МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Для служебного пользования

Экз. N \_\_\_\_\_\_\_

На правах рукописи

УДК 621.52/.646:658.5

 1БАТРАКОВ ВАСИЛИЙ БОРИСОВИЧ

 2СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

 2ВАКУУМНОЙ КОММУТАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ

Специальность 05.27.07. - Оборудование производства

электронной техники

Специальность 05.13.12. - Системы автоматизации

проектирования

Д и с с е р т а ц и я

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель

кандидат технических наук, доцент

Львов Борис Глебович

Москва - 1992

.

- 2 -

СОДЕРЖАНИЕ

Введение .................................................... 4

1. Современное состояние работ по созданию вакуумной

коммутационной аппаратуры ................................ 10

1.1. Анализ связей ВКА с оборудованием электронной

техники. Основные требования, предъявляемые к ВКА ... 10

1.2. Функционально-структурный анализ ВКА ................ 15

1.3. Структурно-конструктивная классификация ВКА ......... 28

1.4. Аналитический обзор методов поискового

конструирования ..................................... 30

Выводы ................................................... 39

2. Системный анализ вакуумной коммутационной аппаратуры ..... 41

2.1. Системная модель ВКА при функциональном и схемо-

техническом проектировании .......................... 41

2.2. Функции и структура ВКА ............................. 42

2.3. Свойства ВКА и ее структурных составляющих .......... 55

2.4. Цели проектирования ВКА ............................. 62

2.5. Уравнение функционирования и критерии оптималь-

ности ВКА ........................................... 70

Выводы ................................................... 73

3. Разработка методологии схемотехнического и функционального

проектирования ВКА ....................................... 75

3.1. Методические основы функционального и схемотех-

нического проектирования ВКА ........................ 75

3.2. Методика параметрического анализа конструкций ВКА.... 76

3.3. Методика синтеза структур ВКА ....................... 80

3.4. Синтез и кинематический анализ механизмов ВКА ....... 94

3.5. Моделирование процесса функционирования ВКА .........109

Выводы ...................................................115

- 3 -

4. Создание новых конструкций ВКА на базе автоматизации

схемотехнического и функционального проектирования .......118

4.1. Программые средства анализа существующих конст-

рукций ВКА ..........................................118

4.2. Программные средства синтеза и анализа структур ВКА..121

4.3. Структурно-функциональная модель САПР ВКА на этапе

схемотехнического и функционального проектирования...124

4.4. Конструкции ВКА, разработанные на основе синтезиро-

ванных структур .....................................128

Выводы ...................................................135

Заключение ..................................................137

Литература ..................................................140

Приложения ..................................................157

.

- 4 -

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость всесторонней интенсификации экономики нераз-

рывно связана с ускорением научно-технического прогресса, важ-

нейшими направлениями которого являются создание и освоение

принципиально новой техники и технологии, автоматизация и меха-

низация производства. Выполнение этих задач требует, в част-

ности, развития вакуумной техники, оказывающей определяющее вли-

яние на создание и производство изделий электроники и все более

широко используемой в других отраслях промышленности.

Разработка новых вакуумных технологий предъявляет к вакуум-

ному оборудованию повышенные требования, разнообразный и меняю-

щийся диапазон значений которых обуславливает необходимость мо-

дернизации и разработки новых конструкций его элементной базы, в

частности, вакуумной коммутационной аппаратуры (ВКА): клапанов,

затворов, натекателей, служащих для периодического сообщения и

герметичного перекрытия вакуумных коммуникаций и управления ва-

куумным режимом. Конструкцией и правильной эксплуатацией ВКА,

являющейся неотъемлемой частью вакуумных систем (ВС), в значи-

тельной степени определяется надежность работы вакуумного техно-

логического оборудования. (ВТО). Вместе с тем традиционное про-

ектирование, основанное на интуитивно-эмпирическом подходе,

исходя из уровня знаний конструктора, не удовлетворяет в полной

мере ужесточившимся требованиям к созданию ВКА (например, необ-

ходимости минимального воздействия потоков газовыделения и заг-

рязнений на технологическую среду оборудования производства из-

делий электронной техники, работе при температурах 600 - 800 К,

повышению показателей надежности в десятки раз и т.д.), что осо-

бенно заметно на примере цельнометаллической ВКА, показатели ка-

чества которой, начиная с начала 70-х годов по существу не улуч-

- 5 -

шаются. В связи с этим существующие конструкции громоздки, имеют

небольшой ресурс и наработку на отказ. Ситуация осложняется

отсутвием единого научно обоснованного подхода к проектированию

ВКА, что приводит к неоправданному ее многообразию, низкому ка-

честву конструкций и, как следствие, к отказам и простоям доро-

гостоящего оборудования при эксплуатации. Кроме того, проявля-

ется тенденция к значительному уменьшению сроков проектирования

ВКА, которая наряду с указанными факторами вызывает необходи-

мость автоматизации процесса проектирования.

Одним из выходов из сложившейся ситуации является разработ-

ка и применение новых развивающихся методик проектирования, поз-

воляющих генерировать множество различных технических решений и

проводить целенаправленный их поиск и выбор, исходя из техни-

ческого задания (ТЗ), имеющего жесткие и иногда полярные требо-

вания.

Изложенное определило цель настоящей работы, которой явля-

ется создание научно обоснованной методологии схемотехнического

и функционального проектирования ВКА, направленной на решение

проблем проектирования ВКА, с конкретной реализацией в виде но-

вых конструкций ВКА и программно-информационных средств, пред-

назначенных для анализа, синтеза и моделирования работы ВКА.

Принципиально функциональное и схемотехническое проектиро-

вание ВКА, заключающееся в синтезе и анализе ВКА на этапе техни-

ческого предложения и содержащее оценку свойств ВКА на основе

исследования процессов ее функционирования, генерацию и выбор

принципиальных технических решений, определяющих структуру ВКА с

учетом специфики ее функционирования в составе конкретной ВС,

можно представить в виде последовательности: цель проектирования

- функция - устройство (элементная структура), которая обуслав-

ливает необходимость формального описания структур, функций,

- 6 -

свойств, объектов для определения проектных целей в виде измене-

ния структур ВКА и определения связей свойств ВКА для построения

этих структур.

Более детально модель процесса проектирования ВКА на на-

чальных стадиях можно представить в виде алгоритма, укрупненная

блок-схема которого приведена на рис. 1.

Согласно представленной блок-схемы, ТЗ на разработку ВКА

определяется требованиями к ВС, являющейся для ВКА объектом бо-

лее высокого уровня, а начальным этапом создания ВКА является

поиск аналогов. Это объясняется нецелесообразностью разработки

новой конструкции ВКА при наличии среди существующих вариантов

ВКА конструкции, полностью удовлетворяющей предъявленным требо-

ваниям.

В случае отсутствия аналогов необходимо проанализировать ТЗ

для выявления заведомо завышенных требований с целью их смягче-

ния. Если данная процедура не приводит к нахождению аналога, то

переходят к поиску прототипа - конструкции ВКА, наиболее полно

соответствующей требованиям ТЗ. Сравнение параметров выбранной

конструкции ВКА с требуемыми (ТЗ) позволяет сформировать потре-

бительские цели проектирования ВКА в виде необходимости измене-

ния соответствующих значений параметров ВКА или ее структурных

составляющих.

Цели и критерии позволяют конструктору осуществлять направ-

ленный поиск и синтез технических решений ВКА. Исходя из целей,

определяют необходимые функции и функциональные модули, их реа-

лизующие. Вводя соответствующие отношения среди найденных функ-

циональных модулей, получают возможные структуры ВКА, из которых

с помощью критериев выбирают структуру, наиболее отвечающую

предъявленным требованиям ТЗ (происходит достижение проектной

цели).

- 8 -

Отсутствие среди известных удовлетворительной функциональ-

ной структуры или появление новых функций для достижения потре-

бительской цели проектирования ВКА приводит к необходимости син-

теза физического принципа действия ВКА, являющегося этапом ее

функционального проектирования, появлению новых функциональных

модулей и повторению этапов схемотехнического проектирования ВКА

для синтеза ее оптимальной элементной структуры.

Анализ приведенного алгоритма проектирования показал, что,

помимо отмеченного отсутствия системного описания ВКА, удобного

для постановки задач схемотехнического и функционального проек-

тирования, достижение поставленной цели осложнено также

отсутствием исследований процесса функционирования ВКА с позиций

схемотехнического проектирования; формального описания структур

ВКА и процесса их синтеза; формализованных научно обоснованных

методов принятия решений при конструировании ВКА, что позволило

сформулировать следующие основные задачи, подлежащие решению:

- проведение системного анализа ВКА;

- разработка системной модели процесса проектирования ВКА;

- разработка методики и математических моделей процесса проекти-

рования ВКА на уровне формирования ее структурных схем;

- построение и исследование модели функционирования ВКА;

- разработка формализованных методов выбора и критериев опти-

мальности при структурном синтезе ВКА;

- разработка комплекса программных средств автоматизации началь-

ных этапов проектирования ВКА;

- разработка новых конструкций ВКА на основе использования соз-

данного методического и информационно-программного обеспечений.

На защиту выносятся:

1. Системные модели ВКА и процесса ее функционального и

схемотехнического проектирования.

- 9 -

2. Методика и математические модели функционально-схемотех-

нического проектирования ВКА.

3. Математические модели ВКА на этапах функционального и

схемотехнического проектирования.

4. Методика и математическая модель оценки конструкций ВКА

и ее структурных составляющих.

5. Результаты исследования математической модели функциони-

рования ВКА и критерии оптимальности конструкций ВКА.

6. Новый класс ВКА переменной структуры и конструкции ВКА.

.

- 10 -

I. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ВАКУУМНОЙ

КОММУТАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ

I.I. Анализ связей ВКА с оборудованием электронной

техники. Основные требования, предъявляемые к

ВКА.

Вакуум как рабочая среда технологических процессов и научных

исследований находит возрастающее применение в различных отраслях

промышленности. При этом основным потребителем элементов, средств

и систем вакуумной техники является электронная техника, предъяв-

ляющая наиболее жесткие, зачастую противоречивые и трудно реализу-

емые требования к создаваемым ВС.

Используемое в электронной технике вакуумное технологическое

и научное оборудование, интервалы рабочих давлений основных типов

которого приведены на рис. I.I., по величине рабочего давления

можно условно разделить на три группы: 1) установки с рабочим дав-

лением до 5 10 Па; 2) установки с рабочим давлением до 1

10 Па; 3) оборудование с рабочим вакуумом выше 1 10 Па.

Как правило, получение вакуума в оборудовании первой группы

достигается применением паромасляных диффузионных насосов с ловуш-

ками, позволяющими исключить наличие углеводородных соединений в

рабочей среде; герметизация разъемных соединений осуществляется

резиновыми прокладками [I - 5]. Подобные установки относятся к

непрогреваемым системам, длительность откачки которых определя-

ется, в основном, десорбцией паров воды [6 - 8]. Дополнительными

требованиями к установкам данного типа могут служить необходимость

получения определенного спектра остаточных газов [9, 10], исключе-

ние привносимой дефектности на изделие электронной техники [11 -

15], высокая (до 1600 К) температура в рабочей камере и повышенные

- 11 -

требования к надежности работы из-за значительного экономического

ущерба в случае отказа [16 - 18].

Оборудование второй группы [19 - 24] обеспечивает получение

более низких парциальных давлений остаточных газов. В данной груп-

пе оборудования, в основном, используют безмасляные (турбомолеку-

лярные, магнито- и электро-разрядные насосы) и комбинированные

средства откачки [25 - 27]. В качестве уплотнений разъемных соеди-

нений применяются металлические прокладки и прокладки, изготовлен-

ные из термостойкой резины [28, 29]. Как правило, установки второй

группы прогреваются до 400 - 650 К (оборудование для откачки

электровакуумных приборов частично до 950 К), имеют достаточно

большое время достижения рабочего давления (от 5 до 20 часов) [19,

30 - 33] и более жесткие требования к привносимой на изделие де-

фектности [34].

К третьей группе оборудования принадлежат уникальные системы-

ускорители заряженных частиц [35 - 38], камеры для космических

исследований и ряд технологических установок и научных приборов

[39, 40]. Их отличие от вакуумных систем второй группы состоит в

необходимости предварительной обработки и очистки материалов для

вакуумных систем, длительном времени прогрева и откачки, использо-

вании только металлических уплотнителей в разъемных соединениях.

При этом время существования высокого вакуума в рабочем объеме мо-

жет длиться месяцами и годами [29, 41 - 43].

Общим требованием ко всем группам вакуумного оборудования яв-

ляется автоматизация технологических процессов и научного экспери-

мента [44 - 46].

В свою очередь, требования к вакуумному оборудованию формиру-

ют требования к его элементной базе, в том числе к ВКА, которая,

являясь неотъемлемой частью ВС вакуумного оборудования (например,

только в одно- и двухкамерных установках число коммутационных уст-

- 12 -

ройств колеблется от 5 до 10, достигая 15 [20, 47]), во многом оп-

ределяет его выходные характеристики. Так, производительность обо-

рудования первой и второй групп определяется не только его

конструкцией (однопозиционные установки периодического действия,

установки полунепрерывного действия со шлюзовыми камерами, уста-

новки и линии непрерывного действия и др.), но и сокращением вре-

мени достижения рабочего давления, зависящим, в частности, от про-

водимости ВКА [48, 49].

Следует отметить и наметившуюся в последнее время в произ-

водстве изделий электронной техники тенденцию к понижению рабочего

давления до 10 - 10 Па вследствие существенного влияния дав-

ления и парциального состава газовой смеси на параметры и свойства

изделий [1, 19, 40], т.е. к использованию высоко- и сверхвысокова-

куумного оборудования, требующего прогрева до 700 - 800 К и, сле-

довательно, применения цельнометаллической ВКА, позволяющей сокра-

тить время достижения сверхвысокого вакуума в 2,5 раза и упростить

обслуживание установок [25, 41]. С учетом отмеченного во введении

критического состояния проектирования цельнометаллической ВКА це-

лесообразно выделить для детального рассмотрения области ее приме-

нения, которые показаны на рис. I.2.

При этом, несмотря на достаточно четкую границу между группа-

ми оборудования с одинаковыми вакуумными характеристиками и усло-

виями эксплуатации, определяющими основные свойства ВКА, к ней

предъявляется множество разнообразных дополнительных требований,

зависящих от конкретного случая использования, что ведет к увели-

чению номенклатуры ВКА, затрудняя проведение унификации и стандар-

тизации вакуумного оборудования и повышая трудоемкость его проек-

тирования и изготовления.

Анализ длительности технологических циклов и ресурса работы

оборудования, проведенный по работам [19, 20, 24, 47, 48], позво-

- 14 -

ляет судить о требуемом ресурсе и цикличности работы ВКА и показы-

вает, что число циклов работы клапанов и затворов лежит в пределах

500 - 8000, а в ряде установок, имеющих длительность технологи-

ческого процесса порядка десятков секунд (например, электронно-лу-

чевых установок микросварки), их ресурс должен быть значительно

большим - 20000 - 50000. Кроме того, особенностью ВКА является

кратковременный циклический режим работы с большими промежутками

между включениями: отношение времени работы к времени выстоя очень

различно и в среднем находится в пределах 1 : (100 - 10000). Сум-

марное время нахождения механизмов ВКА в динамическом состоянии до

замены уплотнительной пары составляет для ВКА с металлическим уп-

лотнителем в среднем примерно 2 - 4 часа, для ВКА с резиновым уп-

лотнением - 20 - 50 часов.

Снижение рабочего вакуума накладывает дополнительные ограни-

чения на разработку ВКА, связанные с необходимостью уменьшения

влияния элементов вакуумной полости ВКА на параметры технологи-

ческого процесса и учета привносимой дефектности [50, 51]. При

этом ряд ответственных сверхвысоковакуумных систем, взамен большо-

го ресурса работы ВКА выдвигает на первый план требования к быст-

родействию и высокой надежности ее работы [37, 39].

Таким образом, анализ назначения ВКА в свете задач, решаемых

современным вакуумным оборудованием, позволил сформировать следую-

щие основные требования, предъявляемые к ВКА.

ВКА должна:

иметь заданную проводимость в открытом положении; обеспечивать

требуемое быстродействие; гарантировать величину натекания в за-

крытом положении ВКА не выше допустимой (например, соизмеримой с

уровнем газопроницаемости конструкционных материалов и материала

уплотнителя); допускать эксплуатацию в диапазоне температур от 77

до 800 К; минимально воздействовать на качественный и количествен-

- 15 -

ный состав остаточной среды в вакуумной системе; иметь достаточные

ресурс работы и наработку на отказ; предусматривать возможность

автоматического управления и контроля за работой; обладать мини-

мальными габаритами и весом; обеспечивать простой монтаж и де-

монтаж устройства; иметь высокие технолого-экономические показа-

тели.

I.2. Функционально-структурный анализ ВКА.

Несмотря на все возрастающую потребность в ВКА, имеющаяся по

ней литература весьма скудна, разрознена и носит большей частью

описательный характер. В затрагивающих данную область работах

практически отсутствуют методики проектирования ВКА, недостаточны

рекомендации и данные по ее расчету и конструированию [20, 29, 51-

54], вследствие чего разработка конкретных устройств ВКА в боль-

шинстве случаев основывается на опыте конструктора. При этом

отсутствие единого научно обоснованного подхода к проектированию

ВКА затрудняет создание конструкции, имеющей наилучшие характе-

ристики по всем показателям качества, поэтому существующие вакуум-

ные клапаны и затворы удовлетворительно соответствуют лишь 3 - 4

показателям качества, что приводит к неоправданному многообразию

их конструкций.

Достоинства и недостатки существующих конструкций ВКА

рассмотрим на основе анализа информации, содержащейся в литератур-

ных источниках и каталогах отечественных предприятий-разработчиков

и заводов-изготовителей и передовых в области вакуумного машиност-

роения иностранных фирм [20, 29, 51 - 67].

На рис. 1.3, 1.4 приведены примеры конструктивных схем ВКА,

дающие представление о ее многообразии, на рис. 1.5 показаны

основные принципиальные схемы ВКА, а на рис. 1.6 - типовые схемы

- 19 -

ее уплотнительных пар.

Проанализируем существующие технические решения ВКА с позиций

функционально-структурного подхода - реализации последователь-

ности: цель - функция - устройство.

Плоский затвор (рис. 1.5 а, е), имеющий минимальное расстоя-

ние между присоединительными фланцами (цель), во избежание износа

уплотнителя требует при перемещении улотнительного органа 1 для

открывания или перекрывания проходного отверстия 2 создания гаран-

тированного зазора между ним и корпусом 3, что приводит к необхо-

димости осуществления в клапане двух не совпадающих по направлени-

ям движений: перемещения уплотнительного органа 1 для открывания и

перекрывания проходного отверстия 2 и герметизации уплотнительной

пары (функция), а, следовательно, либо к появлению механизма 4 в

вакуумной полости (рис. 1.5, а), либо к использованию двух испол-

нительных органов и соответственно двух вводов движения в вакуум

5,5 (рис. 1.5, е) (устройство). Оба решения существенно снижают

надежность и ресурс работы устройства, а второе приводит и к

усложнению управления затвором.

Отличительной особенностью схемы поворотного затвора, приве-

денной на рис. 1.5, б, является возможность совмещения в корпусе 3

проходного и углового взаиморасположения перекрываемых отверстий 2

(цель), а также совпадение направлений перемещения уплотнительного

органа и усилия герметизации при уплотнении (функция). Однако по-

воротный затвор с непосредственным воздействием ведущего звена 6

на уплотнительный орган 1 (устройство) не получил широкого расп-

ространения вследствие необходимости создания значительных крутя-

щих моментов при герметизации запорной пары.

Другие типы конструкций ВКА также обладают рядом недостатков.

Работа крана (рис. 1.5, в) связана со скольжением уплотнительных

поверхностей элементов 1 и 3 друг относительно друга, и, как

- 20 -

следствие, подобные устройства имеют повышенное натекание и малый

ресурс работы. К недостаткам конструкций, представленных на рис.

1.5 г, д, можно отнести использование механизма непосредственного

действия [51], приводящего к повышенным массо-габаритным характе-

ристикам автоматического привода.

Для приближенной обобщенной оценки качества конструкций ВКА,

исходя из ее основного назначения, сформулированного во введении,

предлагается использовать условный показатель, определяемый отно-

шением проводимости ВКА к диаметру перекрываемого отверстия, изме-

нение значения которого для некоторых серийно выпускаемых типов

устройств приведено на рис. 1.7. Большее значение данного показа-

теля определяет лучшую конструкцию.

Подобный показатель позволяет провести сравнение конструкций

как в рамках одного типа устройств, так и сравнение устройств раз-

личных типов, а также оценить конструкции с нестандартными значе-

ниями диаметров перекрываемых отверстий. В частности можно отме-

тить большую эффективность, по сравнению с угловыми конструкциями,

конструкций с соосным расположением проходных отверстий (см. рис.

1.3 - 1.5), а среди последних - лучшие показатели плоских уст-

ройств (рис. 1.5, а). Обращает на себя внимание и трудность опти-

мизации конструктивных решений ВКА с малыми диаметрами условных

проходов (Ду).

Изложенное позволяет сделать вывод о влиянии цели проектиро-

вания ВКА на ее рабочие функции и, как следствие, на структуру

устройства. При этом можно выделить следующие основные структурные

составляющие ВКА: привод, уплотнительная пара, корпус, ввод движе-

ния в вакуум и механизмы. С позиций решаемых задач целесообразно

рассмотреть влияние указанных структурных элементов на показатели

качества ВКА.

Существенно влияет на показатели качества ВКА используемый

- 22 -

тип уплотнительной пары [51, 67].

