

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

**В.В. Котов**

## AUTOMATIZATION OF THE SPACE-ROCKET COMPLEXES' GAS-SUPPLY SYSTEMS PROJECTING

**V.V. Kotov**

Рассмотрены особенности систем газоснабжения ракетно-космических комплексов. Проанализирован процесс проектирования систем газоснабжения, обосновано использование выбранной системы математических моделей. Приведена предлагаемая методика проектирования, описана структура разработанного программного комплекса.

*Ключевые слова:* газоснабжение ракетно-космических комплексов, математическая модель.

The peculiarities of the gas-supply systems of space-rocket complexes are considered. The process of projecting of the gas-supply systems is analyzed; the usage of the selected system of mathematical models is justified. The suggested methods of projecting is given, the structure of designed bundled software is described.

*Keywords:* gas-supply of space-rocket complexes, mathematical model.

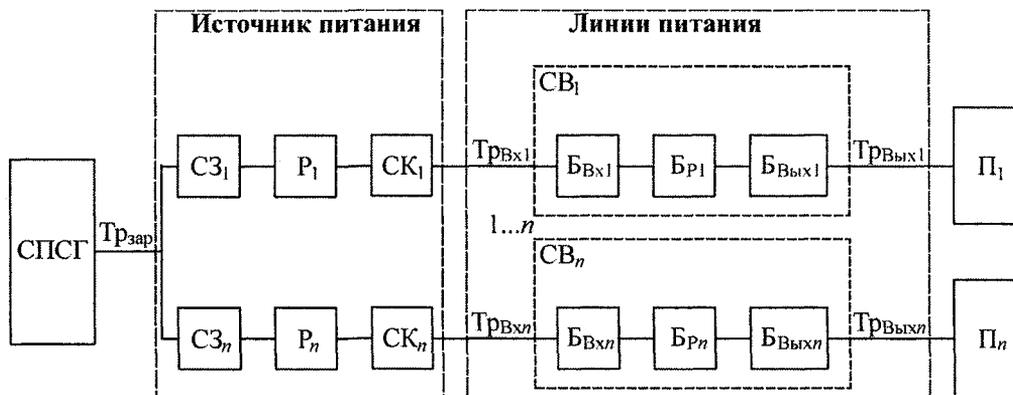
Современные системы газоавтоматики характеризуются расширением как номенклатуры применяемых рабочих тел, так и диапазона изменения их параметров. Это обусловлено стремлением улучшить количественные и качественные показатели технического уровня систем, обеспечить требования по экологии. Так, например, применение водорода, гелия повышает быстродействие систем. Водород и кислород являются компонентами экологического чистого топлива, инертные газы и азот обеспечивают эффективную нейтрализацию различных полостей. Криогенные температуры необходимы для реализации высокоэффективных газожидкостных источников энергии, высокие давления уменьшают массогабаритные характеристики систем, позволяют развивать большую мощность.

В полной мере это относится к системам газоснабжения (СГС) ракетно-космических комплексов [1], в которых в первую очередь реализуются все достижения научно-технического прогресса. Этот класс СГС представляет собой совокупность взаимосвязанных агрегатов, устройств и приборов, предназначенных для приема сжатых газов от средств заправки, их хранения и обеспечения ракеты-носителя, систем и агрегатов наземного технологического оборудования стартового комплекса сжатыми газами в заданном количестве и с заданными значениями параметров при подготовке изделия к пуску, при пуске, заключительных операциях, а также во время технического обслуживания. Типовая структура СГС показана на рис. 1.

Как следует из рис. 1, структуры СГС, в сравнении с городскими, промышленными [2], являются более простыми и представляют собой совокупность линий древовидной структуры от источника питания к многочисленным потребителям, каждый из которых предъявляет специфические требования к СГС (род газа, его параметры, циклограмма потребления). Наличие подобных структур диктуется также высокими требованиями по точности, быстродействию, надежности, необходимостью быстрой идентификации возможных отказов и их устранения. Количество линий питания достигает нескольких десятков, суммарное количество элементов арматуры в блоках и стойках - нескольких сотен, расстояние между источником питания СГС и потребителями - порядка километра. В автоматизированных СГС дополнительно присутствует электропневматическая система контроля и диагностики.

Изложенное свидетельствует о том, что СГС являются сложными техническими системами. Их проектирование требует значительных затрат ресурсов. В современных условиях создание подобных систем на высоком техническом уровне, в сжатые сроки, с заданными количественными

ми и качественными показателями невозможно без комплексной автоматизации процедур их анализа и синтеза, использования достижений современных информационных технологий [3-5].



