

2. Bereshchansky A.N. Automatic pneumatic cleaning of switch. The floor equipment and airline network. Typical materials for designing: Open Society "The Russian railway project". – М.2006. – 1-29 p.
 3. Gutsol A. F. Ranks effect. – Kolsk, 1997. – 687 p.
 4. Merkulov A. P. Vortical effect and its application in the technician. Publishing house "Mechanical engineering". – М, 1969. – 7-64 p.
 5. Muhopad Y. F. Microelectronic of a control system. – Bratsk: BrGU, 2009, – 285 p.
 6. Rosenberg L. D. Powerful ultrasonic source. Physics and technics of powerful ultrasound: publishing house "SCIENCE". – М, 1967. – 94-106 p.
 7. Filatov D. A. Microprocessor control systems of turbo-mechanisms. Information monitoring systems and managements in the industry and on transport: the collection of the scientific works/under by Y.F.Muhopad's edition. – Irkutsk: IrGUPS, 2011. – Release 19. - 118-121 p.
 8. Filatov D. A. The structure of a microprocessor control system of turbo-mechanisms on the basis of family HC08 microcontroller. Information monitoring systems and managements in the industry and on transport: the collection of the scientific works/under by Y.F.Muhopad's edition. – Irkutsk: IrGUPS, 2011. – Release 20. - 53-60 p.
 9. Filatov D. A. Application of a siren, as ultrasonic radiator on the railway. Problems of transport of Eastern Siberia: materials of scientific-practical conference of young scientists, post-graduate students and students of electromechanical faculty IrGUPS. – Irkutsk: IrGUPS, 2012. – 117-119p.
- Saburov E. N, Carpov S. V, Ostashev S.I. Heat exchange and aerodynamics of the twirled stream in cyclonic devices; Under E.N.Saburov's edition. - L: Publishing house of the Leningrad university. 1989. - 276 p.

УДК 621

Системный подход к проблеме оптимального проектирования герметизирующих устройств

П.М. Огар¹, В.А. Тарасов¹, И.И. Корсак²

¹Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия. Email: ogar@brstu.ru
ООО «ТЕХАРМ», ул.Замарстыновская 41, Львов, Украина. E-mail: texarm@utel.net.ua
Статья поступила 12.09.2012, принята 19.11.2012

Представлен системный подход к оптимальному проектированию герметизирующих устройств. Приведена иерархическая структурная модель гидropневмотопливной системы, классификация уплотнительных соединений и требования, предъявляемые при проектировании пневмогидроагрегата (ПГА). Показано, что задачи повышения качества ПГА следует решать на стадии проектирования, когда необходимо рассмотрение конструкции с точки зрения обеспечения множества противоречивых требований. Процесс проектирования конструкции формализован и представлен в виде последовательности основных этапов: формирование данных на проектирование, выбор концепции, оптимизация, детализация. Основной этап проектирования – оптимизация разделен на ряд подэтапов: постановка задачи; составление таблиц испытаний; выбор функциональных и критериальных ограничений; проверка разрешимости задачи.

Ключевые слова: системный подход, уплотнительное соединение, герметизирующее устройство, иерархическая структурная модель, затворы трубопроводной арматуры, оптимальное проектирование.

System approach to the problem of sealing devices optimum design

P.M. Ogar¹, V.A. Tarasov¹, I.I. Korsak²

¹Bratsk State University, 40 Makarenko str., Bratsk, Russia. Email: ogar@brstu.ru
²LLC «TEKHARM», 41 Zamarstynovskaya str., L'viv, Ukraine. Email: texarm@utel.net.ua
The article received 12.09.2012, accepted 19.11.2012

The system approach to the problem of sealing devices optimum design has been proposed. The hierarchical structural model of a hydropneumatic fuel delivery system, the sealing joints classification and the demands made in the process of designing the hydropneumatic unit (HPU) have been given. It has been shown that the task of the HPU upgrade should be solved at the design stage when the construction is to be considered from the point of view of providing a great number of conflicting objectives. The design process has been formalized and presented in the form of its main stages sequence: design data generation, concept selection, optimization, detailing. The main stage of designing – optimization – is divided into a number of substeps: problem formulation; tests tabulation; functional and criterion constraints selection; solubility checkup.

Keywords: system approach, sealing joint, sealing device, hierarchical structural model, pipe valves, optimum design.

Введение. Совершенствование конструкций аэрокосмической техники тесно связано с ограничением их материало- и энергоемкости, минимизацией запасов прочности их элементов при одновременном росте технико-энергетических характеристик, который обуславливается повышением давлений рабочих сред,

расширением температурного диапазона. Это, в свою очередь, требует непрерывного совершенствования всех элементов аэрокосмической техники, в том числе двигателей летательных аппаратов (ДЛА). На первый план в задачах обеспечения нормальной работы ДЛА выходят задачи функциональной надежности, т.е. возможности осуществления всех функций в пределах допустимых отклонений, не приводящих к необратимым последствиям.