В настоящее время в различных отраслях промышленности широко

применяется ВКА с резиновым уплотнением (рис. 1.6, д, е). Однако,

имея в десятки раз больший ресурс работы (20000 - 100000 циклов) и

в 10 - 20 раз меньшие усилия герметизации [55] по сравнению с

цельнометаллическими конструкциями, такая ВКА обладает рядом не-

достатков, ограничивающих область ее использования и заключающихся

в невысоких температурных пределах прогрева, в значительной вели-

чине скорости газовыделения, относительно высокой газопроницае-

мости и влиянии на масс-спектрометрический состав вакуумной среды

[7]. Лучшие марки вакуумных резин, применяемые в клапанах и затво-

рах допускают прогрев только до 470 К, при этом величина скорости

газовыделения лежит в пределах 3.10 - 7.10 л Па/см с, а вели-

чина газопроницаемости по азоту для этих марок при 1.10 Па и 300 К

составляет 2.10 - 4.10 см см/см с [68, 69].

Широкое использование ВКА с эластомерными уплотнителями во

многом вызвано отсутствием альтернативы, т.к. основные технические

характеристики выпускаемых отечественной промышленностью устройств

с металлическими уплотнителями (рис. 1.6, а - г) заметно уступают

лучшим зарубежным образцам, особенно это касается прямопролетных

конструкций [59], что наряду с отмеченными в п. 1.1 факторами оп-

ределяет актуальность создания цельнометаллических устройств.

Разработка цельнометаллической ВКА требует пересмотра подхода

к проектированию ВКА в связи с большими удельными усилиями герме-

тизации (до 200 н/мм, [67, 70]), и необходимостью учета дополни-

тельных факторов, не рассматриваемых при проектировании конструк-

ций с резиновым уплотнением (например, обеспечения высокоточного

взаиморасположения деталей уплотнительной пары в момент герметиза-

ции, влияния частиц износа на работоспособность уплотнителя и др.

[34, 51, 67]. Перечисленные факторы определяют технологические

- 23 -

трудности реализации конструкторских решений и высокую стоимость

цельнометаллической ВКА.

В значительной степени влияет на основные характеристики

функционирования коммутационных устройств ее привод [71]. Преобла-

дающие типы приводов, используемых в ВКА, отражены на рис. 1.3,

1.4. Кратко можно отметить, что использование ручного привода иск-

лючает возможность автоматизации управления ВКА; электропневмати-

ческий привод требует наличия энергоносителя и дополнительных уст-

ройств управления; электромеханический привод громоздок и инерцио-

нен; использование электромагнитного привода требует специальных

источников питания и сопровождается сильными динамическими удара-

ми, снижающими ресурс работы уплотнителя и создающими помехи в ра-

боте оборудования.

Свои особенности, связанные с надежностью, площадью поверх-

ности, обращенной в вакуум, видом и характеристиками передаваемого

движения и т.п., имеют и вводы движения в вакуум [53, 55, 72, 73],

передавая свои достоинства и недостатки ВКА.

В большой степени разнообразие ВКА и ее выходные характе-

ристики обусловлены применением в конструкциях различных механиз-

мов, выполняющих следующие функции: преобразование вида движения

ведущего звена и вида перемещения уплотнительного органа; измене-

ние направления движения исполнительного органа; осуществление пе-

редаточных функций [74]. В ВКА различают механизмы исполнительных

органов и механизмы уплотнительных органов [51]. Исполнительный

орган состоит из ведущего звена и механизма перемещения. На рис.

1.8 показаны некоторые кинематические схемы исполнительных орга-

нов, которые могут располагаться как в вакуумной полости уст-

ройства, так и вне ее [54]. Механизмы исполнительного органа ВКА

бывают непосредственного действия (рис. 1.8, а, б [51]); винтовые

(рис. 1.8, в [53]), кулачковые (рис. 1.8 г [54]); кулисные (рис.

- 25 -

1.8, д, з [58]), рычажные (рис. 1.8, е [61]), кривошипно-ползунные

(рис. 1.8 ж, з [56]) и комбинированные (например, рычажноползун-

ные, рис. 1.8, и - м [63]). Основными функциями уплотнительного

органа, состоящего из механизма герметизации и уплотнительного

диска, является преобразование направления и вида движения выход-

ного звена механизма перемещения и уменьшение усилий или крутящих

моментов на ведущем звене устройства. Особенностью уплотнительных

механизмов является их расположение в большинстве случаев в ваку-

умной полости.

На рис. 1.9 представлены некоторые кинематические схемы уп-

лотнительных органов. К ним относятся кулачковые (рис. 1.9, б, ж

[54]), ползунные (рис. 1.9, в [51]); клиновые (рис. 1.9, г [75]),

винтовые (рис. 1.9, д [56]) механизмы.

Анализ проведенных работ выявил отсутствие исследований

свойств механизмов ВКА с учетом специфики их функционирования, что

объясняет многообразие встречающихся механизмов, но затрудняет

обоснованный выбор структурных схем при создании новых конструкций

ВКА. При этом наиболее жесткие требования к механизмам ВКА предъ-

являет сверхвысоковакуумное оборудование [51, 74], т.к. необходи-

мость сохранения определенного состава остаточной газовой среды,

высокие температуры прогрева, повышенный износ и коэффициент тре-

ния в вакууме требуют минимума сопряженных пар трения и малых кон-

тактных усилий, в то же время исключая возможность применения

смазки [50].

Частично устраняют конструктивные трудности, связанные с не-

обходимостью обеспечения значительных усилий устройства, использу-

ющие для герметизации: тепловое расширение материалов [67] и пере-

вод металлического уплотнителя в жидкую фазу [76], однако подобные

устройства обладают очень большой инерционностью.

Особенности кинематики и динамики механизмов ВКА наглядно ха-

- 27 -

рактеризует упрощенная зависимость движущих моментов (или сил

) от угла поворота (или перемещения ) уплотнительного

диска, представленная на рис. 1.10 и показывающая, что ВКА имеет

две четко выраженные стадии работы с несоизмеримыми по величине

усилиями и перемещениями: I - стадия открывания или перекрывания

проходного отверстия, где необходимо создание малых усилий на зна-

чительном перемещении уплотнительного диска, определяемом величи-

ной диаметра проходного отверстия (для устройств плоского типа)

или высотой подъема уплотнительного диска (для прочих устройств);

II - стадия герметизации проходного отверстия, в которой развива-

ются значительные усилия на небольших перемещениях, определяемых,

в основном, величиной деформации элементов уплотнительной пары.

При этом, в зависимости от Ду ВКА: = (15 - 200)/1, где

- перемещение (угол поворота) уплотнительного диска при откры-

вании или закрывании проходного отверстия; ( ) - перемещение

(угол поворота) уплотнительного диска при герметизации проходного

отверстия; = (1000 - 2000)/1 - для ВКА с металлическими уп-

лотнителями; = (80 - 250)/1 - для ВКА с эластомерными уп-

лотнителями, где - усилие герметизации уплотнительной пары,

- усилие перемещения уплотнительного диска при перекрывании

проходного отверстия.

Следует отметить, что существующие описания конструкций ВКА

(в основном параметрические) ориентированы на конкретные типы уст-

ройств и их крайне трудно или невозможно применить для разработки

ВКА других типов. Усугубляет ситуацию конструирования ВКА противо-

речивость отдельных требований. Так установленная существенная за-

висимость ресурса уплотнительной пары от скорости приложения к ней

усилия и перегрузок [70] и связанная с этим необходимость уменьше-

ния движущих моментов на ведущем звене устройства и скорости пере-

мещения уплотнительного диска, противоречит требованию высокого

- 28 -

быстродействия.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что ни одна из су-

ществующих конструкций ВКА не удовлетворяет полному набору совре-

менных требований, обладая теми или иными недостатками.

1.3. Структурно-конструктивная классификация ВКА.

Проведенный анализ литературных источников достаточно полно

характеризует ситуацию, сложившуюся в области проектирования ВКА:

отсутствует обоснованный анализ применяемых кинематических схем

ВКА, а также рекомендации и данные по их расчету и конструирова-

нию, поэтому использование той или иной схемы носит эмпирический

характер. Отсутствует единый подход к определению классификацион-

ных признаков ВКА и, как результат, не разработана ее детальная

классификация. Существуют различия и в трактовании терминов. Нап-

ример, в [58] клапаны - устройства с Ду до 100 мм, а затворы -

устройства с Ду свыше 100 мм; в [54] клапан - устройство, позволя-

ющее регулировать или полностью прекращать поток газа в вакуумной

системе, затвор - клапан, позволяющий соединять и разобщать эле-

менты ВС. При этом оба варианта определения содержат противоречия,

т.к. в первом случае одинаковые конструкции различных типоразмеров

должны относиться к разным группам устройств, а во втором случае

деление чисто условно, вследствие адекватности реально выполняемых

клапанами и затворами функций. Все это приводит к многовариант-

ности ВКА (например, только в одной организации за 13 лет было

разработано более 100 наименований ВКА на 41 Ду [77]), затрудняет

унификацию ВКА и требует разработки дополнительных критериев и ог-

раничений применительно к конкретным ее типам.

Вместе с тем, представляется логичным проводить классификацию

ВКА в соответствии с модульным принципом, положенным в основу

- 29 -

функционально-структурного анализа существующих конструкций ВКА, с

сохранением предварительного деления по эксплуатационным признакам

(назначению: устройства напуска, аварийные и т.п.; рабочему давле-

нию: низковакуумные, высоковакуумные, сверхвысоковакуумные и т.д.

[78]).

С позиций решения задач функционального и схемотехнического

проектирования ВКА, используя результаты проведенного на основе

блочно-иерархического подхода с учетом монтажных и функциональных

особенностей ВКА анализа ее существующих конструкций, выделим два

иерархических уровня представления ВКА: устройство в целом и функ-

циональные модули (ФМ), его составляющие. При этом каждый ФМ ВКА

решает определенную задачу, хотя монтажно они могут быть неразде-

лимы и иметь общие элементы, через которые осуществляется переда-

ча, например, усилий или момента от одного ФМ к другому. В

конструкциях ВКА можно выделить шесть различных ФМ, причем четыре

из них присутствуют у всех рассмотренных устройств, т.е. являются

основными, обеспечивающими выполнение базовых функций ВКА, и не-

основные, способствующие выполнению функций основных ФМ. К основ-

ным ФМ ВКА относятся: привод, генерирующий энергию для перемещения

уплотнительного диска и герметизации уплотнительной пары; ввод

движения, предназначенный для передачи движения из атмосферы в ва-

куумную среду без нарушения ее свойств; уплотнительная пара, реа-

лизующая основную функцию ВКА - перекрывание и герметизацию про-

ходного отверстия; корпус, обеспечивающий требуемое взаиморасполо-

жение ФМ ВКА и присоединение самой ВКА в ВС. Особенностью подобно-

го структурного членения является выделение в виде самостоятельно-

го ФМ уплотнительной пары (включающей уплотнительный диск - ведо-

мое звено уплотнительного органа, и седло - элемент корпуса), поз-

воляющее более детально представить процесс герметизации. Следует

отметить существование определенной последовательности основных ФМ

- 30 -

в конструкциях ВКА, что позволяет представить обобщенную структуру

ВКА в виде блок-схемы (рис. 1.11).

К неосновным ФМ ВКА можно отнести механизмы - ФМ, расположен-

ные между основными ФМ и согласующие их входные и выходные харак-

теристики (параметры движения).

Особую сложность вызвало проведение систематизации многообра-

зия возможных схем механизмов ВКА с целью их упорядочения. Подроб-

но решение данной задачи рассмотрено автором в [80], где предложе-

на классификация ВКА, проведенная по структурно-конструктивным

признакам: расположению и сочетанию механизмов относительно ваку-

умной полости и по типу механизмов. Предлагаемая обобщенная

классификация ВКА приведена на рис. 1.12 и включает ее разбиение

по признакам используемых механизмов. Подобная классификация до-

полняет известные и позволяет быстро находить возможные варианты

механизмов при их конструировании, оценить их, установить наиболее

оптимальные структуры механизмов ВКА, выявить необходимые типы ав-

томатических приводов и вакуумных вводов движения.

1.4. Аналитический обзор методов поискового конструирования.

Необходимость учета труднообозримого множества различных фак-

торов при разработке ВКА, возможность использования формальных

представлений там, где заканчивается интуитивное мышление, прове-

дение детального анализа как можно большего числа аналогов и про-

тотипов, стремление к повышению эффективности разработок и росту

производительности труда конструктора требуют перехода к автомати-

зированному проектированию ВКА.

При этом отмеченная стабильность структуры существующих

конструкций ВКА, составные элементы которой выбираются, как прави-

ло, из систематизированных рядов, позволяет считать применимыми

- 33 -

для процесса схемотехнического проектирования ВКА методы поисково-

го конструирования.

Детальный анализ математических методов поискового конструи-

рования и методов выбора технических объектов с позиций автомати-

зации процесса проектирования проведен автором в [81].

Рассмотрим основные методы, используемые при автоматизации

начальных этапов проектирования, известные в отечественной и зару-

бежной практике, применительно к конкретному классу технических

объектов - ВКА.

В настоящее время известно более 30 методов поискового

конструирования. Разработки более эффективных методов поиска новых

технических решений (ТР) интенсивно продолжаются, при этом просле-

живаются три основных направления разработок [82 - 85]: создание

принципиально новых методов, создание новых методов на основе ком-

бинации известных и увеличение эффективности известных методов.

Анализ известных методов формирования ТР показал, что наибо-

лее эффективными, а потому широко используемыми на практике, явля-

ются: "теория решения изобретательских задач" (ТРИЗ), метод эв-

ристических приемов, обобщенный эвристический метод, метод гирлянд

ассоциаций и метафор, морфологические методы анализа и синтеза та-

кие, как метод "матриц открытия", метод десятичных матриц поиска и

другие, направленные на исследование самого объекта проектирова-

ния, а не психологических особенностей человека. Кроме того, ука-

занные методы могут быть в значительной мере формализованы, что

немаловажно с позиций поставленных задач.

В работах [86, 87] разработана методика решения конструк-

торско-изобретательских задач, которая получила название "теория

решения изобретательских задач". ТРИЗ представляет собой система-

тизированный набор преимущественно эвристических правил, выполне-

ние которых облегчает решение конструкторской задачи.

- 34 -

В работе [88] описаны алгоритмы автоматизированного поиска

новых конструктивных решений с помощью ЭВМ для задач невысокого

уровня сложности и новизны, с применением метода эвристических

приемов. Суть этого метода при проектировании новой конструкции

можно представить, как преобразование известных прототипов с по-

мощью определенного набора эвристических приемов, и получение мно-

жества новых конструктивных решений, отвечающих заданным условиям,

среди которых ведется затем поиск оптимального варианта. Библиоте-

ка эвристических приемов преобразования прототипов для несложных

механических систем содержит 16 приемов, которые подразделены на

16 групп. Из 86 составленных эвристических приемов для 65 имеются

рекомендации по их формальному описанию, открывающие возможность

их программирования на ЭВМ, остальные пока не удалось формально

описать [82].

Метод гирлянд ассоциаций и метафор является одним из эвристи-

ческих методов поискового конструирования, требующим минимальной

информационной подготовки и в наибольшей мере использующим инфор-

мацию, содержащуюся в мозгу конструктора [89]. Суть метода заклю-

чается в определении гирлянд синонимов и гирлянд случайных объек-

тов с последующим составлением комбинаций из этих случайных гир-

лянд. Конечным результатом является выбор рационального варианта

технического объекта и отбор наилучшего из рациональных, как пра-

вило, методом экспертных оценок.

Во многих методах поиска новых ТР присутствуют одинаковые или

близкие этапы и процедуры, причем существует некоторый инвариант-

ный порядок следования этапов и процедур. Это послужило основанием

для создания обобщенного эвристического метода. В работе [90] на

основе анализа большой группы известных методов решения техни-

ческих задач выявлен полный список основных этапов творческого

процесса и процедур его выполнения и построен обобщенный эвристи-

- 35 -

ческий алгоритм поиска ТР. В структуре обобщенного алгоритма

используются массивы информации, которые являются данными для про-

цедур этапов проектирования. Порядок следования процедур и выбор

процедур в процессе решения задачи определяется разработчиком. По-

иск нового ТР разрабатываемого объекта ведется последовательным

выполнением на каждом этапе необходимых процедур. Список процедур

этапов, а также описание назначения этапов и массивов информации

изложены в работах [91, 92]. Следует отметить, что разработка

обобщенного эвристического метода была выполнена на эмпирическом

уровне. В связи с этим необходимо проведение методологических

исследований по научно обоснованному обобщению эвристических мето-

дов и установлению полного набора и иерархии этапов и процедур об-

работки информации при поиске новых ТР.

Для поиска новых ТР на основе взаимосвязи показателей техни-

ческих объектов и эвристических приемов разработан метод десятич-

ных матриц поиска (ДМП) [93]. Все основные показатели технических

объектов разделены на 10 групп, что дало возможность построить

особую десятичную систему матричных таблиц, в строках которых за-

писаны меняющиеся характеристики технического объекта, а в столб-

цах - группы эвристических приемов их изменения. Каждая клетка на

пересечении ряда и столбца соответствует определенному ТР, краткое

описание которого может сопровождаться графическим описанием. В

зависимости от содержащейся информации ДМП могут носить общетехни-

ческий, отраслевой или предметный характер. При построении ДМП

должна использоваться патентно-техническая литература. Значение

взаимосвязей показателей технических объектов и групп эвристи-

ческих приемов, а также конкретных требований решаемой задачи пре-

допределяет целенаправленный выбор пути ее решения.

Ф. Цвикки предложил чрезвычайно простую модель ситуации выбо-

ра, в которой оказывается конструктор при создании новых ТР, наз-

- 36 -

вав ее морфологическим ящиком [94]. Техничекий объект исследуют,

выделяя ряд характерных признаков Затем для признаков

находят различные варианты исполнения, реализующие эти признаки.

Полученные данные оформляют в виде таблицы 1.1.

Таблица 1.1

"Морфологический ящик" Цвикки.

Столбцы в таблице соответствуют необходимым признакам , а

отдельная позиция в столбце - варианту его функциональной реализа-

ции . Свободу выбора при конструировании Ф. Цвикки трактует как

возможность работать с альтернативами, т.е. выбирать одни варианты

выполнения блоков и отвергать другие. Выделяя в каждом столбце

таблицы альтернативу и соединяя их отрезками линий, получают мно-

гозвенную линию , которая символизирует описание

признаков некоторой конструкции. Выбор предпочтительной конструк-

ции инженер делает интуитивно, по очереди перебирая комбинации

альтернатив.

Другой формой морфологического анализа и синтеза ТР является

комбинирование признаков, характеризующих различные системы (орга-

низующие понятия). В этом случае, при комбинировании двух органи-

- 37 -

зующих понятий, рекомендуется табличная форма, в столбцах которой

записаны признаки одного организаующего понятия, а в строках приз-

наки другого организующего понятия. В каждой клетке таблицы нахо-

дится рабочий принцип из комбинации двух элементов решения. При

комбинировании более чем двух организующих понятий пользуются мат-

ричной формой записи [95].

Таким образом, метод морфологического анализа и синтеза [85,

96 - 99] состоит в изучении всех возможных комбинаций параметров,

форм, отдельных элементов для решения поставленной задачи. Значе-

ния параметров, типы форм и элементов образуют таблицу (матрицу).

Различные сочетания перечисленных характеристик рождают альтерна-

тивные идеи или рекомендуемые решения задачи. Морфологический ана-

лиз применяется для решения задач поиска рациональных структур,

схем и компоновок. При возможности синтеза большого множества но-

вых ТР в этом методе практически не решена проблема выбора наилуч-

шего решения из числа синтезируемых.

В последнее время на основе идеи Цвикки предложена комбина-

торная концепция работы с альтернативами, на основе которой разра-

ботаны новые системно-морфологические алгоритмы оптимизации и об-

щая логическая схема принятия решений при конструировании [85]. В

работе вводится понятие комбинаты, являющейся сопряженной к поня-

тию альтернативы, отражающей все локальные, исключающие друг друга

варианты взаимной подмены блоков при конструировании. Не всякая

комбинация при замене одного функционального блока другим (из од-

ной и той же альтернативной серии, описывающей данный признак )

правомерна. Фиксацию этого факта отражает комбината, т.е. совокуп-

ность всех мыслимых альтернатив формально порождает множество ком-

бинаций, а отношение комбинаторности ограничивает это множество и

показывает, что на самом деле невозможно, а что необходимо еще

исследовать. Иерархическая списковая структура, в которой учтены

- 38 -

все альтернативы и комбинаты признаков строения, составляет комби-

наторный файл семейства технических систем, который представляет

не что иное, как многоуровневую композицию вложенных друг в друга

морфологических ящиков [96].

Таким образом, анализ методов поискового конструирования по-

казывает, что большинство из них представляет собой комбинацию из

нескольких известных методов или же являются производными какого-

либо метода, но более эффективными. Наиболее простым и формализуе-

мым методом, позволяющим генерировать большое множество вариантов

ТР, является метод морфологического анализа и синтеза, но в нем не

формализована процедура выбора наилучшего решения. Представляется

целесообразным развитие этого метода для структурного синтеза ВКА

путем добавления процедур структурной оптимизации [100].

Вместе с тем, изучение вопросов, связанных с автоматизацией

проектно-конструкторской деятельности и, в частости, созданием

САПР, показало подробную проработку методических основ создания

САПР, типовых структур подсистем САПР, правил построения и органи-

зации различных видов обеспечений САПР (математического, программ-

ного, информационного) и других теоретических аспектов автоматизи-

рованного проектирования [101 - 105]. Большое внимание уделено и

аппаратным средствам САПР [104, 106]. Однако проблемы создания

конкретных прикладных САПР достаточно полно решены лишь в областях

электротехники и радиоэлектроники [107 - 109]. В разработке же

САПР машиностроительных объектов, к которым относится и ВКА,

основной упор делается на автоматизацию отдельных процедур, авто-

матизированное проектирование отдельных элементов, автоматизацию

технологической подготовки производства и изготовление конструк-

торской документации [110 - 113]. При этом отмечается сложность

выработки единого универсального принципа конструирования техни-

ческих объектов машиностроения, основанного во многом на трудно-

- 39 -

формализуемом творческом подходе [102, 114] и неизбежность, в свя-

зи с этим, модификации типовых структур их САПР.

