

Н.А. Поляков¹, А.А. Соловьева², В.А. Целищев²

¹Холдинг «Технодинамика», Москва, Россия

²Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ БЛОКОВ ПЕРЕДАЧИ МОЩНОСТИ В ГИДРОСИСТЕМЕ ГРАЖДАНСКОГО САМОЛЕТА

Существует потребность, связанная с необходимостью обеспечения высокого уровня безопасности полета воздушного судна, в частности с вопросом резервирования гидравлической системы. Однако введение дополнительных гидравлических контуров влечет за собой помимо преимуществ и большое количество недостатков, таких как увеличение сложности и массы гидросистемы. Одним из компромиссов в сложившейся ситуации была предложена установка блока передачи мощности. Рассмотрены схемные решения и особенности функционирования блоков передачи мощности, случаи их использования. Представлен анализ существующих на сегодняшний день проблем и возможностей совершенствования такого рода агрегатов. Выявлены возможные направления дальнейшего развития блоков передачи мощности. В частности, выделены направления по повышению давления, снижению газосодержания жидкости, использованию регуляторов мощности насоса, уменьшению зазоров, снижению шума и температур, внедрению интеллектуальной составляющей. Описаны возможности при установке регуляторов мощности, их разнообразные схемные решения и принципы работы. Представлены характеристики регуляторов, работа которых основана на принципе чувствительности к нагрузке, возможности использования этих регуляторов для оптимизации работы блока передачи мощности, а значит, и повышения точности, устойчивости, управляемости всей гидравлической системы летательного аппарата.

Ключевые слова: блок передачи мощности, PTU, насос, гидромотор, регулятор мощности насоса, LS-регулятор, резервный источник питания, быстродействие, точность, надежность.

N.A. Polyakov¹, A.A. Solovyeva², V.A. Tselischev²

¹Technodinamika Holding, Moscow, Russian Federation

²Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

CONCEPT OF POWER TRANSFER UNITS DEVELOPMENT IN CIVIL AIRCRAFT HYDRAULIC SYSTEM

There is a need to ensure a high level of safety of the aircraft's flight, in particular with regard to the redundancy of the hydraulic system. However, the introduction of additional hydraulic circuits entails, in addition to the advantages and many disadvantages, such as increasing the complexity and weight of the hydraulic system. One of the compromises in this situation was the installation of a power transfer unit. In this article, schematic solutions and peculiarities of operation of power transfer units, cases of their use are considered. An analysis of the current problems and possibilities of improving such aggregates is presented. Possible directions of further development of power transmission units have been identified. In particular, the directions for increasing pressure, reducing the gas content of the liquid, using pump power regulators, reducing gaps, reducing noise and temperatures, and introducing an intelligent component are highlighted. Possibilities for installation of power regulators, their various circuit solutions and operating principles are described. The characteristics of regulators, the operation of which is based on the principle of load sensitivity, the possibility of using these regulators to optimize the operation of the power transfer unit, and, therefore, increase the accuracy, stability, controllability of the entire hydraulic system of the aircraft are presented.

Keywords: power transfer unit, PTU, pump, hydraulic motor, pump power controller, LS-regulator, standby power supply, operation speed, accuracy, reliability.

Назначение блока передачи мощности в гидросистеме гражданских самолетов

В самолетах большой транспортной категории и административных самолетах обычно имеется несколько независимых гидравлических систем с резервированием каждой.

При использовании механических средств управления полетом обычно установ-

лено не менее двух исполнительных механизмов для каждой критической поверхности управления полетом (рули высоты, руль направления и элероны), а также, как правило, присутствует какая-либо форма механического реверса в случае потери гидравлической мощности. При использовании электропроводного управления необходимо как минимум три независимых источника энергии.

В свою очередь, интерцепторы и закрывки считаются второстепенными органами управления полетом и могут иметь лишь один источник гидравлической энергии, при возможности симметричного разворота управления полетом. Шасси, тормоза и рулевое управление носовым колесом также не считаются критически важными для полета агрегатами и обычно приводятся в действие только одной гидравлической системой.

Блок передачи мощности (Power Transfer Unit – PTU) – это блок, который передает механическую энергию от одной гидравлической системы самолета к другой в случае отказа или отключения второй системы.

Блок состоит из гидравлического двигателя (гидромотора), соединенного с гидравлическим насосом, регулируемого или нерегулируемого типа, через вал. Соединение является чисто механическим: перемешивания гидравлической жидкости между левой и правой гидравлическими системами при работе блока передачи мощности не происходит.