Обеспечение функциональной надежности при параметрических отклонениях закладывается еще на стадии проектирования изделий. Одной из важнейших проблем, стоящей в процессе совершенствования ДЛА, решение которой определяет их надежность, является обеспечение надежности изоляции сред, степени герметичности элементов пневмогидропливных систем (ПГТС). Изоляция сред достигается различного рода уплотнительными соединениями (УС), которые относятся к числу основных элементов ПГТС и других систем оборудования, работающего под давлением, определяющих общий уровень надежности. В аспекте надежности одним из основных свойств УС является герметичность. Например, для авиационной техники число отказов, связанных с потерей герметичности, составляет до 2/3 числа отказов всех авиационных систем, а в ракетной технике более половины отказов, связанных с неисправностью двигателей, связано с дефектами уплотнений.

Совокупность деталей, образующих УС и деталей (или узлов), обеспечивающих нагружение зоны контакта сжимающими напряжениями, представляют собой герметизирующее устройство (ГУ).

Герметизирующее устройство является сложной технической системой с точки зрения механики контактного взаимодействия шероховатых поверхностей, истечения среды через уплотнительный стык, способа нагружения.

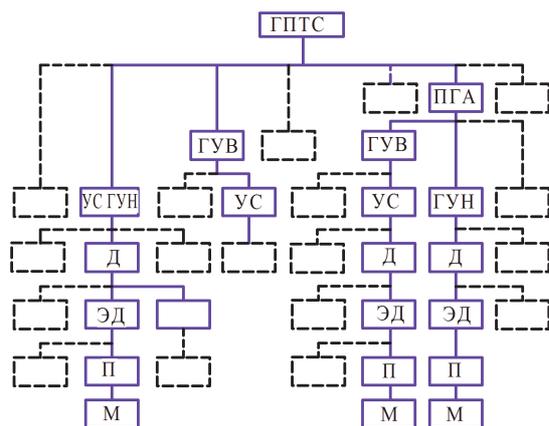


Рис. 1. Структурная модель ГПТС.

Современная теория проектирования технических систем предполагает генерирование значительного числа вариантов проектируемого узла для поиска лучших технических решений. Применительно к проектированию ГУ это возможно при математическом описании процесса герметизации, включающего: определение напряженно-деформированного состояния в зоне

контакта; контактирование шероховатых поверхностей под действием сжимающих напряжений с учетом их функциональных параметров; истечения герметизируемой среды через межповерхностную полость; динамическое нагружение; изнашивание; разрушение; влияние особенностей эксплуатации. Таким образом, решение перечисленных вопросов составит основу для оптимального проектирования ГУ.

Классификация УС. Иерархическая структурная модель гидропневмопливной системы (ГПТС) как объекта обеспечения надежности представлена на рис. 1. В ней показано место УС и ГУ. Низший уровень М образуют материалы, из которых изготавливают детали и покрытия поверхностей, а также материалы раздельных сред. Уровень П составляют поверхности трибосопряжений. Уровень ЭД образуют функциональные элементы деталей, например выступ или канавка фланца, упругий элемент уплотнительного кольца, оболочечный элемент седла и т.п. Уровень Д составляют детали, подвергающиеся нагружениям или перемещениям, например фланцы, прокладки, шток, крепежные детали и т.п. Уровень УН — это совокупность деталей, соединяемых в функциональные узлы, которые обеспечивают важнейшие свойства агрегата (или системы) в процессе эксплуатации. К этому уровню относят УС. Если в совокупность деталей УС входят детали, обеспечивающие метод герметизации, то такое УС является простейшим ГУ, или ГУ низшего уровня (ГУН), например соединения трубопроводов: фланцевые, штуцерные и т.п. Уровень УВ определяют узлы высшего уровня, в которые, в отличие от УН, входят также отдельные узлы. К этому уровню относят ГУ высшего уровня (ГУВ), которые содержат узлы (или системы), обеспечивающие метод герметизации, например гидропривод для запорного узла, магнитная система для магнитожидкостного уплотнения. Уровень А представляет собой гидропневмопливный агрегат или гидропневмоарматуру (ГПА). Как следует из рис. 1, УС и ГУ являются элементами ГПА или непосредственно элементами ГПТС.

Различия в конкретных условиях работы ГУ и множество точек зрения на принципы их конструирования [1, 2, 3, 4, 5 и др.] привели к созданию большого количества конструкций ГУ. По ориентировочным данным [6], в настоящее время в мировом фонде насчитывается более 200 тысяч патентов, относящихся к пневмогидроагрегатам (ПГА), и их число ежегодно увеличивается на две тысячи. Значительная доля патентов (до 15%) приходится на ГС, что свидетельствует об определенной неудовлетворенности растущих практических требований существующими разработками.