**Рис. 1. Типовая структура СГС:** СПСГ – система производства сжатых газов, Тр<sub>зар</sub> – зарядный трубопровод, СЗ – стойка зарядная, Р – секция ресивера источника питания, СК – стойка коммутации, Тр<sub>вх</sub> – входной трубопровод, СВ – стойка выдачи, Б<sub>вх</sub> – входной блок, Б<sub>р</sub> – регулирующий блок, Б<sub>вых</sub> – выходной блок, Тр<sub>вых</sub> – выходной трубопровод, П – потребитель

Анализ процесса проектирования СГС с точки зрения его автоматизации показывает, что в нем должны использоваться системы автоматизированного проектирования, обеспечивающие сквозное проектирование и информационную поддержку. При этом важнейшей является задача автоматизации начальных этапов проектирования - технического предложения и эскизного проекта. Они являются специфичными для различных классов систем, и, зачастую, недостаточно формализованными. Это порождает циклический процесс системного анализа [6]: поиск вариантов, их сравнение по определенным критериям и отбор приемлемых, принятие ответственных решений и их обоснование при формировании концепции проекта. Такая технология и рассматривается в настоящей работе.

Исходные данные для проектирования содержатся в техническом задании на разработку системы, а результатом является документация проекта: схемы СГС и ее подсистем (блочные, структурные, принципиальные), а также пояснительная записка к проекту, содержащая обоснование принятых на данном этапе решений (рис. 2). На следующих этапах выполняется рабочее проектирование и соответствующий инженерный анализ.

Математическое обеспечение является основой САПР [3]. Существенной его особенностью является наличие взаимосвязанной системы математических моделей различной степени точности (сложности), а также рекомендаций (критериев) по их областям применения. Наличие такого математического обеспечения, в совокупности с соответствующим программным и информационным обеспечениями, удобным интерфейсом, позволит существенно увеличить возможности проектировщика, как при синтезе вариантов системы, так и при анализе различных (в том числе нерасчетных) режимов их функционирования.

В отличие от известных программных комплексов ПА-8, «ГИДРОСИСТЕМА», Zulu, ориентированных на различные структуры гидравлических и газовых систем, предлагаемое программное средство реализует математический аппарат, отражающий функционирование системы с учетом свойств реального газа (в том числе процесса фазового перехода «газ-жидкость»), теплообмена в системе, а также движения газа в линиях питания с высокими скоростями.

Сегодня имеется большое количество работ по учету свойств реального газа при исследовании пневмосистем. Можно отметить, например, работы, исследующие термодинамику переменного количества газа, уравнение состояния Редлиха-Квонга, а также полиномиальное уравнение состояния [1]. Они позволяют решать как задачи статики, так и динамики систем, параметры рабочих тел которых изменяются в весьма широких пределах. Указанные математические модели положены в основу разработанного программного обеспечения, с использованием которого были выполнены исследования по определению областей использования моделей в процессе проектирования линий систем газоснабжения.

Используемый математический аппарат позволяет выполнить анализ исследуемой системы при допущении, что рабочее тело подчиняется уравнению состояния идеального газа, а также реального газа в форме уравнения Редлиха-Квонга и полиномиального уравнения. Это позволяет

решить задачи анализа систем, где в качестве рабочей среды используются различные газы, работающие в широком диапазоне параметров, а также имеют место специфические процессы, например явление фазового перехода «газ-жидкость» и обратно.

Наличие системы математических моделей с различным уровнем идеализации протекающих процессов позволило построить гибкую систему проектирования СГС. На начальных этапах при решении задач многовариантного анализа и оптимизации используются упрощенные модели. Для целей более детального анализа и численного эксперимента находят применение более сложные, требующие существенных затрат машинного времени, но и более точные модели. Очевидно, что выбор той или иной математической модели может быть реализован только при наличии информации о возможной области ее применения. В результате проведенных исследований определены погрешности, имеющие место при использовании моделей с различным уровнем идеализации, использующих различные рабочие тела в широком диапазоне давлений и температур.