В тех случаях, когда воздушное судно питается от одной гидравлической системы, PTU становятся особенно полезными, поскольку позволяют использовать один источник энергии, например насос, приводимый в действие одним уцелевшим двигателем, для питания более чем одной гидравлической системы, если источник энергии в этой системе вышел из строя. Блок передачи мощности работает только при условии отсутствия пробоя в системе и потери жидкости, потому что предполагает только передачу механической работы без передачи жидкости.

Основа для начала работы блока передачи мощности – это резкие колебания расхода

жидкости в гидросистеме, происходящие в аварийной ситуации. Запуск PTU осуществляется за счет механического воздействия, возникающего в связи с перепадом давления между двумя гидросистемами, или по команде на соответствующий электрогидравлический распределитель, обеспечивая наиболее оптимальные условия: приемлемые для одной гидросистемы и достаточные для другой. Из-за колебаний значений давления PTU может как быстро ускоряться под нагрузкой, так и внезапно останавливаться, при этом каждый скачок давления может длиться порядка секунды, создавая режим остановки-запуска. На практике такой дискретный режим работы вызывает внезапный громкий свистящий звук (в связи с чрезмерно высокими колебаниями давления).

Блок передачи мощности не может восстановить требуемое давление в системе при наличии постоянной утечки. В этом случае PTU и, вполне вероятно, рабочая гидравлическая система в итоге перегреваются (даже спустя несколько минут работы).

Классификация и примеры функциональных и схемных решений

По своей сути блок передачи мощности – это собранные воедино насос и мотор, конструктивное исполнение которых может быть любым. Исходя из того, каким образом собран и функционирует блок передачи мощности, выделяют основные варианты его исполнения (рис. 1).

Однонаправленные PTU – это блоки, направление вращения которых и, следовательно, поток жидкости через них осуществляются только в одном направлении (на бизнес-джете Citation X блок передачи мощности защищен обратными заслонками и линией

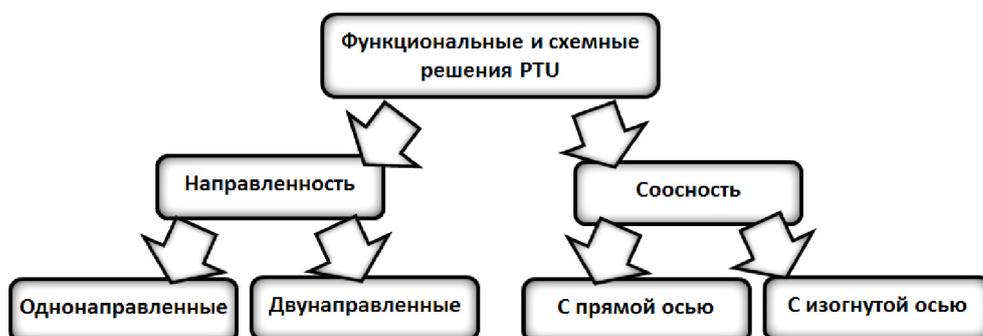


Рис. 1. Схемные решения PTU

сваливания противодействия, которые позволяют правой гидравлической системе помогать левой гидравлической системе и левому вспомогательному моторному насосу убирать шасси только при отказе левого двигателя).

Двунаправленные PTU представляют собой либо «обратимые» блоки, которые могут работать, передавая мощность как от насоса первой системы к мотору второй, так и от мотора второй системы к насосу первой (на Airbus A320 желтая система может питать зеленую систему, но в случае отказа двигателя правого борта зеленая система может помочь запитать желтую систему, сбрасывая в нее избыточную мощность через тот же механизм), либо сдвоенные однонаправленные PTU, установленные в противоположных направлениях (гидравлическая система вертолета CH-47 Chinook).

В гидросистеме самолета Sukhoi Superjet 100 (SSJ-100) блок передачи мощности – это моноблок, предназначенный для передачи гидравлической энергии от HS3 к HS1 в случае отказа левого двигателя или гидронасоса HS1. Через блок передачи мощности осуществляется механическая связь (насос и мотор соединены общим валом) HS1 и HS3. Передаваемая гидроэнергия используется только для уборки и основного выпуска шасси.