Исключительное многообразие видов и конструкций ГС предполагает их классификацию. Указывая, что полной стандартизованной классификации уплотнений пока не создано, авторы [5] предлагают классификацию уплотнений в соответствии с принципом действия и отраслевой принадлежностью по классам, подклассам, типам, группам, подгруппам и видам. Иной подход принят в работе [7], где представлена классификация герметизирующих систем — совокупности материалов, которые используют для герметизации сред,

герметизирующих элементов и деталей, а также герметизирующих систем.

В основу создания научно обоснованной классификации УС следует положить иерархию признаков в соответствии с уровнями структурной модели ГПТС, для которых они сформулированы. Кроме того, следует четко сформулировать цель классификации, что позволит значительно сократить число признаков за счет сокращения количества уровней и числа признаков в пределах одного уровня.

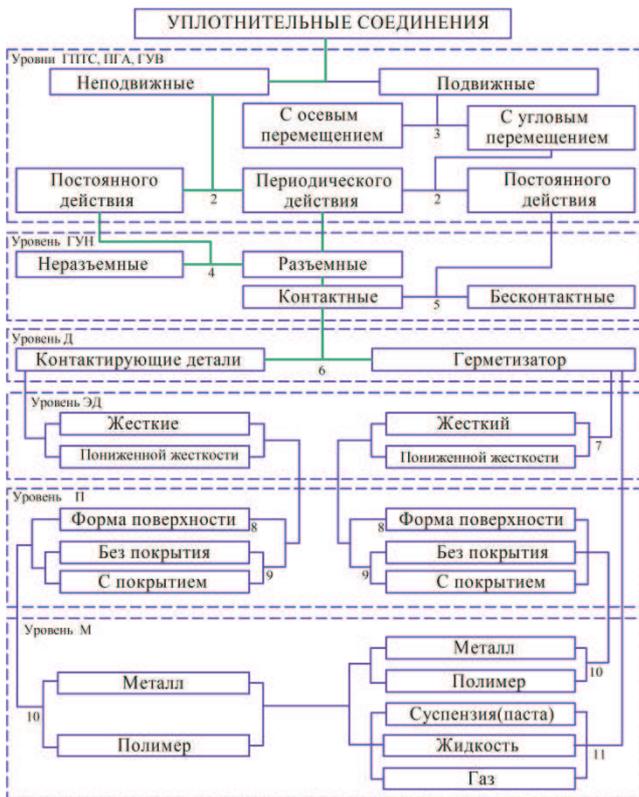


Рис. 2. Классификация УС.

В качестве примера на рис. 2 представлена иерархия признаков классификации УС, позволяющая определить возможные схемы взаимодействия контактирующих деталей, которые необходимы для определения контактных характеристик трибосопряжений. Так как само УС соответствует уровню УН, то информацию о его назначении (для герметизации неподвижных или подвижных деталей) и периодичности действия можно получить из высших по иерархии уровней УВ, А ПГА. Этим уровням соответствуют признаки 1, 2 и 3. На уровне УН можно судить о «разъемности» соединений, а для соединений с угловым перемещением постоянного действия — о контактном или бесконтактном характере работы. Этому уровню соответствуют признаки 4 и 5. Следует отметить, что на этом уровне можно получить информацию о типе привода, т.е. ввести еще один признак. Однако так как на характеристики трибосопряжений влияет только величина нагрузки и не влияет то, каким образом она создается, то этот признак (тип привода) в классификацию не введен. По этой же причине на уровне Д не вводится признак «тип крепежных деталей». Признак 6, соответствующий этому уровню,

различает УС по герметизатору (прокладки, кольца, наполнителя и т.п.). Признак 7, соответствующий уровню ЭД, позволяет классифицировать детали УС по элементам пониженной жесткости. На уровне П введены признак 8, классифицирующий УС по форме герметизирующей поверхности (плоская, наружный или внутренний конус, сферическая, торовая и т.п.), и признак 9, позволяющий судить о наличии или отсутствии на поверхности покрытий. Уровню М соответствуют признаки 10 и 11, характеризующие материал контактирующих деталей, покрытий и герметизатора (наполнителя) и позволяющие определить тип контакта (металл-металл металл-полимер и т.п.). На рис. 2 более жирной линией обозначены УС, составляющие разъемные соединения трубопроводов и патрубков, неподвижные и клапанные соединения ПГА. Многочисленные конструкции указанных УС приведены в [1, 2, 3, 4, 5 и др.].

Применение на ЛА. УС находят широкое применение в трубопроводных коммуникациях гидропневматических систем, которые являются самыми ненадежными элементами этих систем [8], а также в двигателях, для герметизации кабин. Гидропневмосистемы ЛА можно подразделить на жидкостные (гидравлические, топливные, масляные, противообледенения и др.) и газовые (пневматические, кислородные, противопожарные, обогрева, обдува, кондиционирования и др.). По данным НАСА [6], доля ПГА в оборудовании ЛА составляет 25% по номенклатуре и 35% по металлоемкости.

