативно-технической документации для практического использования предложенных оптимизационных моделей сборки ЛА.

Изложенные методологические основания были использованы автором при решении некоторых задач оптимизации сборки ЛА [1] .

Литература

1. Бабушкин А.И. Моделирование и оптимизация сборки летательных аппаратов. М.: Машиностроение. 1990, - 240 с.

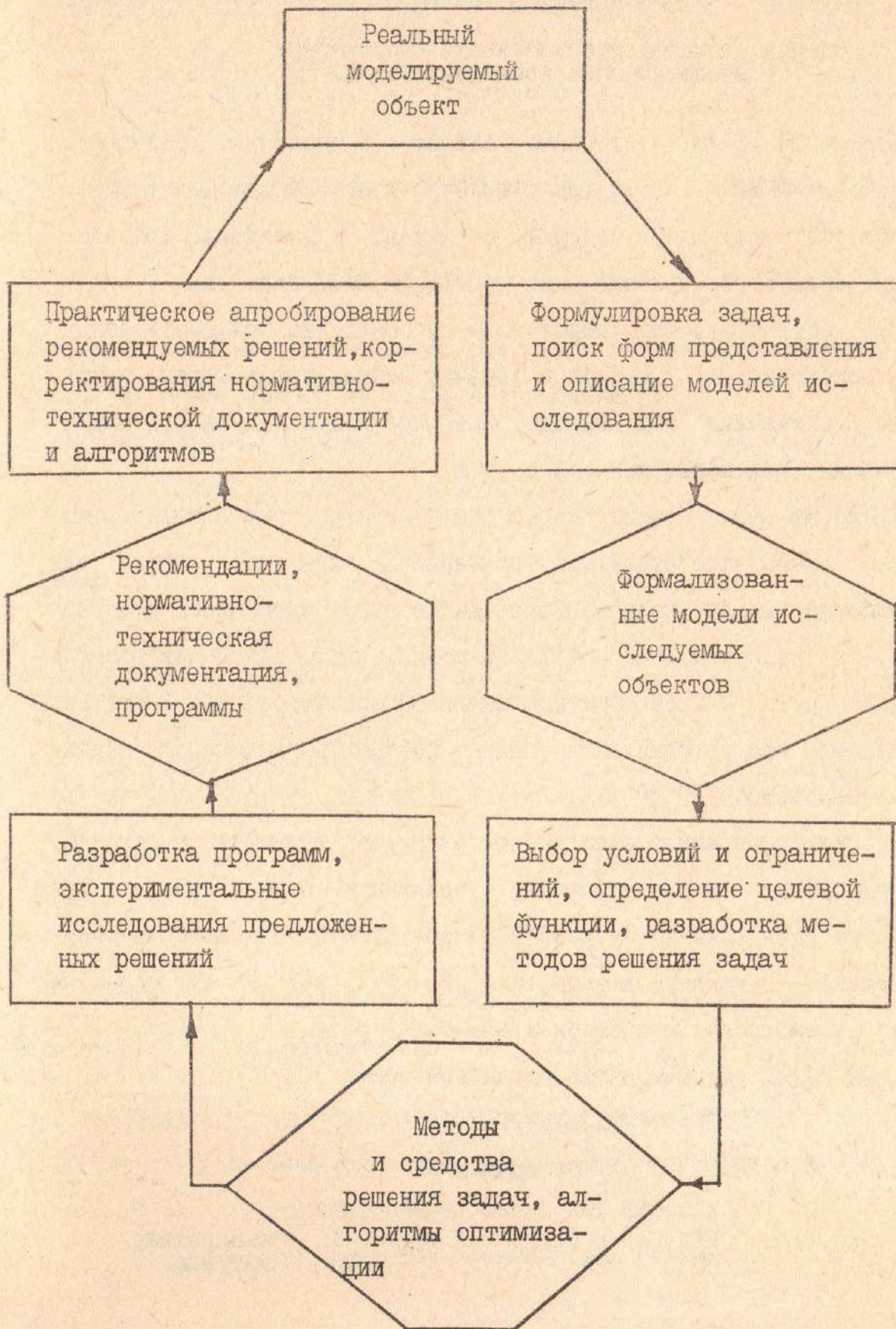


Рис. 3. Схема решений задач оптимизации сборки ЛА