Блок передачи мощности является резервным источником гидропитания в HS1 и обеспечивает подачу жидкости под давлением из гидробака HS1 в систему уборки и выпуска шасси. Включение / выключение блока передачи мощности осуществляется с помощью клапана блока передачи мощности.

В изначальной конструкции самолета Airbus A320 гидравлика шасси (выдвижение / уборка тормоза и рулевое управление) приводилась в действие исключительно системой Green (левая), давление в которой обеспечивал насос, приводимый от левого двигателя. В случае отказа левого двигателя во время взлета шасси не могло втягиваться, поскольку в зеленой гидравлической системе не было вспомогательного мотор-насоса. На современных A320 рулевое управление передним колесом приводится в действие системой Yellow (правой), а блок передачи мощности предназначен для передачи мощности от желтой сис-

темы к системе зеленой и наоборот. Когда перепад давления между системами Green и Yellow превышает 500 psi (3,4475 МПа), автоматически запускается PTU, благодаря чему зеленая система находится под давлением на земле при неработающих двигателях (обычно давление в системе составляет 3000 фунтов на квадратный дюйм (20,685 МПа)).

PTU обеспечивает важные функции полета, поставляя зеленой системе дополнительную мощность при постоянном давлении для уборки шасси, если один двигатель не срабатывает во время взлета, и аналогично для желтой системы управления тягой руля высоты в случае двойного отказа синей и желтой гидравлических систем на основе отказа второго двигателя.

В серии Airbus A320 блок передачи мощности на самом деле является вторым источником давления для желтых и зеленых гидравлических систем после насоса с приводом от двигателя (EDP – Engine Driven Pump).

Насос с приводом от двигателя для желтой системы на двигателе правого борта, размер которого слишком велик для нормальной гидравлической нагрузки, может сбрасывать избыточную мощность в зеленую систему через PTU, что позволяет продолжить втягивание шасси с приводом, одновременно поддерживая гидравлическое давление на органы управления полетом зеленой системы.

Основное назначение PTU в аэробусе – это уборка шасси в случае отказа. Можно выбрать иной способ реагирования в подобном случае, например установив второй электродвигательный насос, выполняющий роль помощника вместо блока передачи мощности. В таком случае потребуются проведение дополнительных исследований и расчетов для определения наиболее выгодного с точки зрения массогабаритных характеристик, надежности и стоимости варианта.

Блок передачи мощности самолета Russian Regional Jet 95 (RRJ-95) является резервным источником гидропитания в HS1 и обеспечивает подачу гидрожидкости под давлением из гидробака HS1 в систему уборки и выпуска шасси. Иными словами, мощность передается от HS3 к HS1 в случае отказа левого двигателя или гидронасоса HS1.

Система передачи мощности состоит из блока передачи мощности, клапана включения блока передачи мощности, обратного клапана и ограничителя расхода, предназначенного для ограничения максимального расхода в моторе и защиты гидросистемы в случае повреждения трубопровода.

При анализе патентов и изобретений за последние 40 лет по системам передачи мощности выявлено, что принципиальная схема и компоновка системы являются типовыми, достаточно простыми и состоят из соединенных общим валом насоса и мотора клапана включения блока передачи мощности, ограничителя расхода и обратного клапана. При этом блок передачи мощности может работать не только в одном направлении, но и быть обратимым.

Проблемы и перспективы развития PTU

В результате проведенного анализа требований, предъявляемых к блоку передачи мощности [1–4], выявлены направления улучшения имеющихся показателей и развития идеи применения агрегата (рис. 2).

Направление, включающее массогабаритные и энергетические характеристики, требует снижения веса гидросистем, совершенствования конструкций и материалов включенных в них агрегатов. Повышение давления в гидросистемах приводит к уменьшению размеров и веса гидравлического обо-

рудования, а также к повышению маневренности самолета. Сравнительные исследования (Rockwell) показали, что путем увеличения гидравлического давления системы с 21 до 56 МПа вес гидравлической системы можно уменьшить на 30 %, а объем на 40 %. Таким образом, появляются новые технические требования для элементов гидравлической системы. Обеспечение снижения объемных утечек гидромашин при повышении давления требует новых технологий изготовления плунжерных пар и распределителей. Для обеспечения надежности необходимо увеличить прочность и качество уплотнений элементов насоса.