Современные гидросистемы включают до 100 агрегатов, их масса составляет от 2 (тяжелые самолеты) до 5% (сверхзвуковые маневренные самолеты) взлетной массы [9].

Большое количество УС увеличивает вероятность возникновения неисправностей и отказов. В работе [9] отмечено, что при эксплуатации гидравлических систем самолетов число отказов, связанных с потерей герметичности, составляет до 2/3 числа отказов всех авиационных систем. Около 60% выходов из строя узлов ракетных двигателей также обусловлено уплотнениями агрегатов [6]. По данным эксплуатационных фирм ВВС США, из общего числа отказов до 50...60% приходится на гидропневмотопливную систему. При этом 67% обусловлено конструкторско-технологическими дефектами, 21% — производственными и 12% — нарушением режимов эксплуатации.

На затворы и другие узлы подвижных и неподвижных УС запорной и регуливающей ПГА приходится от 30 до 50% всех отказов [10]. Для сравнения: на корпусные элементы приходится 10...15%, на пары трения — 10...15%.

Вышеприведенные примеры свидетельствуют о несомненной важности и актуальности вопросов, связанных с конструированием ГС для систем ЛА.

Требования, предъявляемые к УС и ПГА при проектировании. Так как УС является низшим уровнем в структурной иерархии, в сравнении с ПГА, то рассмотрим множество требований, предъявляемых к ПГА, которое включает также требования, предъявляемые к УС. Основным и наиболее общим требованием ко всем ПГА является требование надежности и

малой массы. Под надежностью ПГА понимается их свойство сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, обеспечивающие выполнение требуемых функций в заданных условиях эксплуатации, т.е. в условиях рабочих давлений, агрессивности среды, возможных механических, температурных и климатических воздействий и т.п. Требование надежности подчиняет себе все другие технико-экономические, технологические и прочие показатели, характеризующие конструкцию. Выполнение основных требований, предъявляемых к ПГА, обеспечивается на этапе проектирования [11, 12, 13, 14].

Надежность ПГА характеризуется следующими свойствами УС: герметичностью, прочностью, долговечностью, ремонтпригодностью, сохраняемостью.

Процесс проектирования УС (элемента ПГА) можно рассматривать как определение конструкции УС на основе выбранного метода герметизации при исходных данных, включающих условия эксплуатации; требуемые свойства, характеризующие надежность, конструктивные характеристики, экономические и др. показатели (рис. 3).

Условия эксплуатации включают: назначение и местонахождение ПГА, источник энергии и способ управления, время и периодичность срабатывания, условия обслуживания; параметры среды — давление, температуру, вязкость, плотность, агрессивность и т.п.; внешние воздействия — механические, тепловые, климатические. Конструктивные характеристики включают: условный диаметр прохода, гидравлическое сопротивление, ограничения массы, габаритов, потребляемой энергии, способ присоединения. Дополнительно учитываются: экономические показатели — предельная стоимость, стоимость эксплуатации, ремонта и т.п.; показатели технологичности, характеризующие эффективность конструкторско-технических решений при изготовлении и ремонте; показатели унификации и стандартизации; эргономические показатели, характеризующие систему «человек—изделие—среды»; эстетические показатели, характеризующие внешние свойства ПГА; патентно-правовые показатели.