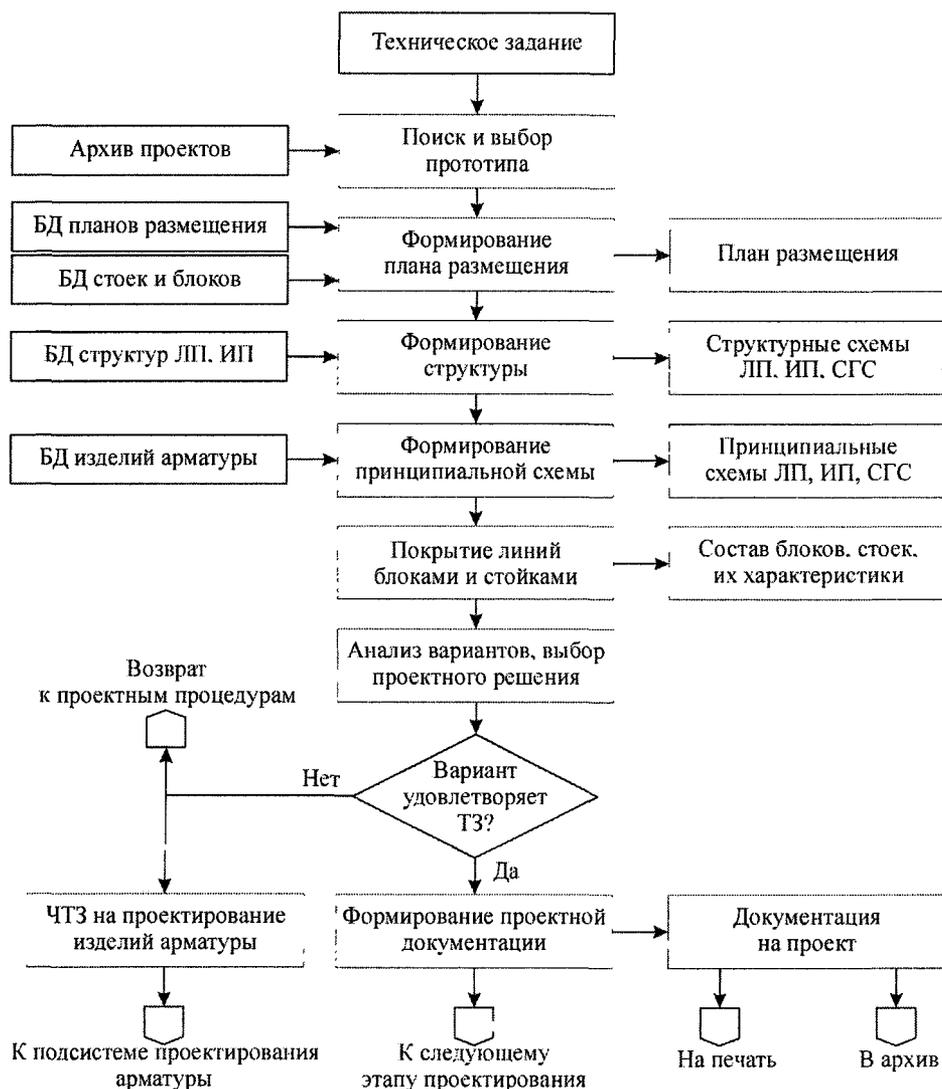


Рис. 2. Структурная схема проектирования систем газоснабжения

Предлагаемая система «Анализ и проектирование СГС» состоит из программных модулей, предназначенных для решения двух типов относительно самостоятельных задач:

- 1) инженерного анализа, численных исследований и обработки их результатов;
- 2) проектирования, которое представляет собой целенаправленный процесс из процедур (операций), базирующихся на программных модулях анализа, проектирования, оптимизации, документирования.

Особенность модулей анализа заключается в том, что они базируются на единой системе математических моделей, подчиняющихся уравнениям состояния идеального газа, газа Редлиха-Квонга и полиномиального, что позволяет расширить круг решаемых задач.

Автоматизированная система содержит в своем составе математическое ядро, информационную подсистему, подсистему документирования.

Математическое ядро содержит математические модели, алгоритмы и программные модули решения следующих задач:

- расчет параметров линий питания входного и выходного трубопровода, оптимизация их параметров;
- расчет параметров источника питания;
- расчет термодинамических и теплофизических свойств газов;
- расчет расхода газа через сужающее отверстие и его диаметра;
- расчет тепловых потоков и процессов;
- расчет статической характеристики регулятора давления;
- гидравлический расчет изделий арматуры.

Информационная подсистема имеет следующие подразделы (по ISO 10303 STEP): нормативно-справочный, долговременный, актуальный. В долговременном разделе хранятся результаты решения задач, в актуальном разделе хранится документация текущего проекта. Нормативно-справочный раздел содержит справочные данные по газам, материалам, трубопроводам, баллонам, типовым схемным решениям линий СГС [1], арматуре, методические материалы. В базе данных арматуры содержится номенклатура изделий арматуры, их массо-габаритные характеристики, показатели надежности, ресурса, используемые рабочие среды, допустимые значения их рабочих параметров, степень автоматизации выполнения функций. Эти параметры могут являться дополнительными факторами при оценке качества системы.

Подсистема документирования базируется на стандартных формах отчетов, включающих схемы, рисунки, таблицы и графики результатов расчетов, которые заполняются автоматически на основе протоколов работы пользователя и могут редактироваться им.