Планируемый переход гидравлических авиационных систем на использование насосов с приводом от электрического мотора (EMP – Electric Motor Pump), а также вполне ожидаемый переход гидромашин блока передачи мощности на работу с более высокой частотой вращения роторов гидромашин не менее 8000 об/мин приведет к возникновению ряда практических проблем: пульсации давления и возникновение эффектов кавитации, вибрации при больших скоростях вращения из-за наличия наклонного блока цилиндров и т.д.

В настоящее время в гражданских и военных самолетах широко используются дегазация и предварительное наддавливание резервуаров и баков типа bootstrap (начальная загрузка), выдерживающих повышенное давление. Однако явление кавитации все еще имеет место.

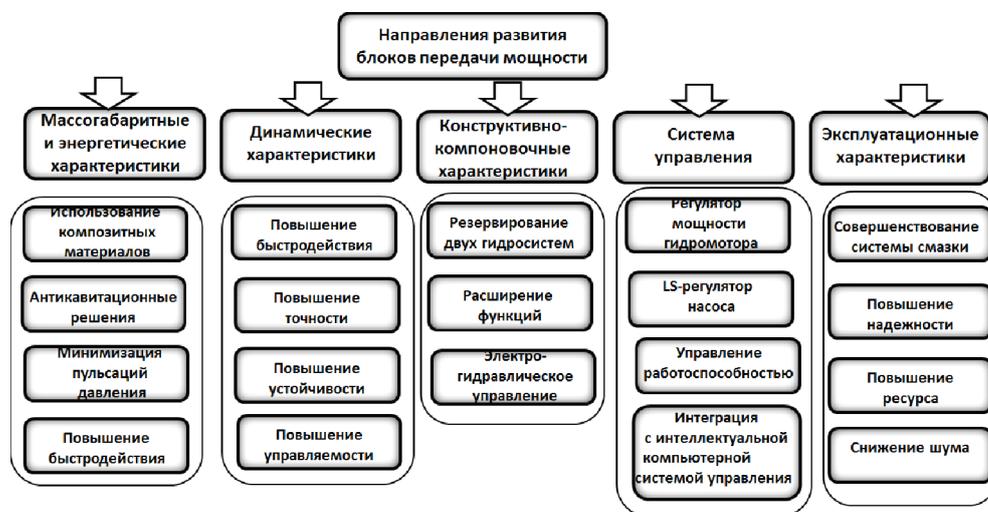


Рис. 2. Направления развития PTU

Газовая и парообразная кавитация оказывает чрезвычайно вредное воздействие на гидравлические аксиально-плунжерные гидромашины, снижая расход и увеличивая пульсации потока. Коллапс пузырьков пара сильно воздействует на проточную часть гидромашин и образует множество каверн, что значительно снижает производительность, ресурс и надежность работы. Для уменьшения газовой и парообразной кавитации необходимо развить теорию моделирования кавитационных течений в полостях плунжерных гидромашин и рекомендации по проектированию антикавитационных устройств и мероприятий. Возможно, следует также вернуться к обсуждению необходимости использования колеса с крыльчаткой на входе в насос. Несмотря на незначительное увеличение габаритов и веса гидромашин, наличие крыльчатки обеспечивает эффективность всасывания, равномерное и постоянное заполнение полостей плунжеров гидромашин.

Известно, что пульсации потока, создаваемые насосом, подразделяются на два типа: кинематические пульсации, создаваемые за счет движения ограниченного числа поршней-плунжеров, и физические пульсации, вызванные свойством рабочей жидкости сжиматься. Пульсации давления и сопутствующие вибрации являются причиной низкой надежности и усталости элементов гидравлической системы самолета.

Исследование пульсаций давления рабочей жидкости в обоих направлениях работы гидромашин, расчет мгновенного давления в цилиндре, внутренние и внешние объемные потери, создаваемые в системе силы вязкого трения, влияние величины зазора между плунжерами и блоком цилиндров, исполнение распределителя (цапфенный или клапанный), учет колебательных сил и моментов, действующих на наклонную шайбу (диск), создают необходимые условия для дальнейших исследований. Определенные успехи в этом направлении достигнуты в Исследовательском центре гидроэнергетики Маха (Maha Fluid Power Research Center, США), которой занимается изучением причин генерации шума и способов его сокращения.

Один из видимых недостатков использования блоков передачи мощности – только в аварийной ситуации, зачастую при резерви-

ровании работы одной из гидросистем самолета, да и то только в части организации работы гидропривода шасси при экстренной посадке, что не отвечает требованиям современности в части безопасности полета. Расширение функциональных возможностей гидромашин, входящих в блок передачи мощности, применение электрогидравлических систем управления позволяет надеяться на разработку альтернативных конструктивно-компоновочных решений при создании архитектуры систем управления самолетом.