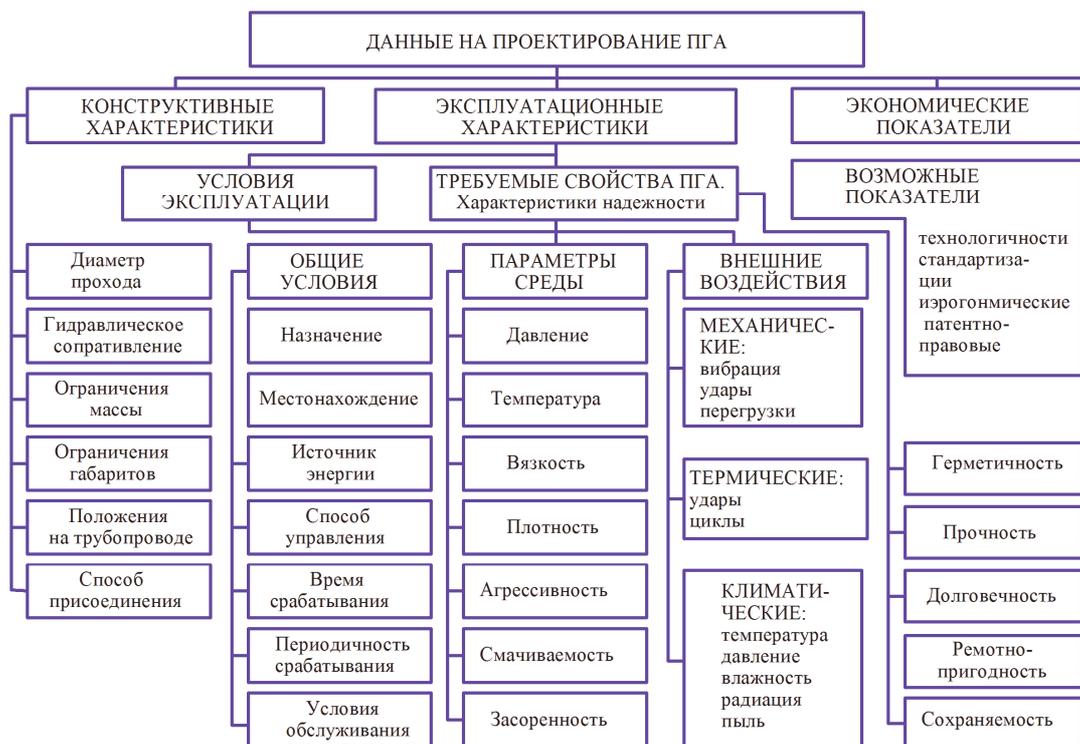


Рис. 3. Исходные данные на проектирование ПГА.

Многокритериальная постановка задачи проектирования ГУ. Исходные данные на проектирование новых конструкций УС могут включать более тридцати различных показателей и характеристик (рис. 3). Однако техническое задание на разработку ПГА с указанием требований к ней — это еще не математическая задача. Сформулировать корректную математическую задачу в реальных условиях достаточно трудно.

Задачи повышения качества ПГА следует решать на стадии проектирования, когда необходимо и возможно всестороннее рассмотрение конструкций с точки зрения обеспечения множества часто противоречивых

требований. Так, при проектировании каждой конструкции ПГА должны удовлетворяться такие требования, как минимальная масса и достаточная прочность, скорость срабатывания и минимальная динамическая нагруженность, минимальная стоимость и долговечность и т.п. Таким образом, при конструировании ПГА должен быть осуществлен выбор их оптимальных параметров, наилучшим образом соответствующих предъявляемым противоречивым требованиям. При существенной практике проектирования эту задачу решают, прорабатывая несколько альтернативных вариантов с выполнением соответствующих расчетов. Результаты

проработки даже очень большого количества альтернативных вариантов, основанных на традиционных подходах, не могут дать конструктору представления о возможностях конструкции. Осложняющим обстоятельством является то, что такие задачи многокритериальны с противоречивыми целевыми функциями, поэтому конструктору трудно выбрать обоснованное компромиссное решение; применяемые классические методы оптимизации предназначены лишь для решения однокритериальных задач. Современные методы оптимального проектирования, предполагающие многокритериальный подход, подробно изложены в работах [11, 15].

Процесс проектирования конструкции как частный случай разработки многомерной системы, создаваемой конструктором [16], может быть формализован и представлен в виде последовательности основных этапов: 1) формулирование данных на проектирование; 2) выбор концепций; 3) оптимизация; 4) детализация.

Проектирование — сложный вид творческой деятельности человека, целью которого является создание новой или усовершенствование старой технической системы. Проектирование должен осуществлять сам конструктор, но с помощью ЭВМ. Получив конкретное задание, конструктор должен изучить и проанализировать существующие решения. Поэтому в идеальном случае имеется банк данных конструкций ПГА (или ее отдельных узлов), содержащий материалы справочников, специальной литературы, мирового патентного фонда, разработки других фирм и экспертная система, «обученная» ведущими специалистами определённого уровня (предприятия, отрасли страны). Каждая конструкция ПГА (или ее узел) соответственно классифицируется и оценивается по определенной иерархии требований, признаков, характеристик, свойств и т.п. с учетом их важности.

После формулирования данных на проектирование, которые часто заданы заранее, и экспертизы банка данных в распоряжении конструктора может оказаться ряд альтернативных вариантов. После того как определены основные концепции конструкции (способ перекрытия потока среды, метод герметизации, тип привода и т.п.), конструктор (ЛПР — лицо, принимающее решение) или совет специалистов принимает решение и оставляет один или несколько альтернативных вариантов. Затем осуществляется разработка эскизного проекта конструкции. Если окажется, что в банке данных отсутствует конструкция, удовлетворяющая сформулированным исходным данным, то формирование основных концепций и разработка эскизного проекта конструкции определяются творчеством конструктора. После разработки эскизного проекта конструктор может определять и назначать, исходя из конструктивных соображений, пределы изменения каждого из параметров конструкции, от которых зависят ее характеристики. Должны быть сформулированы критерии, по которым конструктор в ходе проектирования судит о качестве машины. Такими характеристиками для ПГА могут быть масса, мощность привода, скорость срабатывания, статическая и динамическая прочность узлов и деталей. Число критериев качества не ограничено, что важно для создания качественной конструкции ПГА.