Принципиальная возможность решения задачи автоматизации про-

ектирования конкретного класса ТО делает актуальной разработку ме-

тодических основ создания САПР ВКА, формализацию типовых процедур

ее конструирования и построение интегральных и локальных критериев

оценки конструкции на различных этапах проектирования ВКА.

Выводы.

На основании изучения материалов, отражающих состояние работ

по созданию ВКА, с учетом требований, предъявляемых вакуумным тех-

нологическим и научным оборудованием, и необходимости автоматиза-

ции процесса проектирования ВКА, можно сделать следующие выводы:

1. Проанализированы характерные режимы эксплуатации ВКА, оп-

ределены условия ее применения в различных группах оборудования и

сформулированы основные требования к показателям качества ВКА.

Установлено, что в ряде случаев ВКА регламентирует производитель-

ность и надежность ВТО.

2. Проведен анализ существующих конструкций ВКА, показана от-

носительная стабильность структуры и выделены основные ФМ ВКА. От-

мечено влияние различных вариантов ФМ на показатели качества ВКА.

Предложен обобщенный показатель, позволяющий производить прибли-

женную оценку эффективности конструкций ВКА, показавший преиму-

щество устройств плоского типа. Установлено отсутствие конструкций

ВКА, полностью удовлетворяющих разнообразным диапазонам требова-

ний, предъявляемых ВТО, в частности отмечено отсутствие цельноме-

таллических плоских устройств, серийно выпускаемых отечественной

промышленностью, а также заметное отставание имеющейся ВКА по ряду

показателей качества от зарубежных образцов.

- 40 -

3. Проведен анализ кинематических и динамических особенностей

работы ВКА, подтвердивший практическое отсутствие исследований в

области анализа и синтеза ее механизмов. Показано, что в настоящее

время не определены кинематические и динамические критерии, позво-

ляющие осуществить выбор рациональной кинематической схемы ВКА.

4. Предложена обобщенная классификация ВКА, построенная на

основании модульно-иерархического подхода к анализу существующих

конструкций ВКА, включающая ее разбиение по признакам используемых

механизмов и дополняющая известные классификации. Отмечено, что

для проведения функционального и схемотехнического проектирования

ВКА ее иерархия может быть представлена двухуровневым деревом, где

первый уровень - ВКА в целом, второй уровень - множество ФМ, вхо-

дящих в структуру ВКА.

5. Показана возможность формирования структуры ВКА выбором из

множества вариантов составляющих ее элементов, что позволяет счи-

тать применимыми для схемотехнического проектирования ВКА методы

поискового конструирования.

6. Анализ методов поискового конструирования показал це-

лесообразность использования метода морфологического анализа и

синтеза, позволяющего формализовать процесс проектирования ВКА на

этапе синтеза ее структурных схем. Отмечены перспективные возмож-

ности данного метода для синтеза новых технических решений при

условии включения процедур выбора и структурной оптимизации.

7. Обоснована необходимость автоматизации проектирования ВКА.

Показана сложность автоматизации конструкторской деятельности,

особенно при разработке машиностроительных объектов. Обзор сущест-

вующих систем автоматизированного проектирования подтвердил

отсутствие разработок по автоматизации схемотехнического и функци-

онального проектирования объектов класса ВКА.

.

- 41 -

2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ВАКУУМНОЙ КОММУТАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ

2.1. Системная модель ВКА при функциональном и схемотехни-

ческом проектировании.

Анализ существующих конструкций ВКА, проведенный в главе 1,

показал, что ВКА является сложной технической системой и имеет

многоуровневую иерархическую структуру [115]. По функциональному

признаку можно выделить следующие уровни ее членения: ВКА как це-

лое, ФМ ВКА, функциональные единицы ФМ, детали ВКА, функциональные

элементы деталей, поверхности функциональных элементов. Как было

отмечено ранее, для решения задач функционально-схемотехнического

проектирования ВКА, относящегося к начальным стадиям конструирова-

ния ТО (до детальной проработки) и формирующего на 70 - 80% облик

будущего изделия [88], достаточно рассматривать ВКА в виде двуху-

ровневой системы.

Структурирование и формализация описания ВКА и этапов про-

цесса ее функционального и схемотехнического проектирования выдви-

гает в качестве основной задачи установление логических и функцио-

нальных зависимостей между модулями ВКА, их параметрами и требова-

ниями и условиями внешней среды.

Сложность ВКА и указанных взаимосвязей требует системного

подхода к анализу ВКА при ее проектировании [116]. Для построения

системной модели ВКА, необходимой для установления и раскрытия ее

системных характеристик и выявления отношений между ними, предста-

вим системное описание ВКА на начальных стадиях проектирования в

виде двух групп соотношений:

(2.1)

(2.2)

- 42 -

где - множество функций; - множество структур; - мно-

жество функциональных свойств; - множество свойств, проявляю-

щихся при взаимодействии с окружением; - номер ФМ ВКА; -

количество ФМ; , - соответственно множество существующих

вариантов ВКА и ее элементов и множество отношений между ними;

- множество целей проектирования ВКА; - множество соот-

ветствий, определяющих уравнения функционирования и проектирования

ВКА; - множество соответствий, оценивающих оптимальность ВКА;

= 1,2 - уровень членения ВКА.

Выражение (2.1) описывает системную модель ВКА как объекта

конструирования, а выражение (2.2) - системную модуль процесса

проектирования ВКА. При этом первая строка выражения (2.1) описы-

вает ВКА в целом, а вторая строка описывает ФМ ВКА.

Построенная системная модель ВКА позволяет перейти к формали-

зации установленных взаимосвязей, используя известный математи-

ческий аппарат математического анализа и дискретной математики для

проведения структурного синтеза конструкции. При этом методика

построения системной модели заключается в раскрытии компонентов в

выражениях (2.1) и (2.2). Следует отметить, что предлагаемая

системная модель ВКА, предназначенная для всестороннего описания

ВКА, инвариантна относительно рассматриваемых уровней членения ВКА

[117].

2.2. Функции и структура ВКА.

2.2.1. Функции ВКА.

Головным этапом системного анализа ВКА является определение

выполняемых ею функций. Влияние выполняемых ВКА функций на ее

структуру, отмеченное в главе 1, определяет значимость данной

- 43 -

системной характеристики для проектирования ВКА. Исходя из того,

что целесообразность того или иного ТО определяется его способ-

ностью реализовывать интересующую человека потребность, в основу

определения функций ВКА и ее структурных составляющих положен сле-

дующий принцип: функция любого ТО (или ФМ) определяется целью,

поставленной ТО более высокого уровня, включающим рассматриваемый

ТО (ФМ).

Объектом более высокого уровня для ВКА в целом является ВС

ВТО. Функционирование ВС, назначение которой формулируется как

"создавать вакуумную среду и формировать ее состав", требует вы-

полнения ряда условий (т.е. достижения ряда целей), характеризуе-

мых, в частности, функцией разобщать герметично и сообщать полости

элементов ВС между собой и внешней средой, что определяет необхо-

димость появления соответствующей разнообразной ВКА.

Отсюда вытекает и назначение ВКА - периодическое сообщение и

герметичное перекрытие элементов вакуумных систем (камер, насосов,

ловушек, трубопроводов и т.п.) между собой и с внешней средой, а

также регулирование потоков газов в системе [54], анализ которого

позволяет выделить ее обобщенную функцию.

Представим описание обобщенной функции ВКА в виде структурной

формулы, состоящей из тройки множеств [88] и позволяющей сформиро-

вать понятийное описание обобщенной функции ВКА, представленное в

таблице 2.1:

(2.3)

где - множество действий, производимых ВКА и приводящих к же-

лаемому результату; - множество объектов, на которые это

действие направлено; - множество особых условий и ограничений,

накладываемых на реализацию функции.

При этом компонент может отсутствовать в описании функ-

ции, если информация об условиях и ограничениях очевидна и одноз-

- 44 -

начно вытекает из описания компонентов и .

Таблица 2.1

Описание обобщенной функции ВКА.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

│ Компоненты

ТО │──────────────────┬─────────────────────┬──────────────────

│ D │ V │ W

──────┴──────────────────┴─────────────────────┴──────────────────

1. Закрывание Проходное отверстие Вакуумная среда,

2. Герметизация Стык уплотнительной атмосфера,

ВКА пары температура

3. Открывание Проходное отверстие

4. Регулирование Газовый поток

──────────────────────────────────────────────────────────────────

Действиям , выполняемым ВКА и приведенным в таблице 2.1,

соответствует множество основных рабочих функций, т.е. обобщенную

функцию ВКА можно представить в виде:

(2.4)

где , = 1,4 - основные рабочие функции, соответственно: закры-

вать проходное отверстие, герметизировать стык уплотнительной пары,

открывать проходное отверстие, регулировать газовый поток.

Выделенные функции реализуются в ВТО устройствами

классов "вакуумный клапан" и "вакуумный затвор", объединенных по-

нятием ВКА, при этом регулирование газового потока с учетом того,

что ВКА является самостоятельным конструктивно законченным элемен-

том ВТО [54], присоединенным к другому законченному элементу ВТО

(трубопроводу, рабочей камере и т.п.), сводится к частичному пе-

рекрыванию (открыванию и закрыванию) проходного отверстия, поэтому

справедливо следующее допущение:

, (2.5)

- 45 -

позволяющее рабочую функцию отдельно не рассматривать.

Практическая реализация адекватных соответствующим действиям

рабочих функций , и в ВКА осуществляется посредством

одного и того же воздействия "перемещение", направленного на общий

для данных функций объект - уплотнительный диск. При этом выполне-

ние действия "герметизация" обусловлено взаимодействием подвижного

элемента "уплотнительный диск" с неподвижным элементом корпуса,

называемым "седлом", что объясняет целесообразность совместного

рассмотрения этих элементов в виде "уплотнительной пары" (см. п.

1.2). Очевидно, перемещение уплотнительного диска требует осущест-

вления функции "создать и передать необходимую для движения энер-

гию", а расположение уплотнительного диска в вакуумной среде, а

источника энергии - вне ее, определяет необходимость функции "пе-

редать движение уплотнительному диску из атмосферы в вакуумную

среду". Основываясь на том, что каждая рабочая функция может быть

реализована неким самостоятельным функциональным модулем, обладаю-

щим собственным набором входных ( ) и выходных ( ) функцио-

нальных параметров, заключаем, что в ВКА необходимо также согласо-

вание параметров и последовательных перемещений, приво-

дящее к появлению функции "преобразовать движение". Помимо этого

для ВКА, как и для большинства ТО, обязательна функция "обеспечить

требуемое взаиморасположение модулей в пространстве".

Таким образом, из анализа рабочих функций существующих

конструкций ВКА можно выделить следующие основные базовые функции

, где = 1,3 ; = 1,5; представленные в

таблице 2.2, без которых невозможно выполнение обобщенной функции

ВКА.

- 46 -

Таблица 2.2

Основные базовые функции ВКА

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Обобщенная ! Основные базовые функции

функция !

-----------------------------------------------------------------

- создавать и передавать механическую энергию

для перемещения уплотнительного диска;

- преобразовывать параметры движения;

- передавать движение из атмосферы в вакуумную

среду;

- преобразовывать параметры движения для пере-

мещения и герметизации уплотнительного диска;

- герметизировать стык седла с уплотнительным

диском;

- фиксировать положение элементов в пространст-

ве и содержать вакуумную среду.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Индекс обозначает необходимость выполнения соответствую-

щих функций для каждого из трех основных действий (см. табл. 2.1),

т.е. как при закрывании проходного отверстия, так и при герметиза-

ции и открывании ( = 1, 2, 3 - соответственно).

Помимо основных базовых функций, задающих принцип функциони-

рования и общую структуру, ВКА может обладать рядом дополнительных

функций , направленных на улучшение исполнения качества основ-

ных функций и определяемых как дополнительными требованиями,

предъявляемыми ВТО, так и функционированием собственно ВКА. Полная

функция ВКА при этом имеет следующий вид:

(2.6)

Дополнительные функции возникают, как правило, при

- 47 -

реализации целей проектирования, связанных с улучшением параметров

действий, эксплуатационных и конструктивных свойств ВКА, что будет

рассмотрено в соответствующем разделе.

Функциональный подход к анализу ВКА позволяет абстрагиро-

ваться от существующего объектного воплощения ФМ, например, пере-

давать движение из атмосферы в вакуум не механическим путем, а

используя воздействие магнитного поля; использовать дополнительные

функции - нагреть элементы уплотнения, разгрузить уплот-

нительную пару, основанные на различных физических эффектах [70,

79], что способствует эволюции ВКА и ее усовершенствованию.

2.2.2. Структура ВКА.

Предлагаемый подход к рассмотрению структур ВКА основан на

том, что проектирование формально представляют как создание, поиск

и преобразование различных аспектов структур ТО [118]. В связи с

этим важно определить множество видов структур ВКА, необходимое и

достаточное для отображения процесса функционального и схемотехни-

ческого проектирования.

С учетом изложенного структуру ВКА в общем случае можно

описать следующим образом:

(2.7)

где , , , , , , - соответственно принципи-

альная, функциональная, абстрактная, морфологическая, вариантная,

элементная и компоновочная структуры.

Принципиальная структура (или структура действий)

состоит из множества выполняемых ВКА действий и отношений сле-

дования , указывающих на порядок действий. На рис. 2.1

представлен граф обобщенной структуры ВКА, где -

действия, реализующие обобщенную функцию ВКА (см. табл. 2.2).

- 48 -

Множество базовых функций и абстрактных связей между ними

образуют множество функциональных структур . На рис.

2.2 показано множество типовых функциональных структур ВКА, где

вершины - основные базовые функции ВКА (см. табл.

2.2).

В свою очередь каждой базовой функции можно поставить в

соответствие некий реализующий ее обобщенный родовой элемент -

функциональный модуль, являющийся абстрактным объектом , обла-

дающим неким множеством общих свойств и имеющим множество вариан-

тов исполнения, которые наследуют общие свойства ФМ и отличаются

от него оригинальными свойствами [119]. Таким образом, абстрактная

структура имеет множество взаимосвязанных абстракт-

ных родовых элементов , исполняющих базовые функции .

Установим требуемые соответствия : - функция

привода (ФМ ); - множество типов приводов; - функция меха-

низма преобразования движения (ФМ ); - множество механизмов;

- функция вакуумного ввода движения (ФМ ); - множество ти-

пов вводов движения; - функция механизма перемещения уплотни-

тельного диска и герметизации (ФМ ); - множество механизмов;

- функция уплотнительной пары (ФМ ) - условного ФМ, образуемо-

го седлом и уплотнительным диском; - множество типов уплотни-

тельных пар; - функция корпуса (ФМ ); - множество типов

корпусов. На рис. 2.3 показано множество обобщенных структур .

ВКА, в котором вершины , = 1,6 - вышеописанные абстрактные

ФМ.

Структура является основой для построения морфологической

структуры ВКА, которую с позиций функционально-схемотехни-

ческого проектирования ВКА целесообразно и достаточно представить

двухуровневым деревом. Первый уровень - ВКА как техническая систе-

ма в целом, второй уровень - функциональные модули ВКА, где П -

- 50 -

привод; ВД - вакуумный ввод движения; УП - уплотнительная пара; М1

- механизм преобразования движения; М2 - механизм перемещения уп-

лотнительного диска; К - корпус. Намечен третий иерархический уро-

вень - множество вариантов ФМ. Морфологическая структура

, имеет два подмножества вершин: -

типы ФМ (вершины "и") и - множество вариантов исполне-

ния типов (вершины "или"), а также два подмножества отношений:

- отношения включения между элементами , - родовидовые

отношения между и . Структура описывается графом типа

дерева, представленном на рис. 2.4, где - вершины "и", -

вершины "или" (конкретизация графа - рис. 1.12). Возможно дальней-

шее расширение данного дерева и вглубь и в ширину. При этом раз-

ветвление дерева произойдет в случае появления новых вариантов ФМ

в результате анализа возможности применения в ВКА их существующих

воплощений (например, электрических приводов [71]) или появления

новых дополнительных ФМ [79].

Замена абстрактных элементов вариантами их исполнения

образует вариантную структуру .

Если на множестве конкретных вариантов ввести отношения

соединения , получим множество элементных структур .

При этом декартово произведение ,

определяет множество всевозможных вариантов решений для обоб-

щенной структуры ВКА. Отличие структуры от состоит в том,

что множество элементов в ней имеет конкретное имя вместо

абстрактного, а абстрактные отношения связи заменены на конк-

ретные отношения соединения . На рис. 2.5 показан граф струк-

туры одного из вариантов ВКА [120] (рис. 1.4, а), в котором

вершины: - "ручной привод", - "эксцентриковый механизм

преобразования движения", - "сильфонный ввод движения в ваку-

ум", - "рычажный механизм перемещения уплотнительного диска",

- 53 -

- "резино-металлическая уплотнительная пара", - "проход-

ной корпус".

Компоновочная структура есть развитие графа , отража-

ющая компоновку ВКА: , где - множество элементов

из ; - множество пространственных отношений взаимного

расположения, принадлежности, направления, характеризуемых поняти-

ями типа "перпендикулярно", "параллельно", "соосно", "внутри",

"снаружи", "по оси Х" и т.п.

Таким образом, ВКА представляет собой некий состав определен-

ным образом взаиморасположенных и взаимосвязанных ФМ, что позволя-

ет сформулировать следующие утверждения, объясняющие некоторые ра-

нее приведенные положения.

Утверждение 1. В структуре ВКА обязательно существуют привод

и уплотнительная пара, в противном случае ВКА функционировать не

будет.

Утверждение 2. В случае корпусного выполнения ВКА уплотни-

тельная пара всегда расположена внутри корпуса, в то время как

привод расположен с внешней стороны корпуса.

Следует отметить, что в ВТО бескорпусное выполнение ВКА прак-

тически не используется.

В соответствии с утверждением 2 передача движения от ФМ "при-

вод" к элементу "уплотнительный диск" ФМ "уплотнительная пара"

влечет за собой появление обязательного ФМ "ввод движения в ваку-

ум" (с новой рабочей функцией "передавать движение из ат-

мосферы в вакуум"), связанного с ФМ "корпус" (функция "со-

держать вакуумную среду"), определяющего взаимосвязь ФМ:

ФМ ФМ (ФМ ) ФМ (2.8)

где - знак отношения следования.

Перечисленные ФМ являются для ВКА основными (обязательными)

ФМ, что подтверждает и проведенный анализ ее существующих

- 54 -

конструкций (п. 1.2).

Каждый из перечисленных ФМ обладает собственным набором

свойств, позволяющих реализовать свою рабочую функцию и харак-

теризуемых согласно (2.7) соответствующими и . При

этом главным условием возможности сопряжения ФМ является идентич-

ность предшествующего ФМ (с функцией ) с последую-

щего ФМ (с функцией ). В случае несогласования и , т.е.

при , необходимо включение ФМ (со вспомогательной

функцией ) такого, что:

и (2.9)

Из этого вытекает следующее утверждение:

Утверждение 3. Если значения функциональных параметров сопря-

гаемых ФМ ВКА не совпадают, то между ними располагается вспомога-

тельный ФМ, их согласующий.

Предположив, что в общем случае и ФМ из (2.8) между

собой не согласованы, введем по каждому следованию вспомогательные

ФМ. Поскольку такими параметрами основных ФМ являются характе-

ристики движения, то вспомогательными ФМ ВКА являются механизмы,

что нашло отражение в таблице 2.2 и в описании структуры , где

каждой поставлен в соответствие определенный ФМ - .

При этом множество функций для всех действий ВКА форми-

рует полную функциональную структуру и соответствующие ей полную

абстрактную и вариантную структуры, включающие максимально возмож-

ное количество ФМ, реализующих основную функцию . Например,

согласно таблице 2.2, ВКА может иметь до трех приводов, вводов

движения и соответственное число механизмов [121]. Подобные струк-

туры весьма сложны, а при необходимости дальнейшего членения ВКА

получаются громоздкими и труднообозримыми, поэтому при рассмотре-

нии целесообразно проводить их декомпозицию путем разбиения на от-

дельные фрагменты [119]. Обобщенные структуры (рис. 2.3) отоб-

- 55 -

ражают данный подход, используя тождество функций:

= 1,4 (2.10)

Следующим этапом системного анализа ВКА является определение

ее свойств.

2.3. Свойства ВКА и ее структурных составляющих.

Важность определения свойств в конструировании ВКА заключа-

ется в том, что ее интегративные свойства, заданные в виде требо-

ваний в ТЗ, определяются свойствами структурных составляющих (ФМ),

которые, образуя при взаимодействии структуру ВКА, порождают новые

свойства ВКА как целого.

Конкретизация свойств требует анализа окружения ВКА - всего,

не принадлежащего ВКА, но связанного с ней и оказывающего на нее

существенное влияние, которое можно представить состоящим из сле-

дующих компонентов:

(2.11)

где соответственно: - управляющие объекты (человек, робот,

ЭВМ); - эксплуатация на всех стадиях существования ВКА; -

взаимодействующие (сопряженные) ТО (камеры, трубопроводы и т.п.);

- производство; - технологический процесс, которому

способствует ВКА; - изготавливаемое изделие; - источник

энергии; - режимы функционирования; - окружающая среда

эксплуатации.

Взаимодействие ВКА с окружением порождает множество связей

, требования которых, в свою очередь, определяют то или иное

свойство ВКА. На рис. 2.6 показан мультиграф связей ВКА с окруже-

нием, где ; , = 1,9; позволяю-

щий выявить множество соответствующих свойств ВКА, которые обычно

группируют по следующим классам: функциональные, эксплуатационные,

- 56 -

производственные и конструктивные свойства.