Использование в схемах РТУ нерегулируемых объемных гидромашин (гидромотор, приводящий в действие насос) является недостаточно эффективным решением для обеспечения стабильных энергетических характеристик и устойчивых динамических и управляющих характеристик.

Современные требования к РТУ рекомендуют использовать достаточно хорошо отработанные в гидромашиностроении последнего времени регуляторы объемных гидромашин. Одним из решений может быть использование регулятора мощности насоса (LR – Power Control). Полагем, что гидросистема, обеспечивающая работу гидромотора РТУ, способна поддерживать постоянное давление на входе в гидромотор и тем самым обеспечить обороты выходного вала гидромотора на допустимом постоянном значении. В насосе регулятор мощности позволяет изменять рабочий объем насоса, основываясь на давлении в системе, что дает возможность не превышать установленную величину мощности приводного двигателя (гидромотора) при постоянной частоте вращения, обеспечивая зависимость произведения значения давления насоса на характерный рабочий объем насоса постоянной величиной ($P_n V_0 = \text{const}$).

Оптимальное потребление мощности обеспечивается регулированием по гиперболической зависимости (рис. 3, б). С одной стороны на плунжер действует рабочее давление, которое затем передается на коромысло (рис. 3, а), с другой – затяжки пружины, которой извне определяется уровень мощности. Процесс регулирования начинается с установки угла наклона диска насоса в максимальное положение, конечное же его положение зависит от величины

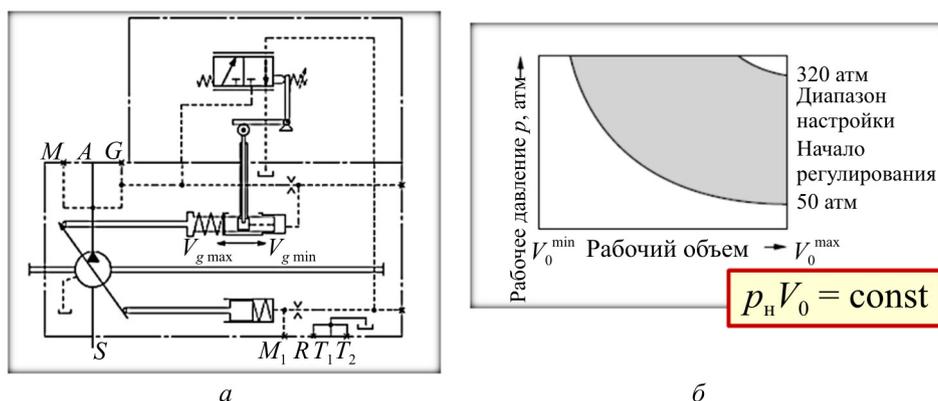


Рис. 3. Насос с регулятором мощности: *a* – принципиальная схема; *б* – расходно-перепадная характеристика

максимального давления. Крайние положения угла могут устанавливаться с помощью упоров. Если сила действия давления превышает силу затяжки пружины, то через коромысло перемещается управляющий золотник и насос регулируется в сторону уменьшения рабочего объема. При этом уменьшается действующая длина рычага на коромысло, и давление может вырасти на величину, пропорциональную уменьшению подачи ($P_n V_0 = \text{const}$).

Существуют модификации регулятора мощности: с компенсатором давления (LR2D), с дистанционным управлением (LR2G), с регулятором расхода (LR2F, LR2S), с гидравлическим ограничением хода (LR2H), с механическим ограничением хода (LR2M), с гидравлическим двухступенчатым управлением (LR2Z), с электрической разгрузкой при запуске (LR2Y). В модификации LR2N регулирование начинается с минимального рабочего объема, а величина подачи пропорциональна давлению управления. Встроенный регулятор мощности перекрывает сигнал давления управления и поддерживает постоянство мощности.

Использование в блоке передачи мощности насоса, работающего на принципе «чувствительный к нагрузке» (load sensing), позволяет выполнить многие требования к точности для гидравлической системы самолета. В данном случае происходит прообразование мгновенного изменения нагрузки в давление на исполнительном органе (например, приводе шасси), что является сигналом обратной связи для управляющего устройства, которое, в свою очередь, задает требуемое давление насоса.