Для выбора оптимальных параметров проектируемой конструкции необходимы математические модели — математические уравнения или готовые программы, описывающие поведение механической системы и позволяющие для любого заданного набора параметров рассчитывать проектируемую систему и вычислять все критерии качества. При проектировании ПГА (или ГС) используются математические модели, описывающие напряженно-деформированное состояние в зоне контакта деталей, контакта деталей, контакт шероховатых поверхностей, массоперенос через стык шероховатых поверхностей, динамическое нагружение, изнашивание и разрушение деталей ГС. Вычисление критериев качества условно называют вычислительным экспериментом, а каждый отдельный расчет — испытанием. Выбор пробных точек в многомерном пространстве параметров производят с помощью метода исследования пространства параметров отличающегося наилучшими свойствами равномерности и позволяющего при минимальном числе испытаний получать достаточно полное представление о ресурсных возможностях [11]. В этом случае пробные точки обладают таким свойством: их проекции на любую координатную ось в пространстве параметров различны и расположены квазиравномерно. Используя N пробных точек, каждому из параметров придают N значений различных и равномерно расположенных во всем диапазоне изменения параметров, т.е. число пробных точек для каждого параметра равно числу испытаний. Данный метод выбора пробных точек обеспечивает равномерный просмотр всего пространства параметров при сравнительно небольшом числе испытаний.

По рассчитанным критериям строят таблицы испытаний, в которых критерий качества располагают в порядке убывания. Так как каждой модели соответствует определенный набор параметров, то из таблиц испытаний видно, что нужно сделать, чтобы получить наилучшую конструкцию по тому или иному критерию качества. При этом конструктор совместно с заказчиком может обоснованно назначить такие ограничения на каждый критерий, которые, с одной стороны, были бы практически достижимы, а с другой — удовлетворяли бы заказчика. Далее, с помощью расчета проверяют, существует ли конструкция, удовлетворяющая всем этим ограничениям одновременно. Такие конструкции и составляют допустимое множество решений, из которого выбирают оптимальную модель. Если таких конструкций не оказалось, то ограничения могут быть ослаблены. Возможно также увеличение числа испытаний или расширение границ изменения параметров.

Таким образом, один из основных этапов проектирования — оптимизацию можно разделить на ряд подэтапов: постановка задачи; составление таблиц испытаний; выбор критериальных ограничений; проверка разрешимости задачи.

Постановка задачи оптимизации заключается в определении пространства параметров и назначении параметрических, функциональных и критериальных ограничений.

На рис. 4 представлена структурная схема диалоговой системы оптимального проектирования конструк-

ций ПГА, позволяющая обеспечить равномерное зондирование многомерного пространства исходных параметров с помощью ЛП τ -последовательностей; с помощью математических моделей составить таблицу испытаний; исследовать зависимость критериев, сократить исходную и выбрать наиболее информативную систему критериев, характеризующих проектируемую конструкцию; определить допустимое множество моделей, удовлетворяющих заданным функциональным и критериальным ограничениям; определить паретовское множество моделей; провести диалог «конструктор—ЭВМ» и выбрать оптимальные параметры ПГА (или ГС). Используя эту систему, можно получить информацию о путях совершенствования конструкции, при необходимости можно проанализировать ресурсные возможности, а если принципиальная схема выбрана неудачно и не позволяет добиться нужных показателей, то это будет обнаружено.

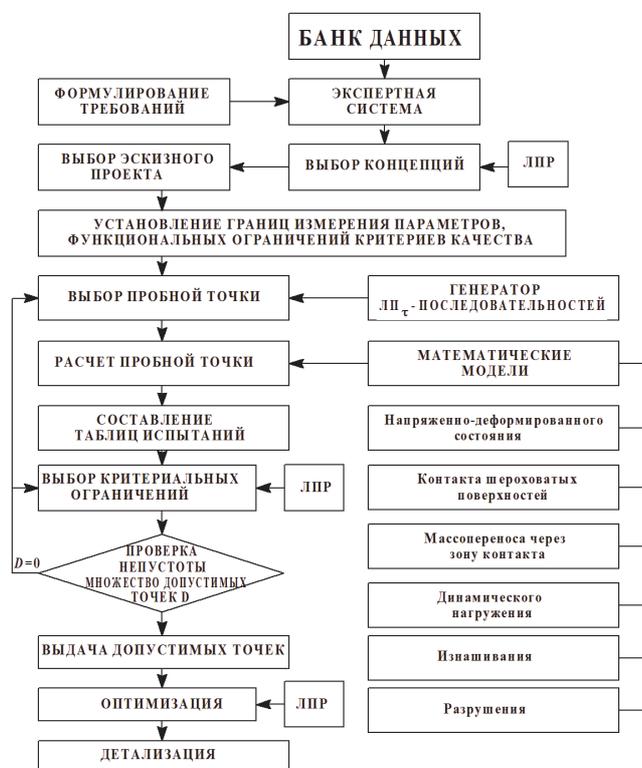


Рис. 4. Структурная схема оптимального проектирования ПГА.