Под функциональными свойствами будем понимать свойства

ВКА, проявляющиеся при реализации ее целевой функции и описываемые

параметрами действия. Их состав в общем случае: , где

- проводимость, - герметичность, - быстродействие, ха-

рактеризуемое параметрами - проводимость, - суммарное на-

текание, складывающееся из - натекания через ввод движения в

вакуум, - натекания через уплотнительную пару; - натека-

ние через корпусные детали; , - время открывания и время

закрывания соответственно.

Эксплуатационные свойства ВКА - это свойства, проявляющи-

еся при ее взаимодействии на всех стадиях эксплуатации: хранении,

транспортировании, функционировании, обслуживании и ремонте.

Основными свойствами являются: надежность, ремонтопригодность,

сохраняемость, эргономичность. Они характеризуются следующими па-

раметрами ВКА: - средний ресурс; - наработка на отказ;

- среднее время восстановления; - периодичность профилакти-

ческих ремонтов; - допускаемая температура прогрева; -

предел применения по вакууму; - допустимая частота включения;

- возможность работы в любом положении; - поток газовыде-

ления; - сохранение герметичности при обесточивании; -

сохранение герметичности при большем давлении под уплотнительным

диском; - возможность открытия против атмосферы; - возмож-

ность аварийного срабатывания; - возможность замены уплотни-

тельной пары без демонтажа ВКА; - возможность регулирования

усилия герметизации без демонтажа; - удобство контроля за ра-

ботой; - возможность использования в АСУ ТП; - тип приво-

да; - мощность привода; - энергетическая характеристика

привода; - затраты на эксплуатацию; - показатель вибраци-

онности; - необходимость охлаждения при прогреве.

- 57 -

Производственные свойства ВКА проявляются во взаимо-

действии с производством. С точки зрения конструирования к ним от-

несем технологические и экономические свойства, основными из кото-

рых являются трудоемкость, материалоемкость, энергоемкость. ВКА

характеризуется следующими параметрами свойств : - трудоем-

кость изготовления; - коэффициент унификации; - коэффици-

ент применяемости материалов; - коэффициент сборности; -

стоимость; - экономическая эффективность.

Конструктивные свойства проявляются при взаимодействии

структурных составляющих ВКА и во многом определяются конструкто-

ром. К параметрам свойств ВКА относятся: - диаметр услов-

ного прохода; - масса; - габариты ( - длина, - ши-

рина, - высота); - расстояние между присоединительными

фланцами; - взаимное расположение осей проходных отверстий;

- показатель патентной чистоты.

Мультиграф связей между ВКА, отражающий их многообразие и

позволяющий сформировать требуемые для последующего анализа табли-

цы связей, представлен на рис. 2.7.

Следует отметить, что предложенный состав свойств в выделен-

ных классах не является постоянным и может изменяться в зависи-

мости от конкретных рабочих функций проектируемой ВКА, т.е. при

изменении окружения и предъявлении новых требований к ВКА.

Для анализа свойств ВКА построим таблицу связей выделенных

параметров (таблица 2.3), в которой 1 обозначает наличие связи па-

раметров, 0 - отсутствие таковой, т.к. графовое представление свя-

зей в данному случае трудно реализуемо вследствие большого числа

параметров и отношений между ними. Таблица связей позволяет: опре-

делить необходимые для конструирования связи между свойствами ВКА

и требованиями окружения, сформировать системную модель для форма-

лизации процессов проектирования; определить влияние изменения ка-

- 60 -

кого-либо параметра на другие, с целью нахождения конфликтных си-

туаций; выявить необходимые для теоретических и экспериментальных

исследований неизвестные ранее взаимосвязи; формализовать анализ

изменений при корректировке ТЗ и адаптации проектирования при из-

менении окружения .

Структурные составляющие (ФМ ) ВКА, являясь ее неотъемлемыми

элементами, имеют также собственные свойства, во многом отличные

от свойств, присущих ВКА в целом, что обусловлено изменением

состава окружения ФМ по сравнению с ВКА. При этом свойства ФМ ВКА

определим по аналогичной модели:

(2.12)

где - множество свойств -го ФМ; , , , - соот-

ветственно множества функциональных, эксплуатационных, произ-

водственных и конструктивных свойств -го ФМ; = 1,6 - индекс

принадлежности соответствующему (см. п. 2.2.2) ФМ ВКА.

Рассмотрим подробно параметры свойств основных ФМ ВКА.

В качестве основных параметров свойств ФМ - привод - выделим

следующие: - мощность; - принцип действия; - номинальный

момент; - номинальная частота вращения/скорость движения што-

ка; - точность позиционирования; - ход штока; - надеж-

ность; - ресурс; - ремонтопригодность; - простота изго-

товления; - простота сборки; - стоимость; - масса; -

габариты; - расположение осей вала или штока; - вид и нап-

равление движения.

Взаимосвязи свойств ФМ отражены в таблице 2.4. При этом +1 -

означает увеличение параметра в столбце при увеличении параметра в

строке; -1 - уменьшение параметра в столбце при увеличении пара-

метра в строке.

К основным параметрам свойств ФМ - ввод движения в вакуум -

относятся: - передаваемое усилие; - передаваемый крутящий

- 62 -

момент; - частота вращения; - величина перемещения; -

скорость перемещения; - надежность; - ресурс; - ремонто-

пригодность; - предел применения по вакууму; - температура

прогрева; - натекание через уплотнение; - воздействие на

состав остаточной среды; - простота изготовления; - простота

сборки; - стоимость; - габариты; - масса; - материал

уплотнения; - расположение осей вала или штока; - вид и нап-

равление передаваемого движения.

Взаимосвязи свойств ФМ отражены в таблице 2.5.

Основными параметрами свойств ФМ - уплотнительная пара -

являются: - герметичность; - усилие герметизации; - тем-

пература прогрева; - ресурс; - наработка на отказ; - пре-

дел применения по вакууму; - воздействие на состав остаточной

среды; - удобство замены УП; - ремонтопригодность; - воз-

можность работы в агрессивных средах; - трудоемкость изготовле-

ния; - наличие дефицитных и драгоценных материалов; - стои-

мость; - стоимость; - точностные характеристики элементов

УП; - размер проходного сечения; - габариты; - масса;

- материал уплотнителя; - геометрия уплотнителя.

Взаимосвязи свойств ФМ отражены в таблице 2.6.

Большой интерес представляет также анализ связей свойств, ха-

рактеризующих ВКА в целом со свойствами ее основных ФМ. Указанные

связи существенных параметров ВКА и ее ФМ отражены в таблице 2.7 и

позволяют формировать альтернативные пути изменения свойств ВКА в

зависимости от требований ТЗ.

2.4. Цели проектирования ВКА.

Важной системной характеристикой, описывающей процесс проек-

тирования ВКА, является цель проектирования (компонент в выра-

- 66 -

жении (2.2)).

Желаемое целевое состояние ВКА, которым должна обладать син-

тезируемая конструкция, задается техническими требованиями в ТЗ.

Однако самой цели как движущей силы процесса конструирования ВКА в

ТЗ не содержится, т.к. среди существующих конструкций возможно на-

личие аналога, отвечающего заданным техническим требованиям.

Исходя из выражения (2.1), конкретную конструкцию, реализую-

щую заданную функцию и имеющую фиксированную структуру ,

опишем определенным набором параметров:

(2.13)

где - множество имен свойств ВКА; - множество параметров

свойств ВКА; - множество значений параметров свойств ВКА; =

= , - номер рассматриваемой конструкции; - число существую-

щих конструкций ВКА.

ТЗ, в свою очередь, есть ни что иное, как подобное описание

требуемой конструкции:

(2.14)

где , , - соответственно требуемые имена свойств ВКА, пара-

метры свойств и их значения.

Поиск аналогов осуществляется сравнением характеристик

свойств выражения (2.13) для различных с соответствующими зна-

чениям выражения (2.14). Эквивалентность имен ( и ) и парамет-

ров свойств ( и ), а также выполнение условия означает,

что конструкция под номером является аналогом для данного ТЗ. В

противном случае, когда ни одна из известных конструкций ВКА не

удовлетворяет ТЗ по одному или нескольким параметрам свойств, мож-

но говорить о возникновении потребительских целей проектирования,

как необходимости изменения значений параметров ВКА или ее струк-

турных составляющих, которые в общем случае представимы в виде:

(2.15)

- 67 -

где - множество параметров ВКА, не удовлетворяющих требованиям

ТЗ, - множество отношений типа "изменить".

Наличие взаимосвязей свойств ВКА со свойствами ее структурных

составляющих (см. п. 2.3) обуславливает возможность достижения

требуемых значений параметров ВКА за счет изменения свойств ее ФМ,

приводящего к изменению структуры ВКА, и определяет проектную цель

в виде:

(2.16)

Очевидно, что для достижения необходимых значений соот-

ветствующих параметров свойств ВКА - целей, необходимо выявить

связанные с ними ФМ ВКА и параметры их свойств, которые, в свою

очередь, становятся целями (подцелями) и требуют выявления связан-

ных с ними параметров подсистем нижнего уровня. Выявленная иерар-

хия образует дерево целей проектирования, для построения которого

используются таблицы связей параметров свойств.

Следует отметить, что зачастую достижение общей цели проекти-

рования ВКА требует рассмотрения примитивных целей - изменения па-

раметров элементарных свойств деталей, вызывая необходимость чле-

нения ВКА до соответствующего уровня.

Сложность взаимосвязей свойств ВКА и свойств ее ФМ затрудняет

построение обобщенного дерева целей, поэтому его целеообразно фор-

мировать для конкретной ситуации.

Исходя из вышесказанного, в качестве объекта проектирования

принята наиболее сложная и наименее проработанная группа устройств

- сверхвысоковакуумная цельнометаллическая ВКА. Анализ патентных

источников класса , отражающих случаи конкретного проектирова-

ния ВКА, позволил выделить основные компоненты множества : -

"уменьшить (понизить)"; - "увеличить (повысить)"; - "обеспе-

чить (расширить)"; - "исключить".

Выберем цель проектирования: - "уменьшить потребляемую

- 68 -

мощность" и на основе анализа таблиц связей параметров свойств

(таблицы 2.3 - 2.7) построим дерево целей, представленное на рис.

2.8, где - свойства ВКА в целом; , = 1,6 - свойства соот-

ветствующих ФМ ВКА; , = 1,5 - структуры ФМ ВКА.

Построенное дерево целей позволяет выявить существенные от-

носительно поставленной цели параметры, являющиеся ее подцеля-

ми: . При этом путь на дереве до выбранной подцели

условно можно считать задачей проектирования.

Реализация подцелей приводит к возникновению вспомогательных

функций . Причем вспомогательных функций может быть несколько,

выполняемых совместно или в определенной последовательности. Цель

может порождать и несколько альтернативных вспомогательных функ-

ций, каждая из которых, в свою очередь, может быть исполнена раз-

личными способами действий. Проанализируем одну из подцелей рис.

2.8: "уменьшить предел текучести материала уплотнителя". Данная

цель может принципиально быть реализована двумя путями: заменой

материала или поиском уменьшения имеющегося материала. Рассмот-

рим второй путь. Изучив физическую природу текучести, можно выде-

лить причины, от которых она зависит: температура материала, нали-

чие дислокаций в материале и оксидной пленки на его поверхности,

определяющие соответственные вспомогательные функции: - "нагре-

вать уплотнительную пару", - "перемещать дислокации в материале

уплотнителя", - "удалить оксидную пленку с поверхности уплот-

нителя".

Реализация функций может осуществляться традиционными путями

либо с использованием известных физико-технических эффектов.

Появление вспомогательных функций, которым могут быть постав-

лены в соответствие определенные ФМ, приводит к изменениям в

структуре ВКА, например, появлению ФМ - нагреватель -

( ). Таким образом, отношения между подцелью и головной

- 70 -

целью рождают множество функций, способствующих ее реализации, и

позволяя сформировать уточненную , являются основой получения

требуемого проектного решения в виде структуры ВКА, удовлетворяю-

щей ТЗ.

2.5. Уравнение функционирования и критерии оптимальности

ВКА.

2.5.1. Уравнение функционирования.

Важным аспектом системного описания процесса проектирования

ВКА является уравнение ее функционирования (компонент выраже-

ния (2.2)), связывающее входные и выходные параметры действий (фа-

зовые переменные) и внутренние параметры ВКА.

В связи с тем, что ВКА принадлежит классу механических

систем, для вывода уравнения функционирования использовано уравне-

ние Лагранжа 2 рода [122]:

(2.17)

где - кинетическая энергия системы; - число обобщенных ко-

ординат (совпадает с числом степеней свободы); - обобщенные

координаты; - обобщенные силы.

Данное выражение, преобразованное для ВКА с электромехани-

ческим приводом [123, 124] в общем случае имеет вид:

(2.18)

где - угол поворота вала электродвигателя; - функция

положения ВКА; , - коэффициенты полезного действия механизма

перемещения и герметизации уплотнительного диска и редуктора (ме-

ханизма преобразования движения); - масса уплотнительного

- 71 -

диска; - передаточное отношение редуктора; - приведенный к

валу электродвигателя момент инерции ВКА; - движущий момент

электродвигателя; - приведенный к валу двигателя момент соп-

ротивления ВКА.

Уравнение (2.18) является уравнением движения ВКА и представ-

ляет собой компонентное нелинейное дифференциальное уравнение вто-

рого порядка, которое было решено на ЭВМ. Здесь - фазовые перемен-

ные , , ; внутренние параметры , , . При этом ре-

шение данного уравнения позволяет найти зависимость такого функци-

онального параметра ВКА как время срабатывания от параметров ФМ

ВКА ( , , , , ), т.е. уравнение (2.18) связывает между

собой параметры свойств верхнего и нижнего иерархических уровней

ВКА, что позволяет считать его своего рода уравнением проектирова-

ния.

2.5.2. Критерии оптимальности ВКА.

Предлагаются следующие критерии качества ВКА, характеризующие

оптимальность ВКА и ее структурных составляющих (компонент в выра-

жении (2.2)).

С учетом того, что ВКА в целом и ее ФМ характеризуются боль-

шим числом параметрически описанных локальных критериев, в качест-

ве количественной оценки оптимальности ВКА (или ФМ) принята функ-

ция ее евклидова расстояния до гипотетической идеальной модели в

пространстве взвешенных локальных критериев [125].

(2.19)

где - коэффициент весомости -го параметра качества; - нор-

мированное значение критерия рассматриваемого -го варианта

конструкции; - нормированное значение критерия идеальной

- 72 -

конструкции.

Нормирование локальных критериев качества с целью перевода их

в безразмерные величины одного масштаба, проводится с учетом допу-

щения, что характер распределения вариационного ряда значений лю-

бого параметра ВКА близок к равномерному распределению. В связи с

этим:

(2.20)

где - значение -го критерия рассматриваемого варианта

конструкций, - среднее значение -го критерия; - его сред-

неквадратичное отклонение на множестве вариантов.

Формирование коэффициентов весомости параметров проводится с

использованием экспертного метода парных сравнений [126]. В ка-

честве идеальной модели может быть выбрана гипотетическая

конструкция, имеющая либо лучшие значения параметров из числа су-

ществующих, либо теоретически предельно достижимые значения пара-

метров.

Лучшей будет конструкция с меньшим критерием .

Для оценки ВКА с позиций кинематических свойств ее механизмов

предлагается интегральный критерий качества , минимизация кото-

рого при оптимизации механизмов ВКА дает наилучшее приближение к

их теоретической функции положения и ведет к улучшению таких дина-

мических характеристик, как перегрузки и скорость приложения уси-

лия в уплотнительной паре, коэффициент полезного действия, время

срабатывания, мощность привода [127].

Для ВКА с механизмами совмещенной структуры:

(2.21)

где - функция положения механизма ВКА; - угол поворота или

ход ведущего звена ВКА.

Для ВКА с механизмами переменной структуры:

- 73 -

(2.22)

где , , , - соответственно: функции положения ме-

ханизма ВКА и углы поворота или ход при открывании (перекрывании)

и герметизации проходного отверстия.

Критерий дает количественную оценку качества воспроизведе-

ния закона движения, характерного для механизмов ВКА, и пригоден

как для оптимизации конкретного механизма на этапе его конструк-

тивной проработки, так и для оценки различных кинематических схем

на этапе структурного синтеза.

Исследование уравнения функционирования и вывод критериев оп-

тимальности ВКА подробно рассмотрены в главе 3.

Выводы.

1. На основе системного подхода к анализу ВКА с позиций реша-

емых задач разработаны инвариантные относительно введенных уровней

членения системная модель ВКА как объекта конструирования и

системная модель процесса проектирования ВКА, являющиеся основой

создания методики функционально-схемотехнического проектирования

ВКА. Сформулированы основные понятия, предложены правила раскрытия

системных характеристик ВКА и произведена их конкретизация.

2. Сформировано множество базовых функций ВКА и отмечена не-

обходимость функционального анализа для эволюции ВКА. Рассмотрена

взаимосвязь функции и структуры ВКА, определено множество структур

ВКА, необходимое и достаточное для отображения процесса функцио-

нального и схемотехнического проектирования.

3. Исследованы взаимосвязи ВКА и ее структурных составляющих

с окружением и произведена структуризация выявленных свойств. На

- 74 -

основе исследования взаимосвязей параметров свойств ВКА и ее

структурных составляющих сформированы соответствующие таблицы свя-

зей.

4. Введено понятие цели проектирования ВКА и показана связь

целей проектирования с генерацией вспомогательных функций и струк-

турой ВКА. На основе анализа разработанных таблиц связей парамет-

ров свойств ВКА построено дерево целей проектирования ВКА.

5. Представлено необходимое с позиций системного подхода к

описанию процесса проектирования ВКА уравнение ее функционирова-

ния, связывающее входные и выходные параметры ВКА с внутренними

параметрами ее ФМ, и введены критерии, оценивающие качество синте-

зируемых конструкций ВКА.

Проведенный системный анализ ВКА позволяет перейти к разра-

ботке методик и формализации основных этапов схемотехнического и

функционального проектирования ВКА в соответствии с ранее описан-

ным алгоритмом.

.

- 75 -

3. РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО И ФУНКЦИО-

НАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВКА.

3.1. Методические основы функционального и схемотехничес-

кого проектирования ВКА.

Предложенная во введении обобщенная модель функционально-схе-

мотехнического проектирования ВКА представляет конструктору упоря-

доченную последовательность действий, необходимых для выбора стра-

тегии при создании ВКА. При этом, как было показано ранее, процесс

собственно проектирования ВКА на начальных стадиях формально явля-

ется последовательным поиском, созданием и преобразованием различ-

ных структур ВКА и с учетом описанных в п. 2.2.2 структур в общем

случае может быть представлен в виде:

(3.1)

Отметим, что структура строится тогда, когда конструктора

не удовлетворяет ни одна из известных функциональных структур и

необходим синтез принципиально нового технического решения. Вместе

с тем требования, предъявляемые к создаваемой ВКА, не вызывают не-

обходимости изменения сформированной на основе анализа назначения

ВКА и опыта ее конструирования структуры и базовых функций в

структуре . При этом эволюция ВКА происходит в результате до-

бавления или изменения возникающих из целей проектирования вспомо-

гательных функций на всех уровнях иерархии, в результате чего до-

бавляются, изымаются или заменяются различные ФМ, что позволяет

ограничивать рассматриваемое число структур при практическом про-

ектировании.

Предложенные принципы формирования требуемых видов структур

позволяют построить множество всевозможных структур, включающее и

недопустимые в смысле работоспособности. В связи с чем возникает

- 76 -

задача выделения из данного множества допустимых и рациональных

структур ВКА, удовлетворяющих ТЗ, и нахождение среди них оптималь-

ной.

С учетом изложенного модель процесса проектирования ВКА можно

представить в виде:

(3.2)

где - процедура выбора прототипов (ПР); - цели проектиро-

вания; - множество допустимых функциональных структур; ,

- соответственно, множества вариантных обобщенных и рациона-

льных структур; , , - соответственно, допустимые,

рациональные и оптимальная элементные структуры; , = 1,7 -

правила соответствующих преобразований.

Выражение (3.2) описывает в общем виде методику функциональ-

но-схемотехнического проектирования ВКА и определяет основные за-

дачи, требующие решения для ее конкретизации:

- разработка методики параметрического выбора аналогов и прототи-

пов по значениям требований ТЗ;

- разработка и формализация правил синтеза и преобразования ука-

занных структур и процедур структурной оптимизации.

3.2. Методика параметрического анализа конструкций ВКА.

Необходимость поиска аналога или выбора прототипа (см. рис.1)

при разработке новой ВКА требует проведения сравнительного анали-

за конструкций ВКА для их оценки и выявления конструкции, наибо-

лее полно отвечающей предъявленным требованиям ТЗ. Сложность

проблемы заключается в многономенклатурности ВКА, различиях в ее

структуре, наборах и значениях параметров. Для решения этой зада-

чи разработана методика параметрического выбора [125], включающая

следующие этапы выбора оптимальной конструкции: построение матри-

- 77 -

цы значений параметров качества существующих вариантов

конструкций ВКА; определение вектора параметров качества, регла-

ментируемых предъявленными требованиями (ТЗ); разработка пара-

метрической модели конструкции, удовлетворяющей ТЗ - "идеальной"

конструкции; формирование допустимого диапазона варьирования

значений параметров качества; определение весовых коэффициентов

параметров качества; выявление вариантов конструкций, удовлетворя-

ющих ТЗ по значениям параметров качества; построение матрицы

нормированных значений параметров качества выявленных вариантов и

идеальной модели; вычисление интегрального критерия качества; вы-

бор наилучшей конструкции. При этом вначале может быть произведен

выбор типа ВКА согласно (3.13) (см. п. 3.3).