Постоянство скорости нескольких работающих одновременно гидродвигателей независимо от колебаний давления (противодействия нагрузок) в гидросистеме – основное отличие системы с LS-регулированием. Принцип ее работы основан на поддержании давления насоса идентичным давлению нагрузки наиболее нагруженного потребителя при постоянном воздействии управляющего давления. За счет такой особенности работы LS-систем, а также за счет присущих им энергоэкономичности, увеличенного срока исправной работы между техобслуживаниями, пониженной шумности и высокой управляемости, существенно сокращается время, затрачиваемое на работу ПТУ.

Как итог установка системы с LS-регулированием способствует улучшению динамических характеристик элементов гидравлической системы и существенному увеличению ее общего КПД, что позволяет увеличить скорость срабатывания гидропривода и снизить экономические затраты.

Условное обозначение и характеристики насоса с LS-регулированием, т.е. автоматическим управлением давлением и подачей, представлены на рис. 4.

LS-регулятор содержит два гидроцилиндра, один из которых стремится увеличить рабочий объем насоса, т.е. увеличить подачу. Другой гидроцилиндр загружен давлением, величина которого определяется регуляторами давления и подачи, представляющими собой многопозиционные трехлинейные распределители, управляющие давлением в поршневой камере цилиндра.

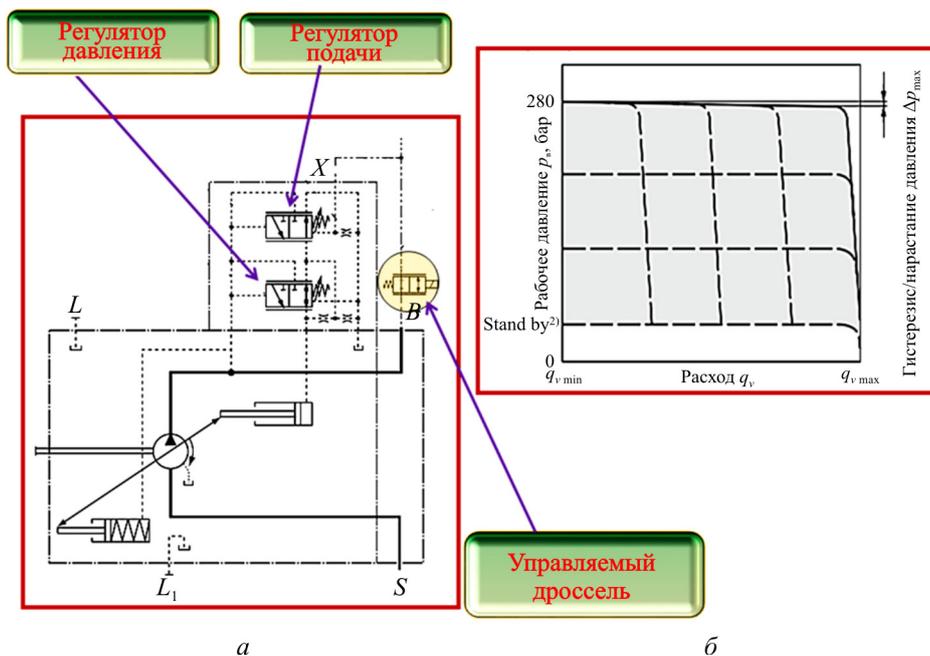


Рис. 4. LS-регулятор: а – принципиальная схема; б – расходно-перепадная характеристика