Заключение. Целесообразность вышеизложенного подхода к оптимальному проектированию ГУ подтверждена рядом исследований, проведенных в научно-исследовательском центре "Прочность и безопасность технологических машин и оборудования" Братского государственного университета. Методология такого подхода была изложена в работах [13, 14]. Впоследствии предложенный подход впервые был реализован авторами [17] при оптимальном проектировании затворов трубопроводной арматуры. Затем данный подход был усовершенствован в работах [18, 19, 20] для упругого контактирования шероховатых поверхностей, в которых показана хорошая чувствительность предлагаемого

метода при изменении исходных конструктивных параметров затворов. Решение задачи определения контактных характеристик при упругоэластическом контакте позволяет добавить к пространству исходных параметров еще два параметра механических свойств менее прочного материала – предел текучести σ_y и экспоненту упрочнения n [21]. Дальнейшее развитие предлагаемой методики оптимального проектирования ГУ (ПГА) на взгляд авторов возможно за счет совершенствования используемых математических моделей (рис. 4). Так например результаты работ [22-24] позволят в качестве исходных параметров использовать толщину покрытия уплотнительных соединений и соотношение их упругих характеристик при упругом, вязкоупругом и упругоэластическом деформировании покрытия. Возможные проблемы при определении герметичности соединений на этапе проектирования и пути их решения указаны в [25].

Вышесказанное свидетельствует о действенности предложенного системного подхода к проблеме оптимального проектирования герметизирующих устройств ввиду полученных достижений и путей его дальнейшего совершенствования. Такой подход к решению сложных многопараметрических и многокритериальных задач проектирования конструкций, как указано автором [11], следует считать правильным и перспективным.

Литература

1. Герметичность неподвижных соединений гидравлических систем. М.: Машиностроение, 1977. 120 с.
2. Гуревич Д.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры. М.: Машиностроение, 1969. 887 с.
3. Кармугин Б.В., Стратиневский Г.Г., Медельсон Д.А. Клапанные уплотнения пневмогидроагрегатов. М.: Машиностроение, 1983. 152 с.
4. Кондаков Л. А. Уплотнения гидравлических систем. М.: Машиностроение, 1972. 240 с.
5. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник/ Л.А. Кондаков и др. М.: Машиностроение, 1968. 464 с.
6. Чегодаев Д.Е., Мулюкин О.П. Элементы клапанных устройств авиационных агрегатов и их надежность: Учебное пособие. — М.: Изд-во МАИ, 1994. 208 с.
7. Пинчук Л.С. Контактные взаимодействия в герметизирующих системах// Трение и износ. 1981. Т. 2. № 6. С. 1104-1107.
8. Сапожников В.М. Справочник слесаря-монтажника трубопроводных коммуникаций гидрогазовых и топливных систем летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1988. 189 с.
9. Матвиенко А.М., Зверев И.И. Проектирование гидравлических систем летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1982. 296 с.
10. Хильчевский В.В., Ситников А.Е., Ананьевский В.А. Надежность трубопроводной пневмогидроарматуры. М.: Машиностроение, 1989. 208 с.
11. Фролов К.В. Методы совершенствования машин и современные проблемы машиноведения. М.: Машиностроение, 1984. 224 с.
12. Хызов Б.Ф., Дидусев Б.А. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.
13. Огар П.М. Контактные характеристики и герметичность неподвижных стыков пневмогидроопливающих систем двигателей летательных аппаратов: дис. ... д-ра техн. наук. Братск, 1997. 345 с.
14. Долотов А.М., Огар П.М., Чегодаев Д.Е. Основы теории и проектирование уплотнений пневмогидроарматуры летательных аппаратов. М.: Изд-во МАИ, 2000. 296 с.
15. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Дрофа, 2006. 175 с.
16. Джонсон Дж. Методы проектирования. М.: Мир, 1989. 326 с.
17. Огар П.М., Тарасов В.А., Черемных А.Н. Проектирование затворов трубопроводной арматуры // Труды Братского государственного

ного университета. Серия: Естественные и инженерные науки - развитию регионов Сибири. 2006. № 2. С. 307-316.

18. Белокобыльский С.В., Огар П.М., Тарасов В.А. Многокритериальный подход к проектированию затворов трубопроводной арматуры // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2007. №3(15). С. 6-10.

19. Тарасов В.А. Обеспечение заданных характеристик надежности затворов запорной трубопроводной арматуры: дис. ... канд. техн. наук. Братск: БрГУ, 2009. 143 с.

20. Огар П.М., Тарасов В.А., Корсак И.И. Оптимальное проектирование затворов трубопроводной арматуры. Братск: Изд-во БрГУ, 2012. 145 с.

21. Тарасов В.А. Совершенствование методики проектирования затворов при упругопластическом контакте шероховатых поверхностей // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки - развитию регионов Сибири. 2012. № 1. С. 191-194.