Искомая конструкция ВКА должна удовлетворять некоторому набо-

ру параметров, определяемых предъявленными требованиями ТЗ:

(3.3)

где - число регламентируемых ТЗ параметров качества.

В свою очередь, каждая из существующих конструкции ВКА

описывается своим полным набором параметров:

(3.4)

где - номер рассматриваемого варианта конструкций ВКА ( ,

- число существующих вариантов конструкций), - число пара-

метров качества ( ).

Каждый из параметров обладает собственным коэффициентом

весомости, который определяется отраслевыми документами на показа-

тели качества, либо экспертными методами (например, методом парных

сравнений).

Значения параметров качества известных конструкций составля-

ют матрицу (3.5):

(3.5)

- 78 -

Идеальная параметрическая модель ВКА описывает некий гипоте-

тический объект, обладающий наилучшими значениями всех парамет-

ров качества одновременно:

Построение этой модели можно осуществлять либо выбором из матрицы

(3.5) наилучших значений соответствующих параметров, либо синтезом

предельно достижимых значений параметров качества, исходя из

условий, определяемых ТЗ. Это может быть и конструкция,

описываемая просто параметрами ТЗ. При этом параметры, нерегла-

ментируемые ТЗ, из рассмотрения исключаются.

Допустимым считается диапазон варьирования показателей ка-

чества между значениями, определяемыми векторами и :

и (3.6)

На основе набора параметров на базе отношений типа "не хуже"

(<, >, = ) из матрицы (3.5) осуществляется выбор конструкций ВКА,

удовлетворяющих ТЗ. При этом возможны 3 случая: ТЗ соответствует

несколько конструкций ВКА; ТЗ соответствует одна конструкция

ВКА; ТЗ не удовлетворяет ни одна конструкция ВКА (т.е. аналоги

отсутствуют).

В первом случае для выбора наилучшей конструкции ВКА среди

конкурирующих вариантов используют интегральный критерий (2.19), а

для нормирования параметров качества - выражение (2.20).Проведя

нормирование матрицы, образованной из параметров качества иде-

альной модели ВКА и параметров качества конструкций ВКА, удовлет-

воряющих ТЗ, получают матрицу нормированных параметров , необ-

ходимую для определения интегрального критерия :

(3.7)

- 79 -

Здесь ( ) - число конструкций ВКА, соответствующих ТЗ. Выделив

из этого множества два объекта и , которым соответствуют

векторы и , по выражению (2.19) определяют значения .

Наименьшее значение интегрального критерия определит наилучшую

конструкцию ВКА.

Во втором случае задачу можно считать решенной.

Наконец, в третьем случае, когда аналогов-конструкций ВКА,

по всем параметрам удовлетворяющих ТЗ, нет, для расширения об-

ласти применения известных решений предлагается произвести усече-

ние ТЗ путем поочередного отбрасывания параметров качества с

незначительными коэффициентами весомости ( например, с 0,05).

В результате получаем матрицу с суженным набором параметров, ана-

лиз которой на соответствие усеченному ТЗ может выявить удовлетво-

ряющие ему конструкции ВКА-прототипы. Проведя оценку выявленных

конструкций по критерию , аналогично первому случаю, определяют

наилучшую по наиболее важным параметрам качества конструкцию ВКА.

При этом известность отброшенного параметра качества, несоот-

ветствующего основному ТЗ, позволяет сформировать задание для мо-

дернизации соответствующего ФМ ВКА, т.е. возникает цель проектиро-

вания. Если ни одна из рассматриваемых известных конструкций ВКА

не попадает в расширенную область применения, необходимо проекти-

рование новой конструкции, либо смягчение соответствующих требова-

ний ТЗ.

Следует отметить, что в первых двух случаях варианты

конструкций ВКА, неудовлетворяющие ТЗ по параметрам с незначи-

тельными весовыми коэффициентами, выпадают из рассмотрения. При

этом возможен вариант, когда в их числе оказывается конструкция с

лучшим интегральным показателем качества ,если его определять

для полной матрицы (3.5). В данной ситуации целесообразно проде-

- 80 -

лать операции, описанные в третьем случае.

Предложенный подход позволяет также решить задачу оптимально-

го комплектования конструкций ВКА в группы сходных однородных

объектов [128]. Эту операцию, разбивающую всю совокупность ВКА

на группы близких однотипных конструкций, целесообразно прово-

дить на начальной стадии выбора. Группу конструкций, которая

включит в себя наилучшую, также можно подвергнуть анализу. Для

комплектования групп строят матрицу парных расстояний:

(3.8)

где - расстояние между -ой и -ой конструкцией, и находят

внутригрупповую сумму квадратов отклонений:

(3.9)

где - количество объектов в группе.

Лучшим будет разбиение, когда

(3.10)

где - число групп разбиения.

Рассмотренная методика устраняет недостатки известных мето-

дик [129,130], хорошо алгоритмизируется и более достоверно оцени-

вает качество конструкций, чем, например, взвешенная сумма локаль-

ных критериев [131].

3.3. Методика синтеза структур ВКА.

Формализация процесса синтеза структур ВКА основана на описа-

ниях, приведенных в главе 2, и проведена в соответствии с (3.2) с

использованием языка исчисления предикатов, близкого конструктору,

привыкшему оперировать понятиями, и позволяющего автоматизировать

процесс структурного синтеза [132].

Учитывая сказанное, условие существования аналога в общем

- 81 -

случае запишем в виде:

(3.11)

где - множество существующих конструкций ВКА; , , -

соответственно: множества имен свойств ВКА, параметров свойств и

их значений; , , - соответственно имена, параметры и значе-

ния параметров свойств, регламентируемые ТЗ; - предикат, озна-

чающий отношение принадлежности; - предикат, означающий отно-

шение эквивалентности; - предикат, означающий отношение " ",

- предикат, означающий, что конструкция является аналогом.

В случае ложности в выражении (3.11) предиката или ,

рассматриваемая конструкция может быть отнесена к группе прототи-

тов, а необходимость изменения ее конкретных , , формиру-

ет цели проектирования ВКА ( ), приводящие к возникновению соот-

ветствующих вспомогательных функций Найденные из анализа дере-

ва целей вспомогательные функции добавляются к базовой и, на-

ходясь в отношении с основными , образуют новую (см. п.

2.4). При этом с учетом утверждений, сделанных в п. 2.2, правило

формирования множества допустимых ( ) имеет следующий вид:

(3.12)

где , = 1, 3, 5 - обязательные функции ВКА, соответственно:

создавать и передавать механическую энергию для перемещения уплот-

нительного диска, передавать движение из атмосферы в вакуумную

среду и герметизировать стык седла с уплотнительным диском; -

предикат, означающий отношение включения; - предикат, означаю-

щий допустимость структуры.

В свою очередь каждой рабочей функции из можно поста-

- 82 -

вить в соответствие реализующий ее обобщенный родовой элемент -

ФМ, являющийся абстрактным объектом : ( ), что поз-

воляет сформировать множество абстрактных структур ВКА.

Морфологическая структура ВКА определяет множества вариан-

тных (состоящих из типов ФМ - ) и элементных (состоящих из вари-

антов исполнения (марок) различных типов ФМ - ) структур ВКА

( и ). Очевидно, что существующие множества данных структур

содержат и такие структуры, которые заведомо не соответствуют

конкретному ТЗ на проектирование ВКА, поэтому перед их генерацией

целесообразно решить задачу выбора допустимых структурных состав-

ляющих и . Выбор типов ФМ и конструктивных вариантов их

выполнения является важной процедурой схемотехнического проектиро-

вания ВКА и с позиций системного подхода определяется отношениями

между типами (вариантами) структурных составляющих и значениями

параметров требований, предъявляемых к ФМ частными ТЗ, которые мо-

гут быть сформированы из общего ТЗ на разработку ВКА на основе

анализа взаимосвязей их свойств.

Формализация выбора типа ВКА и вариантов ее структурных

составляющих осуществлена с помощью разработанных с учетом морфо-

логии ВКА ( ) таблиц соответствия , в которых пара-

метр , имеющий значений, представляется булевскими пе-

ременными , где = 1, если и

= 0, если ; посредством отображения ( ):

(3.13)

где - -ое значение параметра -го требования к -ому

ФМ; - множество вариантов -го ФМ.

Аналогично может быть произведен при необходимости и выбор

типа ВКА.

Таким образом, решение задачи выбора типа структурных состав-

ляющих ВКА сводится к построению таблиц соответствия, в которых по

- 83 -

столбцам располагаются условия и критерии выбора, по строкам - ти-

пы . Основной задачей при этом является установление логических

зависимостей между типами ФМ ВКА и значениями или интервалами

значений , параметров . Следует отметить, что определение

градаций условий и критериев выбора является ответственным и тру-

доемким процессом в связи с необходимостью максимального уменьше-

ния дублирования исходных данных и обеспечения их полноты.

Выявленные при проведении системного анализа свойства ВКА,

рассмотренные в принадлежности к типам основных ФМ с учетом пред-

ложенной классификации конструкций ВКА, позволили сформировать

следующие таблицы соответствия (применимости): таблица 3.1 - таб-

лица применимости типов приводов ВКА; таблица 3.2 - таблица приме-

нимости типов вакуумных вводов движения; таблица 3.3 - таблица

применимости типов уплотнительных пар ВКА. Выбор производится сле-

дующим образом: исходя из значений требований ТЗ, по заданным ин-

тервалам параметров выбора из соответствующей таблицы применимости

выбираются строки, имеющие единицы во всех рассматриваемых столб-

цах, что отражает допустимость соответствующих типов ФМ ВКА

( ).

Введение отношений следования между найденными формиру-

ет обобщенную вариантную структуру . С учетом последова-

тельности структуры ВКА и выражения (3.12) это можно записать в

виде ( ):

(3.14)

где , , - обязательные ФМ, соответственно: привод, ввод

движения в вакуум и уплотнительная пара; - предикат, означающий

отношение следования между ФМ.

Каждая структурная составляющая (ФМ) обладает набором пара-

метров, в том числе описывающих ее входные и выходные свойства.

- 88 -

При этом указанные свойства могут быть описаны качественными приз-

наками.

Рациональность структуры выявляется процедурой , определя-

ющей качественную совместимость выбранных элементов и

описываемой следующим выражением:

(3.15)

При этом обобщенное правило формирования имеет вид:

(3.16)

где , , , = 1, - множество качественных признаков,

описывающих входные и выходные свойства ФМ; - предикат, означа-

ющий отношение принадлежности признаков к ФМ; - предикат, озна-

чающий отношение эквивалентности между признаками; - предикат,

означающий отношение "состоять из".

Использование морфологической структуры ВКА и значений

требований ТЗ позволяет сформировать множество допустимых элемент-

ных структур , выбирая среди качественно совместимых типов ФМ

ВКА соответствующие конструктивные варианты их исполнения ( ):

(3.17)

где , = 1, - множество параметров -го варианта -го ФМ;

- множество параметров ТЗ; - предикат, означающий отношение

" " между значениями параметров.

На основе анализа отношений параметрической совместимости

выбранных ФМ, описываемых выражением (3.18), формируют в

соответствии с обобщенным правилом (3.19)( ):

- 89 -

(3.18)

(3.19)

где , - соответственно значения параметров входных и выход-

ных свойств ФМ ВКА; - предикат, означающий отношение " = " меж-

ду значениями параметров.

Причем отношения совместимости образуют следующее множество:

(3.20)

где = 1,4 - индекс, означающий соответственно отношение функцио-

нальной, параметрической, эксплуатационной и технологической сов-

местимости; - номер сопряжения в структуре; = 1,2 - ин-

декс, означающий, соответственно: качественную или параметрическую

совместимость.

Вместе с тем возможна ситуация, когда по формулам (3.15) или

(3.18) выявляется несовместимость входных и выходных параметров

свойств сопрягаемых структурных элементов ВКА. В этом случае необ-

ходимо включение вспомогательного функционального элемента, сог-

ласующего эти параметры, что формально может быть представлено

следующим образом:

(3.21)

где - предикат, означающий отношение " = " между значениями па-

раметров.

Выражение (3.21) позволяет сформировать множество рациональ-

ных структур ВКА, включающих как основные, так и вспомогатель-

ные ФМ. В структуре ВКА такими вспомогательными ФМ являются меха-

- 90 -

низм преобразования движения ( ) и механизм перемещения и герме-

тизации уплотнительного диска ( ), согласующие входные и выход-

ные параметры движения основных ФМ.

Обозначив через = 1,6 в (3.20) соответственно отношения

совместимости между ФМ ( ), ( ), ( ), ( ),

( ), ( ), процедуру генерации типовых рациональных

структур ВКА можно описать следующими выражениями:

(3.22)

где , , - соответственно: -ый вариант привода, -ый

вариант ввода движения в вакуум, -ый вариант уплотнительной па-

ры.

Выражение (3.22) описывает множество строго определенных эле-

ментных структур ВКА, состоящих из основных ФМ: привода, ввода

движения в вакуум и уплотнительной пары.

При невыполнении хотя бы одного из отношений совмести-

мости для ФМ и , т.е. , где -

значение "ложь", необходим ввод элемента и выражение (3.22)

принимает вид:

(3.23)

где - -ый вариант механизма преобразования движения.

При

(3.24)

где - -ый вариант механизма перемещения и герметизации уп-

лотнительного диска.

- 91 -

При и

(3.25)

Следует отметить, что при генерации вариантов элементных

структур ВКА может использоваться как одна какая-либо из описанных

формула, так по мере необходимости и несколько. При этом количест-

во получаемых структур определяется мощностями множеств . Кроме

того, появление новых ФМ, реализующих заданные цели проектирова-

ния, может в соответствии с (3.21) потребовать введения и новых

вспомогательных ФМ, а возможно и дополнительных к ним элементов с

рассмотрением отношений их совместимости и трансформацией соот-

ветствующих выражений.

Исключение из рассмотрения ФМ "корпус" - объясняется принятой

априори его совместимостью с другими ФМ.

Для выбора оптимальной элементной структуры может быть

использован интегральный критерий (2.19).

С целью упорядочения генерируемых структур для их анализа це-

лесообразно проводить ранжирование полученных структур. В качестве

критериев ранжирования предлагаются следующие:

(3.26)

где - количество структурных составляющих в структуре ВКА.

(3.27)

где - относительная стоимость сгенерированной структуры; -

относительная стоимость -го варианта -го варианта -го струк-

турного элемента ( ).

Для сверхвысоковакуумной ВКА в первую очередь предпочтитель-

нее структуры с отсутствием механизмов, работающих в вакуумной по-

лости, т.е. механизмов перемещения и герметизации уплотнительного

- 92 -

диска ( ), поэтому при анализе в первую очередь следует

рассматривать структуры, полученные с использованием выражений

(3.22) и (3.23).

- 112 -

влияния на динамические характеристики ВКА: перегрузки на уплотни-

тельной паре, скорость приложения усилия герметизации, быстро-

действие. Все искомые параметры связаны с перемещением уплотни-

тельного диска, в частности зависят от приведенного максимального

угла его "выбега":

(3.58)

где - фактический угол останова выходного звена привода; -

требуемый угол останова выходного звена привода (окончание цикла

работы ВКА), поэтому результирующая информация представлена в виде

зависимостей от перечисленных характеристик структуры ВКА:

на рис. 3.6,а приведена усредненная зависимость ; на

рис. 3.6,б - график ; на рис. 3.7,а - ; на

рис. 3.7,б - .

В связи с тем, что надежность работы ВКА во многом определя-

ется действующими на ее элементы усилиями, необходимо уменьшение

перегрузок на уплотнительную пару, определяемое минимизаци-

ей ( ). Для достижения этого, помимо изменения парамет-

ров структуры ВКА целесообразно ввести параметр - угол опережения

отключения привода:

(3.59)

где - фазовый угол, характеризующий момент отключения двига-

теля.

Зависимость представлена на рис. 3.8.

Анализ результатов моделирования функционирования ВКА позво-

лил выделить следующие возможные пути уменьшения перегрузок на уп-

лотнительную пару при определенной жесткости уплотнения: уменьше-

ние мощности двигателя; уменьшение к.п.д. механизмов ВКА после от-

ключения двигателя; увеличение передаточных функций применяемых

механизмов; введение угла опережения отключения привода и исполь-

зование накопленной кинетической энергии для герметизации уплотни-

- 115 -

тельной пары.

С целью изучения влияния структуры ВКА на скорость приложе-

ния усилия герметизации ( ), была смоделирована конструкция ва-

куумного клапана КЭУн [54], гипотетически реализованная различными

типами механизмов при сохранении единого . Результаты исследо-

ваний в виде зависимости приведены на рис. 3.9.

Как следует из данного графика, наименьшее значение на

стадии герметизации у конструкции с механизмом переменной структу-

ры, затем - совмещенной структуры, а худшее значение у меха-

низма непосредственного действия, что хорошо согласуется с резуль-

татами проведенного ранее кинематического анализа, и, следователь-

но, выведенный в п. 3.4.2 критерий Ф, обобщенный вид которого при-

веден в выражениях (2.21,2.22), оценивает не только кинемати-

ческие, но и динамические характеристики ВКА и его минимизация ве-

дет к их улучшению, поэтому критерий Ф является интегральным кри-

терием качества ВКА (обобщенным критерием) [127].

Помимо проверки работоспособности и оценки свойств синтезиру-

емых конструкций ВКА подобный подход к моделированию функциониро-

вания ВКА, основанный на решении уравнения (2.18), обеспечивает

нахождение рациональной совокупности перечисленных параметров ФМ

ВКА путем их перебора, т.е. позволяет определить желательные зна-

чения параметров структурных составляющих ВКА, что является необ-

ходимым условием синтеза элементных структур ВКА и оптимизации

конструкции при функционально-схемотехническом проектировании.

Выводы.

1. Предложена обобщенная модель функционально-схемотехни-

ческого проектирования ВКА, предоставляющая конструктору упорядо-

ченную последовательность действий, необходимых для выбора страте-

- 117 -

гии при создании ВКА.

2. Разработана методика и математическая модель параметри-

ческого анализа конструкций ВКА, позволяющая выявлять необходи-

мость модернизации конструкций и проводить их оценку.

3. Разработана методика функционально-схемотехнического про-

ектирования ВКА, позволяющая генерировать и находить удовлетворяю-

щие ТЗ технические решения ВКА. Предложены правила генерации, пре-

образования и выбора структур ВКА и проведена формализация про-

цесса ее структурного синтеза.

4. Предложена методика синтеза ФПД ВКА как этапа ее функцио-

нального проектирования, позволяющая разрабатывать функциональную

структуру ВКА тогда, когда разработка ее элементной структуры на

основе известных функциональных структур не удовлетворяет требова-

ниям ТЗ.

5. Показана важность синтеза механизмов при проектировании

ВКА. Выделена группа классификационных признаков, имеющих опреде-

ляющее значение для их синтеза, произведена систематизация струк-

тур ВКА применительно к механизмам и представлено их описание на

введенном предметно-ориентированном языке схемотехнического проек-

тирования. Предложены пути синтеза кинематических схем механизмов

ВКА.

6. Проведен кинематический анализ механизмов ВКА, на основа-

нии которого обоснованы и выведены критерии оптимальности ВКА.

7. Произведен анализ процесса функционирования ВКА на основе

его моделирования. Изучено влияние параметров структурных состав-

ляющих на динамические свойства ВКА, позволившее сформулировать

возможные пути улучшения показателей качества ВКА. Отмечена важ-

ность моделирования функционирования ВКА при ее схемотехническом

проектировании.

.

- 118 -

4. СОЗДАНИЕ НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВКА НА БАЗЕ АВТОМАТИЗАЦИИ СХЕ-

МОТЕХНИЧЕСКОГО И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Исследования, проведенные во второй и третьей главах настоя-

щей работы, показали неизбежность использования средств вычисли-

тельной техники для решения задач функционального и схемотехни-

ческого проектирования ВКА вследствие их сложности и больших раз-

мерностей при необходимости охвата всех возможных вариантов синте-

зируемых решений, а также для исключения субъективизма при прове-

дении оптимизации ВКА.

4.1. Программные средства анализа существующих конструкций

ВКА.

Созданные программные средства реализуют разработанную инва-

риантную [142] методику параметрического анализа ВКА (п.3.2), а

также метод выбора типа структурных составляющих ВКА (п.3.3) и

представляют собой три программых модуля "WYBOR", "VTIP", "OPTIM".

Программный модуль "WYBOR", построенный по функционально- мо-

дульному принципу, обеспечивает проведение параметрического анали-

за существующих конструкций ВКА на соответствие требованиям ТЗ и,

позволяя найти аналоги или прототипы, обеспечивает выбор оптималь-

ной конструкции [143]. Структура программного модуля, состоящего

из блока управления (БУ), блоков выбора и анализа конструкций

(БВК, БАК), блока формирования весовых коэффициентов (БФВК), блока

управления базой данных (БУБД), связанного с блоками занесения

(БЗК), удаления (БУК), коррекции (БКП) и просмотра параметров

конструкций (БПП) и каталогов (БПК), блоков ввода-вывода и обра-

ботки файлов данных (БВВ, БОФД) приведена в приложении на рис.

П.1. Программный модуль "WYBOR" позволяет: осуществить параметри-

- 119 -

ческий выбор марки конструкции ВКА, наиболее полно соответствующей

заданным параметрам ТЗ с учетом важности того или иного параметра

в каждом конкретном случае выбора; работать с созданной базой дан-

ных в режимах: просмотра каталога имеющихся конструкций и значений

их параметров, коррекции значений параметров конструкций, внесения

новых или удаления устаревших конструкций из банка данных; форми-

ровать значения весовых коэффициентов рассматриваемых параметров

либо путем назначения, либо с использованием метода парных сравне-

ний.

Входными параметрами модуля являются: код режима работы; тре-

буемые значения параметров конструкций ВКА (ТЗ); значения весовых

коэффициентов рассматриваемых параметров.