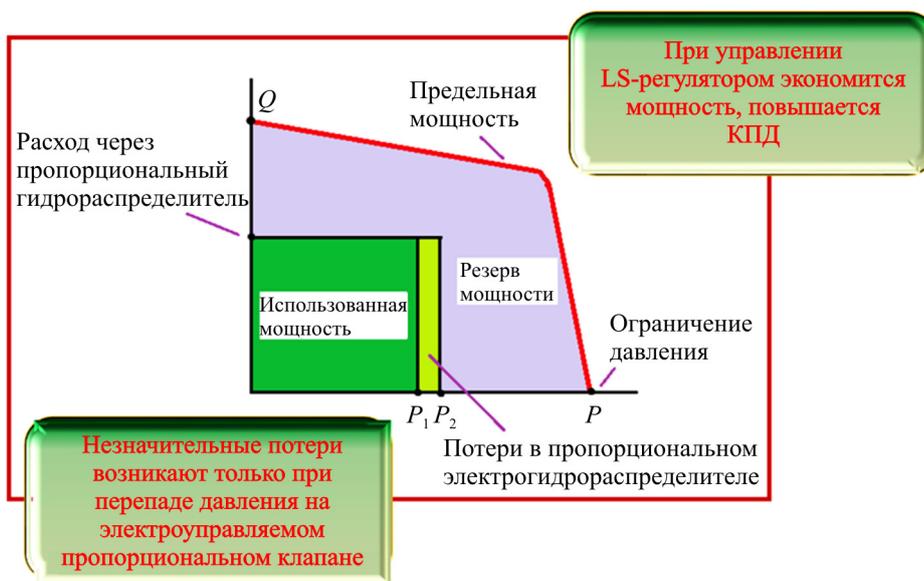


Рис. 5. Распределение мощности в насосе с LS-регулятором

Обязательным условием использования LS-регулирования является наличие дополнительного дистанционно управляемого дросселя. Такой дроссель поставляется отдельно под конкретную задачу.

На золотники регуляторов подачи и давления поступает с одной стороны давление от насоса, с другой – давление после управляемого дросселя.

Полуавтоматическое управление разницей значений давления на золотниках регуляторов позволяет получить характеристику насоса

с LS-регулированием. Как видно, с высокой степенью точности можно управлять настройкой давления и подачи насоса (см. рис. 4, б).

График распределения мощности в насосе с LS-регулятором представлен на рис. 5. Соответствующей настройкой максимальное давление насоса ограничено. Также ограничен максимальный объем насоса, т.е. его максимальная подача.

Пределная мощность насоса ограничивает его энергетические возможности и называется располагаемой характеристикой насоса.

Управляющая команда на пропорциональный распределитель определяет величину подачи насоса, определяется также и требуемая величина давления за насосом с учетом потерь в системе управления. В гидросистему от насоса подается столько мощности, сколько требуется для реализации задачи использования. Это значительно повышает КПД и не приводит к излишним потерям мощности.

Вопросы управления работоспособностью регуляторов насоса и гидромотора блока управления мощностью и последующей интеграции с интеллектуальной компьютерной системой управления самолета следует рассмотреть на основе объектно-ориентированной классификации гидромеханических устройств, что выгодно облегчает процесс проектирования, так как появляется возможность гибкого учета множества факторов и их исследования, а также решения многопараметрических задач.

Проблема проектирования энергоэффективных и надежных гидромеханических систем управления РТУ потребует разработки теоретико-экспериментальной методологии, инженерных и практических рекомендаций по интенсификации процессов моделирования, проектирования и отработки основных гидромеханических узлов регуляторов управления объемными гидромашинами.

Комплекс алгоритмических моделей позволит оценить состояние гидроагрегатов РТУ при критических режимах, а также определить параметры, при которых они будут работать наиболее эффективно. Появляется возможность предварительного параметрического синтеза системы, а в дальнейшем – диагностирования работы регулируемых РТУ на предконструкторском этапе и последующей интеграции с интеллектуальной компьютерной системой управления самолетом [5–10].

Повышение быстродействия гидроагрегатов за счет работы на высоких значениях давления также является неоднозначным параметром, поскольку при крайних значениях скорости наблюдаются неэффективные условия работы, что, в свою очередь, требует вычисления области с высокой работоспособностью.

Повышение требований к динамике работы систем в совокупности выдвигает в первую очередь повышенные требования к систе-

мам автоматического управления, интеллектуальным и инновационным составляющим. Чем более прецизионная работа устройства необходима, тем более тщательно подбираются рабочие параметры и режимы, оказывающие влияние на способность системы вернуться в равновесное состояние и при этом четко отвечать на сигналы управления.

Использование в РТУ гидромашин, оснащенных автоматическими регуляторами, датчиками диагностики, интеграция их в интеллектуальную систему управления самолетом вызывает необходимость пересмотра требований к динамическим характеристикам блока передачи мощности, в том числе к вопросам повышения точности, устойчивости и управляемости.

Неотъемлемой частью развития систем передачи мощности являются направления по развитию конструктивно-компоновочных и эксплуатационных характеристик, позволяющие повысить эффективность и срок работы агрегатов. В данном вопросе желание улучшить существующие конструкции, добавить возможностей и гибкости системе конфликтует с известным результатом такого подхода в виде сложности изготовления, управления, ремонта, обслуживания и выявления неполадок. Однако обе стороны заслуживают внимания, а потому возникает потребность найти решение, позволяющее как можно ближе подобраться к самому эффективному решению.