В состав автоматизированной системы входит следующее методическое обеспечение:

- 1) типовая методика проектирования СГС (см. таблицу);
- 2) методики решения прикладных задач анализа;
- 3) методика определения гидравлических сопротивлений изделий пневмоавтоматики;
- 4) руководства пользователя, имеющегося программного обеспечения.

**Типовая методика проектирования СГС**

№ этапа	Содержание этапа
1	Формирование плана размещения СГС (определение мест размещения источника питания, средств заправки, потребителей и расстояний между ними)
2	Формирование варианта структуры СГС
2.1	Разбивка ИП на ресиверы по родам рабочих тел, по типам потребителей.
2.2	Привязка потребителей к ресиверам ИП, ресиверов ИП к средствам заправки (определение номенклатуры и мест расположения стоек и блоков арматуры и уточнение длин трубопроводов между ними)
3.	Формирование структурных схем ресиверов источника питания и линий питания
3.1	Начало цикла по линиям питания потребителей (для i-ой линии)
3.2	Начало цикла по ресиверам (для i-го ресивера)
3.3	Анализ результатов проектирования и поиск нового варианта структуры СГС. При наличии варианта – возврат к п.2
4	Формирование линий заправки (расчет базового диаметра, формирование структурной схемы линий заправки)
5	Формирование документации проекта (структурных схем источника питания, линий питания, линий заправки, спецификаций к ним и пояснительной записки)
6	Формирование принципиальных схем линий питания СГС (идентификация арматуры, размещение ее в блоках и стойках, поверочные гидравлические и тепловые расчеты, формирование данных для уточненного расчета источника питания)
7	Формирование принципиальных схем линий заправки СГС (идентификация арматуры, размещение ее в блоках и стойках, гидравлические и тепловые расчеты)
8	Уточненный расчет параметров источника питания СГС
9	Формирование документации проекта (принципиальных схем линий питания, линий заправки, источника питания, спецификаций к ним и пояснительной записки).

**Выводы**

1. С использованием результатов выполненных исследований разработан вариант автоматизированной системы для автоматизации начальных этапов проектирования СГС. К ее особенностям относятся системность и высокая точность математического обеспечения; расширенный класс решаемых задач (учет свойств реального газа, теплообмена, дроссель-эффекта, высоких скоростей течения газа); возможность получения рекомендаций по областям применения различных моделей. База данных гидравлических сопротивлений является иерархической и пополняемой, разработана соответствующая методика расчетов гидравлических сопротивлений.

2. Отличительными признаками системы являются возможность работы в широком диапазоне параметров рабочих тел, набор баз данных, мощный математический аппарат, удобный пользовательский интерфейс. Предлагаемая система позволяет расширить возможности проектировщика, позволяют повысить эффективность и качество проектирования, научно-технический уровень разработок.

3. В основу системы положена типовая методика проектирования СГС. Ее особенности – целенаправленность, цикличность, наличие задач декомпозиции и композиции. Интерактивный характер проектирования создает возможность поиска рационального варианта, оптимизации параметров системы (диаметров трубопроводов и арматуры, объема ИП).

4. Предлагаемая автоматизированная система и методика проектирования прошли практическую апробацию при решении практических задач.

**Литература**

1. Арзуманов, Ю.Л. Системы газоснабжения и устройства пневмоавтоматики ракетно-космических комплексов / Ю.Л. Арзуманов, Р.А. Петров, Е.М. Халатов. – М.: Машиностроение, 1997. – 464 с.

2. Методы и алгоритмы расчёта тепловых сетей / под ред. В.Я. Хасилева, А.П. Меренкова. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.

3. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов / И.П. Норенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. – 336 с.

4. Норенков, И.П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.

5. Судов, Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели / Е.В. Судов. – М.: ООО Издательский дом «МВМ», 2003. – 264 с.

6. Системный анализ и принятие решений: словарь-справочник / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова – М.: Высшая школа, 2004. – 614 с.

7. Васильев, О.Ф. Неизотермическое течение газа в трубах / О.Ф. Васильев. – Новосибирск: Наука, 1978. – 127 с.

*Поступила в редакцию 10 октября 2008 г.*

Котов Владимир Валерьевич. Аспирант кафедры «Гидропривод и гидропневмоавтоматика» Ковровской государственной технологической академии. Область научных интересов – автоматизированное проектирование систем и элементов пневмоавтоматики.

**Vladimir V. Kotov.** Post-graduate student of the «Hydraulic Drive, Hydropneumatic Automation» department of Kovrov State Technological Academy. Professional interests: computer-aided design of pneumatic systems and elements.