Выходными параметрами модуля являются: марка конструкции ВКА,

наиболее полно удовлетворяющей ТЗ, и ее параметры; информация о

конструкциях-аналогах (также отвечающих ТЗ); информация о

конструкциях-прототипах (не удовлетворяющих ТЗ) с указанием неу-

довлетворенных параметров (по желанию пользователя).

Оптимизация выбора осуществляется блоком БАК в соответствии с

критерием (2.19). При этом принято, что разброс значений парамет-

ров существующих конструкций подчиняется равномерному распределе-

нию, что объясняется дискретным рядом конструкций ВКА.

Информационное обеспечение модуля включает значения парамет-

ров характеристик существующих конструкций ВКА, сформированные по

данным источников п. 1.2, список критичных для выбора параметров

ВКА и предлагаемые значения их весовых коэффициентов.

Программный модуль "VTIP", также построенный по функциональ-

но-модульному принципу, обеспечивает качественный выбор типов

основных ФМ ВКА на основании разработанных таблиц применимости (п.

3.3) [144]. Структура модуля, включающего блок диалогового взаимо-

действия (БДВ), блок выбора типов (БВТ) приводов (Пр), вводов дви-

- 120 -

жения (ВД) и уплотнительных пар (УП), блок анализа и оптимизации

(БАО) и блок контроля ввода данных (БК), представлена на рис. П.2.

При выборе вакуумных вводов движения программный модуль "VTIP"

позволяет производить поиск и выбор их типов по основным и допол-

нительным критериям качества, а также проводить оптимизацию полу-

ченных типов по критерию относительной стоимости.

Входными данными модуля является информация о требуемых пара-

метрах ФМ, представляемая в соответствии с градациями соответству-

ющих таблиц п. 3.3.

Выходными данными являются: качественная информация о типах

ФМ, удовлетворяющих ТЗ; информация о типах ФМ, не удовлетворяющих

одному или двум заданным требованиям, с указанием параметров, под-

лежащих изменению.

Программный модуль "OPTIM" предназначен для проведения срав-

нительного параметрического анализа нескольких однотипных

конструкций ВКА, задаваемых пользователем с целью выявления наи-

лучшей, или для оценки технического уровня новой разработки [143],

и является автономной реализацией блока БАК модуля "WYBOR". Отли-

чие заключается только в типе используемых при оптимизации идеаль-

ных моделей. Если в модуле "WYBOR" идеальной моделью является

конструкция, описываемая требованиями ТЗ, то в модуле "OPTIM" при

сравнительном анализе конструкций - это конструкция с параметрами,

лучшими, чем у существующих конструкций ВКА, хотя возможно и не

достижимыми, а при оценке технического уровня - это параметры

конструкции ВКА, являющейся лучшей (эталонной) в рассматриваемом

классе устройств.

Входными параметрами модуля "OPTIM" являются: код рассматри-

ваемого класса ВКА; диаметр условного прохода; количество рассмат-

риваемых конструкций; значения параметров сравниваемых конструкций

ВКА и их весовые коэффициенты (аналогично модулю "WYBOR").

- 121 -

Выходными параметрами модуля являются: степень сходства

рассматриваемых конструкций с идеальной моделью (%), номер наилуч-

шей конструкции и ее параметры.

Информационное обеспечение модуля "OPTIM", помимо данных,

используемых в модуле "WYBOR", содержит параметрическое описание

идеальных моделей всех типоразмеров ВКА.

Рассмотренные программные средства инвариантны [145] и могут

быть использованы для анализа ТО любой предметной области при соз-

дании соответствующего информационного обеспечения.

4.2. Программные средства синтеза и анализа структур ВКА.

Основополагающим этапом функционально-схемотехнического про-

ектирования ВКА является синтез ее структур, проводимый на основе

формализованных в п. 3.3 положений. При этом необходимость опери-

рования с параметрами входных и выходных свойств сопрягаемых эле-

ментов делает программные модули синтеза структуры ВКА и генерации

ее ФПД идентичными. Причем программный модуль структурного синтеза

ВКА "VP1" оперирует соответствующими параметрами допустимых вари-

антов ФМ ВКА, выбранных с помощью средств п. 4.1, а программный

модуль генерации ФПД ВКА "VP2" - параметрами входных и выходных

свойств ФЭ из созданного предметно-ориентированного банка структу-

ризованных описаний ФЭ.

Модуль "VP2" позволяет генерировать цепочки ФЭ по следующим

алгоритмам: по описанию ВКА на физическом уровне, включающем связи

между ее элементами на основе конкретной структурной модели; по

заданному входному управляющему воздействию и требуемому результа-

ту с возможностью выбора желаемой длины цепочки ФЭ [146].

Следует отметить, что разработанная методология структурного

синтеза применима и для создания других ТО, представимых в виде

- 122 -

последовательно взаимодействующих модулей [147 - 149].

Одним из важнейших аспектов автоматизации конструкторской де-

ятельности при создании ВКА [150] является синтез ее механизмов,

который, как отмечалось в п. 3.4, предлагается производить двумя

путями: на основе типовых элементарных механизмов или на основе

анализа форм цепей. В соответствии с этим разработаны два пакета

прикладных программ (ППП), общим начальным этапом которых является

синтез формулы строения ВКА (выражение (3.35)), реализованный

программой "SSVC1", которая запрашивает в диалоговом режиме данные

в соответствии с выделеными классификационными признаками, описан-

ными в п. 3.4. На основании конкретных признаков формируется

описание желаемого принципа работы ВКА и определяются требования к

механизмам ВКА с позиции реализации перекрытия и герметизации про-

ходного отверстия.

ППП "Р4" предназначен для синтеза механизмов ВКА из типовых

элементарных механизмов и расчета параметров типовых и синтезиро-

ванных механизмов [144].

Структура ППП, включающая: модули расчета элементарных меха-

низмов (МР): кулачкового механизма (КулМ), кулачкового механизма с

архимедовой спиралью (КулМАС), кривошипно-ползунного механизма

(КПМ), двухползунного механизма (2ПМ), клинового механизма (КлМ),

винтового механизма (ВМ), зубчатого механизма (ЗубМ), механизма

шарнирного четырехзвенника (Ш4Зв), кулисного механизма (КулисМ);

модуль контролируемого ввода данных (МКВвД); модуль синтеза меха-

низмов (МСМ); модуль расчета параметров синтезированного механизма

(МРП); модуль оказания помощи (МОП) при работе с ППП - приведена

на рис. П.3.

Входными параметрами ППП являются: типы элементарных механиз-

мов и их количество; фазовые углы циклограммы работы механизмов;

длины звеньев механизмов; максимальное перемещение толкателя (для

- 123 -

кулачковых механизмов); вид движения на входе синтезируемого меха-

низма; требуемый вид движения на выходе синтезируемого механизма;

желаемое количество кинематических пар; коэффициент полезного

действия; диаметр условного прохода перекрываемого отверстия.

Стандартные параметры "зашиты" в пакет.

Выходными данными являются следующие параметры функционирова-

ния механизмов: функция положения, функция передаточного отноше-

ния, коэффициент передачи усилия, момент сил сопротивления, функ-

ция усилия уплотнения.

ППП "SSVC" предназначен для синтеза механизмов ВКА на основе

анализа массива форм цепей и содержит два самостоятельных модуля:

модуль формирования массива форм цепей и модуль формирования схем

механизмов из форм цепей, обобщенные блок-схемы которых приведены

на рис. П.4. ППП "SSVC" позволяет реализовать следующие процедуры

[134]: формировать машинный справочник форм цепей с автоматической

оптимизацией описания их контуров; сформировать структуру механиз-

мов перемещения и уплотнения ВКА; сформировать описание структуры

кинематических цепей, из которых они образованы; формировать кине-

матические цепи из форм цепей.

Преобразование той или иной кинематической цепи в конкретный

механизм выполняется непосредственно разработчиком ВКА.

По результатам работы ППП "SSVC" сформированы таблицы и

описания форм цепей, содержащих в своем составе до четырех конту-

ров, на основании анализа которых составлен атлас исполнительных

механизмов, возможность использования которых для ВКА определя-

ется, исходя из разработанных кинематических и динамических крите-

риев качества.

- 124 -

4.3. Структурно-функциональная модель САПР ВКА на этапе схе-

мотехнического и функционального проектирования.

Созданный комплекс программных средств является ядром предла-

гаемой структурно-функциональной модели САПР ВКА для этапа ее схе-

мотехнического и функционального проектирования [151], актуаль-

ность разработки которой отмечена в первой главе.

На рис. П.5 приведена структура САПР ВКА, реализующая методи-

ки функционального и схемотехнического проектирования и состоящая

из обслуживающих и проектирующих подсистем.

Обслуживающими являются подсистемы управления и контроля про-

цессом проектирования ВКА (ПУПВКА), оперативного взаимодействия

(ПОВ), отображения графической информации (ПОГИ), информационного

обеспечения (ПИО). Вся информация о существующих конструкциях ВКА

и вспомогательная справочная информация хранится в банках данных

системы (БнД). Связь конструктора с ЭВМ в диалоговом режиме осу-

ществляется с использованием алфавитно-цифрового дисплея (АЦД) и

символьно-графического дисплея (СГД).

Проектирующие подсистемы представляют собой функционально за-

конченные части системы, последовательно реализующие выделенные

этапы проектирования ВКА. К ним относятся подсистемы выбора и ана-

лиза аналогов и прототипов ВКА (ВАВКА, ААВКА, ВПВКА и АПВКА), син-

теза и анализа физических принципов действия ВКА (СФПД и АФПД),

структурного синтеза и анализа (ССВКА и САВКА), качественного син-

теза и анализа (КСВКА и КАВКА), параметрического синтеза и анализа

(ПСВКА и ПАВКА), компоновки ВКА и ее анализа (КВКА и АКВКА), а

также подсистемы выбора и анализа аналогов и прототипов приводов,

вводов движения в вакуум, механизмов и уплотнительных пар (ВАП,

ВАВВ, ВАМ, ВАУП, ААП, ААВВ, ААМ, ААУП, АПП, ВПВВ, ВПМ, ВПУП, АПП,

АПВВ, АПМ, АПУП). Кроме этого в системе имеются подсистемы струк-

- 125 -

турного синтеза основных составных элементов ВКА (ССП, ССВВ, ССМ,

ССУП), а также предусмотрены подсистемы структурного синтеза их

сборочных единиц (СССБП, СССБВВ, ССЭУП).

Функционирование системы происходит следующим образом. По

вводимому конструктором техническому заданию на создание конкрет-

ной ВКА, являющемуся отправной точкой разработки, система осущест-

вляет поиск аналога ВКА из числа хранимых в БнД и при наличии

нескольких аналогов, соответствующих ТЗ, производит их анализ, вы-

бирая наилучшую конструкцию, чертежи которой находятся в конструк-

торском архиве. Если аналоги отсутствуют, конструктор может произ-

вести корректировку ТЗ (например, производя его усечение по не-

основным показателям качества), и система осуществляет поиск и

анализ прототипов. Выбор аналогов и прототипов производится в два

этапа: сначала проводится качественная оценка существующих

конструкций, позволяющая определить требуемый тип ВКА, а затем

проводится количественная оценка для выявления подходящей

конструкции. Если прототип ВКА найден, а осуществленная корректи-

ровка ТЗ нежелательна, то система анализирует внесенные конструк-

тором в ТЗ изменения и выдает дополнительное ТЗ на модернизацию

соответствующего функционального устройства - структурный синтез

привода, ввода движения в вакуум, механизма или уплотнительной па-

ры в подсистемы (ССП, ССВВ, ССМ и ССУП).

Если прототип не найден, то осуществляется разработка нового

технического решения ВКА, удовлетворяющего заданному ТЗ. В этом

случае система производит с использованием эвристических приемов

поиск и выбор ФПД ВКА. На основе выбранного ФПД производится выяв-

ление всевозможных структурных схем, анализ и синтез которых

представляется целесообразным. После получения структурных схем

определяется качественный состав ФМ ВКА, а на основе моделирования

- оцениваются значения их параметров качества. Затем система ана-

- 126 -

лизирует параметрические характеристики найденных структур на

соответствие ТЗ и если структуры, соответствующей ТЗ, нет, то син-

тезируется новая структура на основе другого ФПД или корректиру-

ется ТЗ в сторону смягчения предъявляемых требований.

Если синтезированная структура соответствует ТЗ, то в

подсистеме ПАВКА формируют частные ТЗ на основные элементы ВКА -

привод, ввод движения в вакуум, механизм и уплотнительную пару.

Далее система выполняет процедуры поиска и выбора аналогов и про-

тотипов этих структурных составляющих, аналогичные процедурам по-

иска и выбора аналогов и прототипов ВКА. При этом в подсистемах

анализа прототипов в случае необходимости формируется ТЗ на струк-

турный синтез сборочных единиц привода, ввода движения в вакуум,

механизма и элементов уплотнительной пары (СССБП, СССБВВ, ССМ и

ССЭУП). Если прототип не найден, то осуществляют структурный син-

тез новых технических решений этих устройств: подсистемы (ССП,

ССВВ, ССМ, ССУП).

Структурный синтез и анализ новых конструкций ВКА или их эле-

ментов, аналогично выбору аналогов и прототипов ВКА, также прово-

дится в два этапа: сначала качественно, а затем количественно.

В зависимости от наличия аналогов и прототипов элементов ВКА

система производит компоновку ВКА из аналогов или из модернизиро-

ванных прототипов, либо из элементов, полученных в результате их

синтеза, и осуществляет выбор оптимальной компоновки. После этого

с использованием уравнения функционирования ВКА (этап моделирова-

ния) осуществляется окончательный параметрический анализ ВКА,

спроектированной на основе оптимальной компоновки. Если полученная

конструкция ВКА не соответствует ТЗ, то осуществляется корректи-

ровка ТЗ на элементы ВКА и процесс проектирования повторяется.

Введение в структуру САПР нового этапа - качественного синте-

за и анализа ВКА позволяет выбирать наиболее целесообразные для

- 127 -

дальнейшего рассмотрения конструкции, что значительно снижает вре-

мя работы системы. Ускорению процесса проектирования и улучшению

качества проектного решения способствует наличие обратной связи -

постоянной, после каждого этапа, проверки получаемой конструкции

на соответствие ТЗ.

Основными функциями, выполняемыми подсистемами выбора и ана-

лиза аналогов и прототипов ВКА и их элементов, являются следующие:

формирование по ТЗ параметрической модели ВКА; выбор аналогов и

прототипов, соответствующих ТЗ, формирование интегральных критери-

ев качества ВКА и ее элементов; выбор наилучшего аналога и прото-

типа из числа отвечающих требованиям ТЗ; формирование ТЗ на модер-

низацию структурных составляющих ВКА и их сборочных единиц.

Основными процедурами в подсистемах СФПД и АФПД являются:

построение множества ФПД ВКА; выявление множества структур ФПД;

выбор допустимых структур ФПД; технологический и экономический

анализ ФПД; выбор рациональной структуры ФПД.

В подсистемах ССВКА и САВКА выполняются следующие процедуры:

формирование множества структурных схем ВКА; синтез допустимых

структурных схем; оценка и выбор рациональных структурных схем;

корректировка принятых решений.

В подсистемах КСВКА и КАВКА осуществляют определение качест-

венного состава структурных элементов схем ВКА и выбор среди ка-

чественных структурных схем рациональных решений.

В подсистемах ПСВКА и ПАВКА осуществляют: проектировочные и

поверочные расчеты ВКА; определение выходных параметров структур-

ных элементов ВКА; формирование критериев оптимальности и ограни-

чений; оптимизацию параметров ВКА; анализ оптимальной компоновки

ВКА; корректировку принятого решения в подсистеме ССВКА или кор-

ректировку ТЗ; формирование проектной документации; формирование

ТЗ для выбора или проектирования структурных составляющих ВКА.

- 128 -

Основными процедурами в подсистемах КВКА и АКВКА являются

следующие: синтез компоновок из элементов ВКА; формирование крите-

рия качества компоновок; анализ и выбор оптимальной компоновки;

формирование проектной документации.

При использовании описанной САПР в качестве подсистемы в ГАП

ВКА обязательным процессом является процедура проверки синтезиро-

ванных значений параметров ВКА требованиям, определяемым техни-

ческими характеристиками автоматизированной производственной ячей-

ки (станок, робот, комплекты оснастки и инструмента), являющейся

элементом конкретной ГАП [152]. Кроме того, предусмотрена система

адаптации базы данных и накладываемых граничных условий к измене-

нию станочного парка производства, появлению новых технологий и

др.

Использование подобной САПР, повышая качество и эффективность

труда конструктора, позволит ему получать принципиально новые тех-

нические решения.

4.4. Конструкции ВКА, разработанные на основе синтезированных

структур.

4.4.1. Конструкции ВКА, разработанные на основе синтеза ее

структуры на уровне типов основных ФМ.

Сопоставительный анализ сформированного с учетом морфологии

ВКА множества ее обобщенных вариантных структур (с использованием

программного модуля "VP1") и существующих конструкций ВКА показал

отсутствие ВКА плоского типа с использованием электромагнитного

привода. Данный факт определил цель проектирования соответствующей

конструкции затвора. В связи с тем, что величина хода штока типо-

вого электромагнитного привода не позволяет обеспечить сложного

- 129 -

движения и требуемых перемещений уплотнительного диска для перек-

рывания проходного отверстия и герметизации УП в плоских уст-

ройствах, в качестве прототипа была выбрана разработанная нами ба-

зовая конструкция сверхвысоковакуумного затвора с двумя исполни-

тельными органами и электропневматическим приводом [153]. Приняв

за основу структуру, генерируемую по правилу (3.22), получаем из

выражения (3.30) искомую формулу строения создаваемого устройства:

Общий вид разработанного затвора представлен на рис. П.6,

П.6А. Для согласования функциональных параметров сопрягаемых

основных ФМ совместно с электромагнитным приводом использован гид-

равлический усилитель, т.е. образован комбинированный привод, поз-

воляющий применять подобное решение и для устройств с цельнометал-

лической УП. Проведенный анализ множества позволил модифициро-

вать описываемую конструкцию за счет использования для перемещения

уплотнительного диска принципиально нового для ВКА ввода движения

- упруго деформируемого полого элемента - трубки Бурдона. Подобное

выполнение конструкции позволило упростить управление работой зат-

вора, повысить его быстродействие и уменьшить дестабилизирующее

воздействие элементов затвора на вакуумную среду [154].

Дальнейшее развитие конструкций ВКА, включающих вводы движе-

ния - механизмы непосредственного действия, не содержащие пары

трения в вакуумной полости, обусловило необходимость получения

структуры с одним исполнительным органом. Формула строения данного

устройства получена из выражения (3.32) :

Общий вид конструкции сверхвысоковакуумного затвора , реали-

зующей данную цель, приведен на рис. П.7, П.7А-В.

Подобное выполнение затвора позволило использовать в структу-

ре только один исполнительный орган при сохранении достоинств вы-

- 130 -

шеописанной конструкции [155].

4.4.2. Конструкции ВКА, разработанные на основе синтеза ее

механизмов.

Необходимость синтеза механизмов обусловлена, как правило,

использованием электромеханического или ручного привода, а также

сложным видом движения при перекрывании и герметизации проходного

отверстия, что особенно актуально для плоских и проходных затво-

ров. Рассмотрим конструкции ВКА, полученные с использованием раз-

личных путей синтеза ее механизмов (см. п. 3.4.1.).

Кинематическая схема поворотного затвора, полученная на осно-

ве анализа трехконтурной формы цепи (с использованием ППП "SSVC"),

реализованной посредством плоских рычажных механизмов, приведена

на рис. П.8. Формулу строения данного устройства, согласно (3.35),

можно представить в виде:

Проработка и практическое воплощение полученной схемы меха-

низма совмещенной структуры (рис. П.9) обеспечили рациональное

движение уплотнительного диска при перекрывании и герметизации

проходного отверстия: поступательное его движение на стадии герме-

тизации и поворот уплотнительного диска на 90 на стадиях открыва-

ния и закрыванияя затвора при небольшом ходе ведущего звена приво-

да.

Подобное выполнение устройства приводит к повышению ресурса и

надежности работы затвора за счет исключения неравномерности сжа-

тия уплотнителя и его трения о седло, а также обеспечения фиксиро-

ванного положения уплотнительного диска в каждый момент работы

затвора, что устраняет возможность его перекосов [120].

- 131 -

Дальнейшая доработка рассмотренной конструкции обусловлена

оптимизацией созданного механизма по критерию Ф (выражение

(2.21)). Оптимизация проводилась для механизма, расположенного вне

вакуумной полости затвора и являющегося собственно его приводом (с

использованием ППП "Р4"). Целью проектирования явилась необходи-

мость обеспечения различных передаточных функций на стадиях перек-

рывания и герметизации проходного отверстия. Указанная цель реали-

зована посредством использования двух взаимодействующих типовых

элементарных механизмов - попеременно работающих эксцентриков

(рис. П.10), причем на стадии перемещения уплотнительного диска,

требующей значительных перемещений при малых усилиях, работает

эксцентрик с большим эксцентриситетом, а герметизация затвора про-

изводится эксцентриком с маленьким эксцентриситетом. Подобное вы-

полнение устройства позволяет существенно уменьшить приводное уси-

лие для получения требуемого усилия герметизации [156].

По отношению к используемым механизмам, особенно расположен-

ным в вакуумной полости, наиболее критичны сверхвысоковакуумные

конструкции, качество которых зачастую определется дестабилизирую-

щим влиянием на рабочую сверхвысоковакуумную среду (величиной

привносимой дефектности). В связи с этим одной из основных целей

проектирования сверхвысоковакуумных клапанов и затворов является

уменьшение числа тяжелонагруженных пар трения в механизмах, рабо-

тающих в вакуумной полости ВКА, либо полное их устранение, что на-

иболее труднодостижимо для конструкций плоского типа. Другим важ-

ным аспектом разработки конструкций с электромеханическим приводом

является использование только одного привода для их функционирова-

ния, что определило цели проектирования описываемых ниже конструк-

ций сверхвысоковакуумных прямопролетных плоских затворов.