22. Огар П.М., Максимова О.В., Автушко А.Н., Устюжанин Е.В. Контакт шероховатой поверхности со слоистым упругим полупространством // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки - развитию регионов Сибири. 2006. № 2. С. 302-307.

23. Огар П.М., Максимова О.В., Тарасов В.А. Относительная площадь контакта при взаимодействии шероховатой поверхности с упругим слоистым полупространством // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2008. №3(19). С. 49-51.

24. Огар П.М., Тарасов В.А., Турченко А.В. Контактное жесткой шероховатой поверхности с через слой упругопластического покрытия // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. № 3. С. 42-45.

25. Микашов А.Ю. Повышение качества уплотнительных соединений пневмогидро топливных агрегатов. // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки - развитию регионов Сибири. 2012. № 1. С. 169-173.

References

1. Sealability of hydraulic systems fixed joints. M.: Mashinostroeniye, 1977. 120 s.

2. Gurevich D.F. Pipe valve calculation and design. M.: Mashinostroeniye, 1969. 887 s.

3. Karmugin B.V., Stratinevsky G.G., Medel'son D.A. Valve seals of hydropneumatic units. M.: Mashinostroeniye, 1983. 152 s.

4. Kondakov L.A. Hydraulic systems sealing. M.: Mashinostroeniye, 1972. 240 s.

5. Sealings and sealing techniques. Reference-book/ L. A. Kondakov i dr. M.: Mashinostroeniye, 1968. 464 s.

6. Chegodaev D.E., Mulyukin O.P. Valving components of aircraft units and their reliability: Uchebnoye posobiye. M.: Izd-vo MAI, 1994. 208 s.

7. Pinchuk L.S. Contact interactions in sealing systems // Treniye i iznos. 1981. T. 2. № 6. S. 1104-1107.

8. Sapozhnikov V.M. Reference-book for a fitter of aircraft supply pipelines and fuel delivery systems. M.: Mashinostroeniye, 1988. 189 s.

9. Matvienko A.M., Zverev I.I. Design of aircraft hydraulic systems. M.: Mashinostroeniye, 1982. 296 s.

10. Khil'chevsky V.V., Sitnikov A.E., Anan'yevsky B.A. Pipeline hydropneumatic valve reliability. M.: Mashinostroeniye, 1989. 208 s.

11. Frolov K.V. Techniques for machines improvement and contemporary machine science issues. M.: Mashinostroeniye, 1984. 224 s.

12. Khyzov B.F., Didusev B.A. Reference-book to calculate machine reliability at the design stage. M.: Mashinostroeniye, 1986. 224 s.

13. Ogar P.M. Contact characteristics and fixed joints seal of flight-type engine hydropneumatic fuel delivery systems: dis. ... d-ra tekhn. nauk. Bratsk, 1997. 345 s.

14. Dolotov A.M., Ogar P.M., Chegodaev D.E. Theory basics and design of aircraft hydropneumatic valve sealings. M.: Izd-vo MAI, 2000. 296 s.

15. Sobol' I.M., Statnikov R.B. Optimal parameters choice in multiple-criteria tasks. M.: Drofa, 2006. 326 s.

16. Johnson J. Design methods. M.: Mir, 1989. 326 s.

17. Ogar P.M., Tarasov V.A., Cheremnykh A.N. Pipeline valve seals design // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki - razvitiyu regionov Sibiri. 2006. № 2. S. 307-316.

18. Belokobyl'sky S.V., Ogar P.M., Tarasov V.A. Multicriterion approach to the pipeline valves designing // Sovremennyye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovaniye. 2007. № 15. С. 6-10.

19. Tarasov V.A. Tailoring pipeline valve seals reliability: diss. ... kand. tekhn. nauk. Bratsk: BrGU, 2009. 143 s.

20. Ogar P.M., Tarasov V.A., Korsak I.I. Optimum design of pipeline valve seals. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2012. 145 s.

21. Tarasov V.A. Improvements of techniques for designing seals under rough surfaces elastoplastic contact // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki - razvitiyu regionov Sibiri. 2012. № 1. S. 191-194.

22. Ogar P.M., Maksimova O.V., Avtushko A.N., Ustyuzhanin E.V. Rough surface contact with a layered elastic half-space // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki - razvitiyu regionov Sibiri. 2006. № 2. S. 302-307.

23. Ogar P.M., Maksimova O.V., Tarasov V.A. Relative contact area under the interaction of a rough surface and a layered elastic half-space // Sovremennyye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovaniye. 2008. № 3 (19). S. 49-51.

24. Ogar P.M., Tarasov V.A., Turchenko A.V. Rough rigid surface contacting through the elastoplastic coating layer // Sovremennyye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovaniye. 2012. № 3. С. 42-45.

25. Mikashov A. Yu. Upgrade of hydropneumatic fuel units sealing joints// Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki - razvitiyu regionov Sibiri. 2012. № 1. S. 169-173.