На рис. П.11, П.11А,Б представлен общий вид сверхвысоковаку-

умного затвора, в котором механизм, расположенный в вакуумной по-

- 132 -

лости, обеспечивает поворот уплотнительного диска для перекрывания

проходного отверстия, что не требует больших усилий, а герметиза-

ция осуществляется механизмом, расположенным вне вакуумной по-

лости. Формула строения при этом имеет вид:

Подобная конструкция является устройством переменной структу-

ры с отключением механизма перемещения при герметизации:

Достоинством разработанного механизма перемещения уплотни-

тельного диска (рис. П.11Б) является его большое передаточное от-

ношение при незначительных габаритах, что приводит к минимизации

критерия Ф [157].

Вместе с тем, рассмотренная конструкция достаточно сложна, а

механизм перемещения из-за расположения в вакуумной полости труд-

норегулируем, что определило цель проектирования - удаление меха-

низма из вакуумной полости (замена его механизмом непосредственно-

го действия), т.е. генерацию структуры по выражению (3.33). При

этом формула строения принимает вид:

Указанная проектная цель была достигнута в разработанном

сверхвысоковакуумном затворе с электромеханическим приводом путем

синтеза зубчато-кулачкового механизма, расположенного вне вакуум-

ной полости (рис. П.12, П.12А,Б).

Рассматриваемый затвор является конструкцией нового, ранее не

описанного типа устройств с механизмами переменной структуры: с

отключением механизма герметизации при перекрывании проходного от-

верстия и с отключением механизма перемещения уплотнительного

диска при его герметизации, что отмечено при разработке структур-

- 133 -

но-конструктивной классификации ВКА (п. 1.3), а формально было

предопределено при анализе множества возможных формул строения ВКА

(выражение (3.33)).

Подобное выполнение устройства позволило исключить механизмы

из вакуумной полости, что повышает ресурс работы затвора, упрощает

его управление и наладку при сохранении автономного (в сравнении с

пневмоуправляемыми конструкциями) привода [158].

4.4.3. Конструкции ВКА, разработанные на основе использования

различных физических эффектов.

При создании конструкций ВКА, описываемых в настоящем разделе

использован программный модуль "VP2".

Использование ФЭ в структуре ВКА как правило приводит к ее

усложнению и удорожанию, поэтому их применение целесообразно, в

основном, в сверхвысоковакуумных конструкциях, что объясняется

сложностью и особенностями функционирования подобной ВКА.

Главным недостатком цельнометаллической ВКА является большое

усилие герметизации уплотнительной пары, что приводит к повышенной

требуемой мощности привода, росту массо-габаритных характеристик и

снижению ресурса работы устройств. В связи с этим основной целью

проектирования является уменьшение действующих в ВКА усилий.

Достичь желаемого позволяет ФЭ, получивший название "гистерезис

натеканий" и заключающийся в возможном снижении после герметизации

УП прикладываемых к ней усилий в 2-3 раза, не приводящем к разгер-

метизации стыка [70, 159].

С использованием данного ФЭ разработан способ герметизации

цельнометаллического разъемного вакуумного соединения, который мо-

жет быть реализован как с помощью средств управления [160, 161],

так и с помощью ФЭ, преобразующих немеханическую энергию в механи-

- 134 -

ческую [162]. Уточненная с учетом выявленной вспомогательной функ-

ции - "разгрузить уплотнительную пару" - обобщенная функцио-

нальная структура , представлена на рис. П.13. Причем выполне-

ние функции может быть реализовано соответствующим перемещени-

ем уплотнительного диска.

Конкретная реализация подобной получена в конструкции

сверхвысоковакуумного клапана, приведенной на рис. П.14, использу-

ющей ФЭ "тепловое расширение" - преобразование тепловой энергии в

механическую (перемещение уплотнительного диска за счет изменения

линейных размеров штока при нагреве). При этом введение в структу-

ру предлагаемого устройства ФМ "нагреватель", включение которого

герметизирует УП, а отключение - разгружает ее (после остывания

штока), позволяет уменьшить усилия в элементах клапана в положении

"закрыто", избавиться от перегрузок на уплотнительную пару в мо-

мент герметизации и при прогревах; снизить мощность используемого

привода, что существенно повышает надежность и ресурс работы

конструкций [163].

Анализ дерева целей проектирования, представленного на рис.

2.8, позволяет сформировать косвенные пути решения поставленной

задачи. В частности, как отмечалось в п. 2.4 уменьшение усилия

герметизации, связанно с изменением свойств материала уплотнителя,

например, предела его текучести. Более подробное изучение данной

проблемы показало, что существенное влияние на этот параметр ока-

зывает образующаяся на поверхности уплотнителя оксидная пленка

[67]. Таким образом, сформировалась дополнительная функция ВКА

- "удалить оксидную пленку с поверхности уплотнителя". Уточненная

, учитывающая данную функцию представлена на рис. П.15. Для ре-

ализации выявленной дополнительной функции был использован ФЭ

диссоциации окислов под воздействием потока электронов [164].

Конструкция сверхвысоковакуумного затвора, позволяющая воплотить

- 135 -

данный ФЭ, приведена на рис. П.16, П.16А,Б, из которых видно, что

дополнительная функция ВКА повлекла за собой изменение структуры

ВКА за счет появления нового ФМ "катодный узел".

Подобное выполнение устройства позволяет уменьшить усилие

герметизации вследствие устранения промежуточного слоя окисла и

повышения пластичности уплотнителя путем уничножения оксидной

пленки на его поверхности, что существенно повышает надежность и

ресурс работы затвора и уменьшает массо-габаритные характеристики

привода [165].

Выводы.

1. Создан комплекс программных средств, реализущий разрабо-

танные методики и позволяющий автоматизировать основные этапы

функционального и схемотехнического проектирования ВКА. Использо-

вание программных средств, предоставляя возможность рассмотрения

всех вариантов генерируемых технических решений ВКА, в 3-4 раза

уменьшает трудоемкость конструкторских разработок по сравнению с

нормами традиционного проектирования.

2. Разработанное программное обеспечение параметрического

анализа конструкций ВКА инвариантно и может быть использовано для

анализа ТО любой предметной области при создании соответствующего

информационного обеспечения.

3. На базе предложенного алгоритма схемотехнического и функ-

ционального проектирования ВКА, а также созданных программных

средств, разработана структурно-функциональная модель САПР ВКА,

реализующая этапы синтеза, анализа и моделирования ВКА, использо-

вание которой позволит конструктору получать принципиально новые

технические решения.

4. На основе применения созданных программных средств м раз-

- 136 -

личных методик схемотехнического и функционального проектирования

разработаны новые перспективные конструкции ВКА, отличающиеся по-

вышенными технико-экономическими показателями, в частности, в 2-4

раза меньшими потребляемой мощностью и массо-габаритными характе-

ристиками, в 1,5-2 раза повышенными ресурсом и надежностью работы.

5. Практически реализована конструкция нового, ранее не

встречавшегося в практике конструирования типа ВКА с механизмами

переменной структуры: с отключением механизма герметизации при пе-

рекрывании проходного отверстия и с отключением механизма переме-

щения уплотнительного диска при его герметизации, выявленная в

процессе разработки методических основ синтеза механизмов ВКА.

.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный комплекс теоретических, исследовательских и

конструкторских работ и полученные результаты позволяют сделать

следующие выводы:

1. На основе анализа требований и эволюции оборудования про-

изводства изделий электронной техники выявлена потребность разра-

ботки новых конструкций ВКА. Показана необходимость новых подходов

к проектированию ВКА, использование которых раскрывает и усиливает

творческие возможности конструктора и предоставляет ему методы для

поддержки принимаемых им решений.

2. Проведен системный анализ ВКА, позволивший разработать ин-

вариантные относительно иерархического уровня модели ВКА как объ-

екта конструирования и системную модель процесса проектирования

ВКА, являющиеся основой создания методик функционального и схемо-

технического проектирования. На основе системного анализа произве-

дена структуризация требований, предъявляемых к ВКА, и формализо-

ваны процедуры формирования исходных данных для различных этапов

проектирования, позволяющие устранить ошибки конструктора, умень-

шить количество итераций и исключить неопределенность и противоре-

чивость данных при проектировании.

3. Осуществлен функционально-структурный анализ ВКА, на осно-

ве которого выявлена обобщенная структура ВКА и установлена ее

стабильность, что обеспечило использование методов поискового

конструирования для схемотехнического проектирования ВКА. Показана

целесообразность применения наиболее естественного для практики

конструирования метода морфологического анализа и синтеза, позво-

ляющего формализовать процесс синтеза структурных схем ВКА и об-

легчающего работу конструктора.

4. Разработаны математические модели ВКА на этапах функцио-

нального и схемотехнического проектирования. Обоснованы и выведены

критерии оптимальности ВКА, позволившие определить пути совер-

шенствования и выбор наилучших технических решений ВКА. Изучено

влияние кинематических и динамических свойств механизмов ВКА на ее

показатели качества и процесс функционирования.

5. Предложена обобщенная модель функционально-схемотехни-

ческого проектирования ВКА, предоставляющая конструктору упорядо-

ченную последовательность действий, необходимых для выбора страте-

гии при создании ВКА.

6. Разработаны методика и математические модели функциональ-

ного и схемотехнического проектирования ВКА, позволяющие конструк-

тору генерировать и находить удовлетворяющие ТЗ технические реше-

ния ВКА тогда, когда его опыта и интуиции недостаточно. Методика

позволяет конструктору как самому, так и с помощью средств вы-

числительной техники осуществить синтез ФПД ВКА и целенаправленный

процесс генерации структур ВКА, их поиск и выбор рациональных тех-

нических решений.

7. Создана методика синтеза ФПД как этапа функционального

проектирования ВКА, позволяющая разрабатывать функциональную

структуру ВКА тогда, когда разработка ее элементной структуры на

основе известных функциональных структур не удовлетворяет требова-

ниям ТЗ.

8. Разработана методика и математическая модель оценки

конструкций ВКА и ее структурных составляющих, позволяющая

конструктору производить оценку их технического уровня и выявлять

необходимость проведения модернизации конструкций.

9. Развита классификация ВКА, включающая признаки используе-

мых механизмов и являющаяся основой их синтеза. Выявлен новый, ра-

нее не встречающийся в практике конструирования класс устройств с

механизмами переменной структуры: с отключением механизма гермети-

зации при перекрывании проходного отверстия и с отключением меха-

низма перемещения уплотнительного диска при его герметизации.

Предложена методика синтеза механизмов ВКА, обеспечивающая возмож-

ность формирования их кинематических схем.

10. Создан комплекс программных средств, реализующий разрабо-

танные методики и позволяющий автоматизировать основные этапы

функционального и схемотехнического проектирования ВКА, использо-

вание которого в 3 - 4 раза уменьшает трудоемкость конструкторских

разработок по сравнению с нормами традиционного проектирования. На

основе полученных результатов разработана функционально-структур-

ная модель САПР ВКА, реализующая этапы синтеза, анализа и модели-

рования ВКА, использование которой позволит конструктору получать

принципиально новые технические решения.

11. На базе проведенных теоретических и экспериментальных

исследований разработаны новые перспективные конструкции ВКА, от-

личающиеся повышенными технико-экономическими показателями, в

частности, меньшими (в 2 - 4 раза) потребляемой мощностью и

массо-габаритными характеристиками, повышенными (в 1,5 - 2 раза)

ресурсом и надежностью работы.

Результаты работы внедрены на заводе "Темп" (г. Фурманов),

экономический эффект оценивается в 55 тыс.руб., в ОИЯИ (г. Дубна),

а также в НПО "Вакууммашприбор" (г. Москва) и в НИИТМ (г. Зеленог-

рад).

.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилин Б.С. Вакуумные технологические процессы и оборудо-

вание микроэлектроники. - М.: Машиностроение, 1987. - 71 с.

2. Sharma J.K.N. Vacuum systems for ion implantation equipment

// Solid State Technol. - V. 17, N 12, 1974.

3. Тихонов А.Н. Особенности проектирования вакуумных систем

современного микрозондового оборудования. / Межвузовский

сборник."Электронное машиностроение, робототехника, техно-

логия ЭВП". - М.: МИЭМ, 1984. - с. 123 - 128.

4. Попов В.Ф. Ионно-лучевые установки. - Л.: Энергоиздат, 1981.

- 136 с.

5. Попов В.Ф., Горин Ю.Н. Процессы и установки электронно-ион-

ной технологии. - М.: Высшая школа, 1988. - 255 с.

6. Weston G.F. Materials for ultrahigh Vakuum. // Vakuum. - V.

25, N 7, 1975.

7. Jlsey R.J. Outgassing of vakuum materials. I. // Vakuum. -

V. 25, N 7, 1975.

8. Жилнин В.С., Жилнина Л.П., Кузьмин А.А. Исследование

десорбции паров воды с поверхности нержавеющей стали

Х18Н10Т в вакууме 10 - 10 торр при различных температурах.

/ Сборник ЭТ, сер. 4 "Электровакуумные и газоразрядные при-

боры". - М.: 1974.

9. Фигнер А.И. Высоковакуумная техника. / Сборник "Электроника

и ее применение". - М.: 1978.

10. Дьяков Ю.Н., Лукичев А.В., Тимофеев Б.В. Современные требо-

вания к технологическим средам и химикатам, используемым

для микроэлектроники. // Электронная промышленность. - Вып.

155, N 7, 1986. - с. 3 - 11.

- 2 -

11. Ивановский Г.Ф., Петров В.И. Ионно-плазменная обработка ма-

териалов. - М.: Радио и связь. 1986. - 232 с.

12. Данилин Б.С., Киреев В.Ю. Применение низкотемпературной

плазмы для травления и очистки материалов. - М.: Энергоато-

миздат, 1987. - 264 с.

13. Hoh P.D. Quantative particulate contamination studies

utilirinq reduced turbulence pumping and Ventig. // J.Vac.

Sci. and Technol. - V. 2, N 2, 1984. - p. 198.

14. Jolliver D.L. Contamination control: New dimensions in VLSI

manufacturing.// Solid State Tehnol. - 1984,March. - 129 р.

15. Микролитография второй половины 80-х годов. - ЦНИИ "Элект-

роника", вып. 21, 1985. - 5 с.

16. Winkler O. Le developpement de la metallurgie sous vide et

ses perspectives. // Le Vide. - V. 31, N 181, 1976.

17. Пипко А.И. Вакуумно-термическое оборудование в производстве

изделий электронной техники.- М.:Машиностроение,1986.- 55с.

18. Bauer R. Der Vacuumofen-Grundlage wirtschaflicher Warmebe-

handlungsverfahren.// Techn. Zbl. prakt. Metallbearb. - V.

70, N 11, 1976.

19. Ковалев Л.К. Вакуумное оборудование для производства тон-

копленочных структур квантовой электроники. // Обзоры по

ЭТ, серия 11 "Лазерная техника и оптоэлектроника". - 1982,

вып. 2 (886) - 83 с.

20. Розанов Л.Н. Вакуумные машины и установки. - Л.: Машиност-

роение.(Ленингр.отд.), 1975. - 336 с.

21. Саксаганский Г.Л. Вакуумная техника и технология электрофи-

зического аппаратостроения. - М.: ИТР. - Ч. 1., 1989. - 56

с., ч. 2., 1990. - 75 с.

22. Глазков А.А., Малышев И.Ф., Саксаганский Г.Л. Вакуумные

системы электрофизических установок.- М.: Атомиздат,1975.-

- 3 -

288 с.

23. Redhead P.A. Ultrahigh Vakuum applied to physics. // J.

Vac. Sci. and Technol. - V. 13, N 1, 1976.

24. Симонов В.В., Корнилов Л.А., Шашелев А.В., Шокин Е.В. Обо-

рудование ионной имплантации. - М.: Радио и связь, 1988. -

184 с.

25. Бирюкова Н.Е., Виноградов М.И., Данилов Н.Д., Шишловский

С.К. Сверхвысоковакуумный безмасляный агрегат. // Электрон-

ная техника, сер. 7 "Технология, организация производства и

оборудование". - Вып. 1 (98), 1980. - с. 64 - 68.

26. Кузнецова Л.А., Саксаганский Г.Л. и др. Вакуумные системы

экспериментальных термоядерных установок и реакторов с маг-

нитным удержанием. // Обзор ЦНИИ Атоминфор.: ОА-66. - М.:

1984. - 70 с.

27. Грошковский Я. Техника высокого вакуума. - М.: Мир, 1975.

28. Левин А.М. Конструкционные материалы и герметики в вакуум-

ном приборостроении. - М.: Машиностроение, 1986. - 59 с.

29. Пипко А.И., Плисковский В.Я., Пенчко Е.А. Конструирование и

расчет вакуумных систем. - М.: Энергия, 1979. - 504 с.

30. Панфилов Ю.В., Рябов В.Т., Цветков Ю.Б. Оборудование произ-

водства интегральных схем и промышленные роботы. - М.: Ра-

дио и связь, 1988. - 320 с.

31. Блинов И.Г., Кожитов Л.В. Оборудование полупроводникового

производства. - М.: Машиностроение, 1986. - 264 с.

32. Large-area industrial vacuum coation in the 1990 s.: [Pap.]

Prog. 36 th. Nat. Symp. Amer. Vac., Boston Mass, 23 - 27

Oct. 1989. / Johansen Paul R. // J. Vac. Sci. and Technol.

A., 1990. - 8, N 3 - p. 2798 - 2801.

33. Аверина А.П., Лоскутов А.И. Вакуумные аналитические приборы

и оборудование. - М.: Машиностроение, 1986. - 75 с.

- 4 -

34. Некрасов М.И. Учет дестабилизирующего влияния внутрикамер-

ных устройств на технологический процесс напыления в вакуу-

ме. / Межвузовский сборник "Электронное машиностроение, ро-

бототехника, технология ЭВП". - 1986. - с. 43 - 50.

35. Карасев Б.Г., Саксаганский Г.Л. и др. Комплекс экспер мен-

тальных установок для исследования радиационно-вакумных и

физикомеханических характеристик конструкционных материалов

ТЯР. / Сборник "Исследование и разработка материалов для

реакторов термоядерного синтеза". - М.: Наука, 1981, - с.

134 - 137.

36. Александров В.С., Саксаганский Г.Л. и др. Ускорительный

комплекс тяжелых ионов в ОИЯИ. - Дубна: Препринт ОИЯИ:

Р9-83-613, 1983. - 196 с.

37. Vacuum. / Mizobuchi A., Chida K.. // Annu. Rept, Jan. -

Dec. 1989. / Inst. Nucl. Stady Univ. Tokyo. - Tokyo, 1990.

- p. 143 - 144.

38. Денисов А.Г., Кузнецов Н.А., Макаренко В.А. Оборудование

для молекулярно-лучевой эпитаксии. // Обзоры по ЭТ, сер. 7

"Технология, организация производства и оборудование. - N

17 (828), 1981. - 52 с.

39. Саксаганский Г.Л., Котельников Ю.Н., Малев М.Д., Смирницкая

Г.В., Юферов В.Б. Сверхвысокий вакуум в радиационно-физи-

ческом аппаратостроении. - М.: Атомиздат, 1976. - 288 с.

40. Прогресс технологии БИС. // Дэнси дзайре. - Т.23, 1984. - с.30.

41. Уэстон Д. Техника сверхвысокого вакуума. - М.: Мир, 1988. -

365 с.

42. Achievement of extreme high vacuum in the order of 10 Pa .

without baking of test chamber.: [Pap] Proc. 36 th. Nat.

Symp. Amer. Vac. Soc., Boston, Mass., 23 - 27 Oct., 1989/

Kato S., Aono M., Sato K., Baba Y. // J. Vac. Sci. and

- 5 -

Tehnol. A. - 1990. - 8, N 3. - p. 2860 - 2864.

43. Hamacher H. Berechnung des Saugvermogens in

Raumsumulations- . kammern unter Berucksichtigung des

Kaltewandeinflusses. // Vakuumtechnik. - V.25, N 2, 1976.

44. Котельников Ю.Н. Автоматизация вакуумно-технологических

процессов и оборудования.- М.:Машиностроение, 1987. - 55 с.

45. Александрова А.Т., Ермаков Е.С. Гибкие производственные

системы электронной техники. - М.: Высшая школа, 1989. -

319 с.

46. Волчкевич Л.И. Автоматизация производства электронной тех-

ники. - М.: Высшая школа, 1988. - 287 с.

47. Батраков В.Б. и др. Разработка информационного и программ-

ного обеспечений САПР вакуумного оборудования. / В кн."Раз-

работка САПР вакуумного оборудования и САПР систем автома-

тизированного управления". - НТО МИЭМ, N гос.регистрации

01890052063, Деп. ВНТИЦ. Инв. N 02900008823. - М.: 1989. -

8 - 34 с., ДСП.

48. Хруничев Ю.А. Анализ производительности оборудования для

производства электронных приборов./ Межвузовский сборник

"Электровакуумное машиностроение". - М.: Вып. 2, 1978. - с.

9 - 11.

49. Розанов Л.Н. Вакуумная техника. - М.: Высшая школа, 1984. -

207 с.

50. Александрова А.Т. Математическая модель процеса изменения

концентрации газа в вакуумном объеме при газовыделении из

очага трения. / Межвузовский сборник "Электронное машиност-

роение, робототехника, технология ЭВП". - М.: 1984. - с. 12

- 17.

51. Львов Б.Г. Новые конструкции высоковакуумных прямопролетных

клапанов. - М.: Высшая школа, 1980. - 72 с.

- 6 -

52. Wheeler W.R. Recent developments in metal-sealed gate valves.

// J. Vac. Sci. and Technol. - V. 13, N 1, 1976.

53. Вакуумная техника. Справочник / Под ред. Фролова Е.С., Ми-

найчева В.Е. - М.: Машиностроение, 1985. - 351 с.

54. Львов Б.Г., Шувалов А.С. Техническое обслуживание новой

коммутационно-регулирующей аппаратуры. - М.: Высшая школа,

1987. - 72 с.

55. Рот А. Вакуумные уплотнения. - М.: Энергия, 1971. - 464 с.

56. Вакуумное оборудование. / Каталог. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш,

1985. - 60 с., ДСП.

57. Дополнения и изменения к номенклатурному каталогу на осво-

енные и серийно выпускаемые изделия вакуумного машинострое-

ния. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1986. - 11с., 1987. - 12 с.,

1988. - 15 с. ДСП.

58. Вакуумная запорная и регулирующая арматура. Справочные ма-

териалы. - М.: ОТЭИНТИ, 1987. - 55 с.

59. Vacuum valves. Каталог фирмы VAT., 1989. - 220 р.

60. Vacuum Equipment. Каталог фирмы PERKIN ELMER, 1988. - 185 р.

61. Vacuum Components. Каталог фирмы BALZERS, 1987. - 300 р.

62. Ventile. Каталог фирмы LEYBOLD-HERAUES, 1989. - 35 р.

63. Вакуумная техника. Каталог компонентов фирмы Alcatel, 1986. -

245 с.

64. Vacuum Valves. Информационно-справочные материалы фирмы

Alcatel, 1989. - 12 р.

65. Vannes d'equeppe. Информационно-справочные материалы фирмы

Alkatel, 1987. - 4 р.

66. UHN Components. Каталог фирмы VACUUM GENERATORS, 1989. - 40 р.

67. Львов Б.Г., Шувалов А.С. Современные сверхвысоковакуумные

уплотнения. - М.: Высшая школа, 1984. - 71 с.

68. Chernatony L. Recent advances in elastomer technology vor

- 7 -

UHV application. // Vakuum. - V. 27, N 10, 1978.

69. Гойхман У.М., Антонов Б.Н. О газопроницаемости некоторых

резин. // Каучук и резина. - N 7, 1976.

70. Домрачев С.Н., Моисеев В.Я., Саксаганский Г.Л. Конструиро-

вание разъемных вакуумных соединений с металлическими уп-

лотнителями. // Электронная техника., сер. 4 "Электроваку-

умные и газоразрядные приборы". - Вып. 3,1975. - с. 67-75.

71. Романенко Н.Т. Агрегаты пневматических систем летательных

аппаратов. - М.: Машиностроение, 1976. - 98 с.

72. Бушенин Д.В., Марусев В.А. Новые виды сильфонных уплотнений

в вакуумной арматуре. - Владимир, 1982. - 88 с.

73. Медников М.И. Вводы движения в вакуум. - М.: Машиностроение,

1974. - 180 с.

74. Деулин Е.А. и др. Расчет, конструирование и особенности

эксплуатации механизмов для работы в вакууме. - М.: Маши-

ностроение, 1986. - 79 с.

75. Wheeler W.R. High vacuum gate valves. Пат. США, кл.

251-204, N 3973753, 1976.

76. Дривинг Н.Я., Назаров Л.Н. Сверхвысоковакуумный затвор про-

извольной ориентации с использованием легкоплавкого уплот-

нителя. / Межвузовский сборник "Электронное машиностроение,

робототехника, технология ЭВП". - М.: 1986. - с. 96 - 101.

77. Усов В.В., Гутник Г.Н. К вопросу об унификации некоторых

вакуумных изделий в ХФТИ. / Сборник "Вопросы атомной науки

и техники". Сер. "Физика и техника высокого вакуума". -

Харьков: вып. 1, 1974.

78. Розанов Л.Н. Вакуумная техника. - М.: Высшая школа, 1990. -

319 с.

79. Verfahren zum Abdichten von Hochvakuumverbindungen und

komponenten im Anlagenban.: Пат. 281229 ГДР, МКИ .

- 8 -

F16V15/08 / Appel Fritj, Akademie der Wissenshaften der

DDR. N 3272353. Заявл. 4.04.89. Опубл. 1.08.90.

80. Батраков В.Б., Львов Б.Г., Шувалов А.С. Структур-

но-конструктивная классификация высоковакуумных клапанов и

затворов. / Тезисы докл. V Всесоюз. конференции "Физика и

техника высокого и сверхвысокого вакуума", ч. II. - Л.:

1985. - с. 134 - 135.

81. Батраков В.Б., Львов Б.Г. Анализ математических методов ав-

томатизации поискового конструирования и метод выбора тех-

нических объектов для САПР в ГАП. / В кн. "Разработка тео-

ретических основ проектирования ГАП". - НТО МИЭМ, N Гос.

регистрации 01840047750. Деп. ВНТИЦ. Инв. N 02850050183. -

М.: 1984, с. 4 - 31. ДСП.

82. Половинкин А.И. Методы инженерного творчества. - Волгоград,

1984. - 365 с.

83. Вермишев Ю.Х. Методы автоматического поиска решений при

проектировании сложных технических систем. - М.: Радио и

связь, 1982. - 152 с.

84. Батищев Д.И. Поисковые методы оптимального проектирования.

- М.: Советское радио, 1975. - 216 с.

85. Одрин В.М., Картавов С.С. Морфологический анализ систем.

- Киев: Наукова думка, 1977. - 147 с.

86. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. - М.: Со-

ветское радио, 1979. - 175 с.

87. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках.

- М.: Радио и связь, 1984. - 142 с.

88. Автоматизация поискового конструирования (искусственный ин-

теллект в машинном проектировании) / Под. ред. Половинкина

А.И. - М.: Радио и связь, 1981 - 344 с.

89. Буш Г.Я. Аналогия и техническое творчество. - Рига: Лиесма,

- 9 -

1979. - 128 с.

90. Дворянкин А.М., Половинкин А.И., Соболев А.Н. Методы и син-

тез технических решений. - М.: Наука, 1977. - 103 с.

91. Дворянкин А.М. и др. Методика поиска рациональных техни-

ческих решений. // Управляющие системы и машины. - N 5,

1977. - с. 102 - 107.

92. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: Учебное

пособие для студентов втузов. - М.: Машиностроение, 1988.-

368 с.

93. Повилейко Р.П. Классификация методов решений конструк-

торско-изобретательских задач (ДМП). / В кн. Информатика и

ее проблемы. - Новосибирск, вып. 5, 1972. - с. 1 - 37.

94. Zwicky F. Entdeeken, Erfinden, Forschen im morphologischen.

Weltbild. Munchen, Zurich, Knaur, 1966.

95. Ханзен Ф. Основы общей методики конструирования. Системати-

зация конструирования. - Л.: Машиностроение, 1969. - 166с.

96. Капустян В.М., Махотенко Ю.А. Конструктору о конструирова-

нии атомной техники. - М.: Атомиздат, 1980. - 190 с.

97. Холян А., Элюким С. Формализация составления варианто в за-

дачах конструирования. // Техническая эстетика. - N 7,

1970. - с. 3 - 5.

98. Baaty U. Rechnergestutzte Prinziperarbeitting mit Hilvfe

der morphologichen Analyse und Sunthese T.1. / Industrie-

Anzeiger. - 1971, N 17, p. 349 - 353.

99. Lotter R.Die rechnergestutzte Kourbinatious - methode im

konstruktiven Entwicklimgesprozess / Feingeratetechnik. -

1976, N 6. - p. 270 - 273.

100. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. - М.:

Наука, 1982. - 200 с.

101. Корячко В.П., Курейчик В.М., Норенков И.П. Теоретические

- 10 -

основы САПР. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 400 с.

102. Быков В.П. "Методическое обеспечение САПР в машинострое-

нии", Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1989. - 255 с.

103. Аветисян Д.А., Башмаков И.А., Геминтер В.И. и др. Системы

автоматизированного проектирования. Типовые элементы, мето-

ды и процессы. - М.:Издательство стандартов, 1985. - 179 с.

104. Норенков И.П. "Введение в автоматизированное проектирование

технических устройств и систем". - М.: Высшая школа, 1980.

- 311 с.

105. Норенков И.П. Системы автоматизированного проектирования.

Принципы построения и структура. Кн. 1. - М.: Высшая школа,

1986. - 127 с.

106. Жук Д.М., Мартынюк В.А., Сомов П.А. Технические средства и

операционные системы. САПР. Кн. 2 - Минск: Высшая школа,

1988. - 156 с.

107. Кулон Ж.-Л., Сабоннадьер Ж.-К. САПР в электротехнике. - М.:

Мир, 1988. - 208 с.

108. САПР в радиотехнике. Справочник. / Под ред И.П. Норенкова.

- М.: Радио и связь, 1986. - 368 с.

109. Ильин В.Н., Фролкин В.Г., Бутко А.И. и др. Автоматизация

схемотехнического проектирования. - М.: Радио и связь,

1987. - 368 с.

110. Капустин Н.М., Васильев Г.Н. Автоматизация конструкторского

и технологического проектирования. САПР. Кн. 6. - Минск:

Вышэйшая школа, 1988. - 191 с.

111. Керимов З.Г., Багиров С.А. Автоматизированное проектирова-

ние конструкций. - М.: Машиностроение, 1985.

112. САПР изделий и технологических процессов в машиностроении.

Справочник. / Под ред. Аллик Р.А. - Л.: Машиностроение,

1986. - 319 с.

- 11 -

113. Челищев Б.Е., Боброва И.В., Гонсалес-Сабатер А. Автоматиза-

ция проектирования технологии в машиностроении. - М.: Маши-

ностроение, 1987. - 264 с.

114. Дризовский Л.М., Киселева Э.В., Буторина Т.С. Состояние и

перспективы развития САПР. // Приборы и системы управления.

N 11, 1983. - с. 15 - 17.

115. Проников А.С. Надежность машин. - М.: Машиностроение, 1978.

- 592 с.

116. Тамм Б.Г., Пуусепп М.Э., Таваст Р.Р. Анализ и моделирование

производственных систем. - М.: Финансы и статистика, 1987.-

191 с.

117. Батраков В.Б., Барашкова Г.Н., Кожевников А.И. Формирование

концептуальных моделей объекта в САПР вакуумной коммутаци-

онно-регулирующей аппаратуры". / Тезисы доклада ВНТС "САПР

в машиностроении". - Ульяновск: 1990г. - с. 59.

118. Арменский Е.В., Львов Б.Г., Митрофанов С.А. Стратегия пост-

роения концептуальной модели технического объекта. / Межву-

зовский сборник "Методы моделирования и оптимизации в САПР

конструкторско-технологических работ". - М.:1989. - с. 3-6.

119. Батраков В.Б. Функционально-структурная модель вакуумной

коммутационно-регулирующей аппаратуры". / Межвузовский

сборник научных трудов "Методы моделировани и оптимизации в

САПР конструкторско-технологических работ". - М.: МИЭМ,

1989. - с. 81 - 87.

120. А.с. N 1346894 (СССР). Поворотный вакуумный затвор. / Бат-

раков В.Б., Косухин В.В., Львов Б.Г.- Опубл. в Б.И. N 39,

1987.

121. Патент СССР N 368766, 1973.

122. Артоболевский И.И. Теория механизмов. - М.: Наука, 1967. -

720 с.

- 12 -

123. Батраков В.Б., Львов Б.Г., Шихов А.И. Исследование динамики

системы "вакуумная коммутационно-регулирующая аппаратура -

автоматический привод". / Тезисы доклада V Всесоюзной кон-

ференции "Физика и техника высокого и сверхвысокого вакуу-

ма", ч.II. - Л.: 1985. - с. 134.

124. Батраков В.Б., Львов Б.Г., Шихов А.И. Исследование динамики

системы "вакуумный натекатель - электромеханический при-

вод". / Межвузовский сборник "Электронное машиностроение,

робототехника, технология ЭВП". - М.: 1984. - с. 3 - 8.

125. Батраков В.Б., Львов Б.Г. Параметрический выбор элементной

базы при автоматизированном проектировании вакуумных систем

научно-космической аппаратуры. / В сб. "Конструирование и

технология изготовления космических приборов", АН СССР ИКИ.

- М.: Наука, 1988. - с. 32 - 37.

126. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистичекие методы

экспертных оценок. - М.: Статистика, 1980. - 263 с.

127. Батраков В.Б., Львов Б.Г. Интегральная оценка качества ме-

ханизмов вакуумных клапанов. - Деп. ВИНИТИ, N 7435-В87. -

М.: 1987. - 10 с.

128. Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ. - М.: Статистика,

1977. - 128 с.

130. Назаров Л.Н., Лавыгин В.Л. Оптимизация конструкций оборудо-

вания вакуумной техники. // ЭТ, сер. 7, ТОПО, вып. 6 (109),

1981. - с. 38 - 40.

131. Ипатов М.И. Расчет себестоимости проектируемых машин. - М.:

Машиностроение, 1968. - 179 с.

132. Батраков В.Б., Львов Б.Г. Методические основы формализации

структурного синтеза вакуумной коммутационно-регулирующей

аппаратуры (ВКРА). / Межвузовский сборник "Автоматизация

проектно-конструкторских работ в машиностроении". - М.: МИ-

- 13 -

ЭМ, 1991. - с. 89 - 96.

133. Батраков В.Б., Львов Б.Г. и др. Разработка математического

обеспечения автоматизированного синтеза структурных схем

механизмов вакуумных клапанов. / В кн. "Разработка теорети-

ческих основ проектирования гибких автоматизированных про-

изводств". - НТО МИЭМ, N гос.регистрации 01840047750. Деп.

ВНТИЦ.Инв.N 02850049753. - М.: 1984.- с. 45-87. ДСП.

134. Петров Ю.А., Батраков В.Б., Львов Б.Г. и др. Разработка ППП

синтеза и анализа механизмов вакуумно-коммутационной аппа-

ратуры. - НТО КнАПИ и МИЭМ, N гос.регистрации 01880018619.

Деп. ВНТИЦ. Инв. N 02890019044, 1989.- 262 с.

135. Озол О.Г. Исследование топологических свойств кинемати-

ческих цепей. / Труды ЛСХА, вып. XVII - Рига: 1965.

136. Артоболевский И.И., Руссман И.Б., Сергеев В.И., Статников

Р.Б. О некоторых способах выбора интегрального критерия ка-

чества в задачах оптимального проектирования машин./ "Маши-

новедение", N 2, 1978.

137. Батраков В.Б., Львов Б.Г., Шихов А.И. Кинематический анализ

механизмов вакуумных прямопролетных затворов. Деп. ВИНИТИ,

N 3455-85. - М.: 1985. - 15 с.

138. Львов Б.Г., Шихов А.И. Методика расчета коэффициента полез-

ного действия механизмов вакуумных клапанов и затворов.

Деп. ВИНИТИ, N 3454-85. - М.: 1985. - 12 с.

139. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы мате-

матических вычислений. - М.: Мир, 1980.

140. Батраков В.Б. Разработка сверхвысоковакуумной арматуры на

основе синтеза физического действия. / Тезисы доклада ВНПК

"Состояние и перспективы развития вакуумной техники" ("Ва-

куум-91"), ч. 2 - Казань: 1991. - с. 139 - 140.

141. Банк данных по физическим эффектам и явлениям, предназна-

- 14 -

ченный для поискового конструирования. - НТО ИЭИ, N гос.ре-

гистрации 01830066993. Деп. ВНТИЦ. Инв. N 02850047810. -

Иваново: 1984. ДСП.

142. Батраков В.Б., Кожеников А.И., Львов Б.Г. Метод автоматизи-

рованного выбора оптимального конструктивного варианта де-

тали. / Тезисы доклада Московской городской НТК "Автомати-

зация производственных процессов и управление качеством". -

М.: 1986. - с. 38. ДСП.

143. Батраков В.Б., Львов Б.Г. и др. Подсистема параметрического

выбора и анализа ВКРА. / В кн. "Автоматизация конструк-

торской и технологической подготовки ГПС". - НТО МИЭМ, N

гос. регистрации 01840047751. Деп. ВНТИЦ. Инв. N

0280012444. - М.: 1987. - с. 22 - 31. ДСП.

144. Батраков В.Б., Львов Б.Г. и др. Разработка ППП выбора и

оценки элементной базы ВС; структурного синтеза и кинемати-

ческого анализа механизмов ВКРА. / В кн. "Автоматизация

конструкторской и технологической подготовки ГПС". - НТО

МИЭМ, N гос.регистрации 01840047751. Деп. ВНТИЦ. Инв. N

02890021379. - М.: 1988. - с. 17 - 36. ДСП.

145. Батраков В.Б., Кожевников А.И., Львов Б.Г. Автоматизирован-

ный выбор элементной базы вакуумных систем. / Тезисы докла-

да отраслевой НТК "Автоматизация конструкторской и техноло-

гической подготовки производства в условиях ГПС". - Ужго-

род: 1988. - с. 19 - 26.

146. Батраков В.Б., Загуменнов А.Л. Синтез технических решений

ВКРА на ранних стадиях проектирования с применением ЭВМ. /

Тезисы доклада ВСНТК "Автоматизация проектирования и

конструирования в электронном машиностроении". - М.: 1988.

- с. 35. ДСП.

147. Батраков В.Б., Кожевников А.И., Львов Б.Г. Структурно-пара-

метрический синтез вакуумных систем технологического обору-

дования. / Тезисы доклада ВНПК "Состояние и перспективы

развития вакуумной техники" ("Вакуум-91").- Казань: 1991. -

с. 53 - 54.

148. Батраков В.Б., Кожевников А.И., Львов Б.Г. Формализация

проектирования вакуумных манометров на этапе выбора ФПД. /

Тезисы доклада II ВСМУиС "Датчики, преобразователи информа-

ции систем измерения, контроля и управления". - Гурзуф,

1990. - с. 36.

149. Батраков В.Б., Жирнов К.А., Львов Бю.Г. Создание вакумных

манипуляторов на базе их автоматизированного структурного

синтеза. / Тезисы доклада V ВС по робототехническим систе-

мам., ч. 1 - Геленджик: 1990. - с. 121 - 122.

150. Батраков В.Б., Кожевников А.И., Львов Б.Г., Павлова Т.С.

Автоматизация конструкторских работ при проектировании

ВКРА. / Тезисы доклада ВНТК "Информационное и программное

обеспечение САПР". - М.: 1989. - с. 101.

151. Батраков В.Б., Львов Б.Г. Структурно-функциональная модель

САПР ВКРА. - Деп. ВИНИТИ, N 5702-В87. - М.: 1987. - 8 с.

152. Батраков В.Б., Львов Б.Г. Структура и функции САПР изделий

в интегрированном ГАП ВКРА. / Тезисы доклада зонального НТС

"Состояние, опыт и направления работ по комплексной автома-

тизации производства на основе ГАП, РТК и ПР". Пенза, 1987.

- с. 96 - 97.

153. Львов Б.Г., Шихов А.И., Лилье В.К., Батраков В.Б. и др.

Разработка и исследование сверхвысоковакуумной коммутацион-

ной аппаратуры. - НТО МИЭМ, N гос.регистрации 01820077528.

Деп. ВНТИЦ. Инв. N 02850050187, М.: 1985. - 22 с. ДСП.

154. А.с. N 1275174 (СССР). Вакуумный электромагнитный затвор./

Батраков В.Б., Бродская О.Р., Губарев Е.В., Львов Б.Г.,

Павлова Т.С. - Опубл. в Б.И. N 45, 1986.

155. А.с. 1566156 (СССР). Сверхвысоковакуумный затвор. / Батра-

ков В.Б., Барашкова Г.Н., Кожевников А.И., Львов Б.Г. -

Опубл. в Б.И. N 19, 1990.

156. А.с. N 1479779 (СССР). Эксцентриковый привод клапана. /

Батраков В.Б., Косухин В.В., Львов Б.Г., Шихов А.И. -

Опубл. в Б.И. N 18, 1989.

157. А.с. N 1255789 (СССР). Сверхвысоковакуумный затвор. / Бат-

раков В.Б., Лилье В.К., Львов Б.Г.,Павлова Т.С.,Шихов А.И.

- Опубл. в Б.И. N 33, 1986.

158. А.с. N 1514998 (СССР). Сверхвысоковакуумный затвор с элект-

ромеханическим приводом. / Батраков В.Б., Кожевников А.И.,

Львов Б.Г., Павлова Т.С., Самойлов Ю.С. - Опубл. в Б.И. N

38, 1989.

159. Вязовецков В.В. Вопросы конструирования сверхвысоковакуум-

ных клапанов с деформируемым уплотнителем. / Межвузовский

сборник "Электронное машиностроение, робототехника, техно-

логия ЭВП" - М.: 1986 - с. 81 - 86.

160. А.с. N 1222963 (СССР). Устройство для управления электроп-

риводом вакуумной арматуры. / Батраков В.Б., Косухин В.В.,

Львов Б.Г., Шихов А.И. - Опубл. в Б.И. N 13, 1986.

161. Батраков В.Б., Буриков С.А., Шихов А.И. Разработка средств

управления вакуумным оборудованием. / Тезисы доклада ВНТК

"Микропроцессорные средства локальной автоматики". - Грод-

но, 1989. - с. 42 - 43.

162. А.с. N 1291772 (СССР). Способ герметизации цельнометалли-

ческого разъемного вакуумного соединения. / Батраков В.Б.,

Львов Б.Г. - Опубл. в Б.И. N 7, 1987.

163. А.с. N 1323806 (СССР). Сверхвысоковакуумный клапан. / Бат-

раков В.Б., Львов Б.Г., Павлов П.А. - Опубл. в Б.И. N 26,

1987.

164. Жолобов С.П., Малев М.Д. Диффузия кислорода в металле при

электронной бомбардировке поверхности. / ЖТФ, т. XLI, N 3,

1971. - с. 627 - 629.

165. А.с. N 1373955 (СССР). Сверхвысоковакуумный затвор. / Бат-

раков В.Б., Варлов Л.Я., Лилье В.К., Львов Б.Г., Павлов

П.А.- Опубл. в Б.И. N 6, 1988.