Таким образом, следуя по пути совершенствования работы блока передачи мощности, необходимо достичь оптимального соотношения технических характеристик для наиболее точного соответствия основным рабочим режимам.

Совершенствование эксплуатационных характеристик блока передачи мощности традиционно влияет на повышение надежности и ресурса. При значительном сроке службы гражданских самолетов (превышает 60 000 ч) средний срок службы объемных аксиально-плунжерных гидромашин составляет не более 35 000 ч. Есть много факторов, которые влияют на надежность работы насоса и которые надо преодолеть: износ трущихся поверхностей, чистота масла в смазочной системе, плохая всасывающая способность само-

го насоса, кавитация, пульсации и колебания температуры рабочей жидкости.

Зазоры фрикционных поверхностей в плунжерных гидромашинах при условии обеспечения их минимальных размеров для снижения утечек представляют собой основной источник потери мощности. Необходимо дальнейшее изучение сложных физических процессов, характеризующихся взаимодействием жидкости и структуры фрикционной поверхности. Особое внимание здесь необходимо уделить созданию высокопараметрических механических уплотнений. Это имеет важное значение для развития существующих конструкций и проектирования более качественных гидромашин.

Исследования показывают (Центр гидроэнергетики Маха), что микрометрическая синусоидальная форма рабочей поверхности поршня-плунжера позволяет уменьшить потери мощности, генерируемые в узле «поршень / цилиндр гидромашин». Результаты моделирования показали достижение большего потенциального эффекта при более высоких значениях давления (снижение общих потерь мощности до 50 % при полном смещении и 65 % при частичном смещении поршня) и чуть меньшего (до 20 % при полном и 60 % при частичном смещении поршня) при более низких значениях давления в системе.

Совместно с разработкой новых покрытий плунжерных пар это позволяет надеяться на прорыв в направлении исследований, а еще более глубокое изучение возможных новых технологий приведет к появлению нового поколения гидравлических насосов и моторов.

Шум, создаваемый при работе аксиально-плунжерных гидромашин, входящих в состав PTU, производится не только от работы вращающихся с высокой скоростью механических деталей. Шум генерируется также в результате изменения давления в камерах блока цилиндров. Современные исследования выделяют два метода снижения пульсаций давления и уменьшения шума, возникающего вследствие работы насоса в таких условиях: оптимизация конструкции насоса и установка на насос аттенюатора. Пульсации давления и сопутствующие им вибрации часто вызваны конструкцией цапфового распределителя

(клапанной пластины); таким образом, оптимизация конструкции распределителя является основной темой для уменьшения пульсации и шума. Исследования показывают (Manning «Механическая и аэрокосмическая инженерия» / Университет Миссури, США), что изменяющаяся геометрия пазов в распределителях не обеспечивает существенного повышения производительности насосов. Среди пассивных методов проектирования распределителей наиболее эффективными в уменьшении источников шума могут стать предварительные компрессионные канавки и объем предварительного компрессионного фильтра. Однако оптимизация существующих конструкций поршневых насосов требует больших трудозатрат и при этом дает, как правило, меньший эффект шумоподавления, поэтому все больше исследований проводится в области разработки новых моделей аттенюаторов (глушителей) пульсаций для авиационного поршневого насоса (рис. 6), способных уменьшить амплитуду колебаний давления до одного процента. Серия насосов со встроенными аттенюаторами производства компании Parker Hannifin устанавливается на ряд гражданских и военных самолетов Airbus, Boeing, Lockheed Martin, Dassault и др.

Значительное влияние на эксплуатационные характеристики PTU оказывает температурный режим работы. Стремление к компактности аксиально-плунжерных гидромашин может привести к неэффективному отводу тепла и быстрому повышению температуры в системе, что уменьшает срок службы уплотнений насоса, ухудшению смазывающих свойств рабочей жидкости. Предварительные расчеты показывают, что увеличение давления в гидросистеме самолета, без учета теплоотвода, до 56 МПа приводит к повышению температуры с 110 до 180 °С. Также известно, что средний срок службы оборудования при увеличении температуры масла всего на 15 °С может уменьшиться весьма значительно – до 90 %. Решить проблему нагрева аксиально-поршневых гидромашин возможно за счет улучшения конструкции поверхностей трения или принудительного рассеивания тепла дополнительными насосами или турбинами.

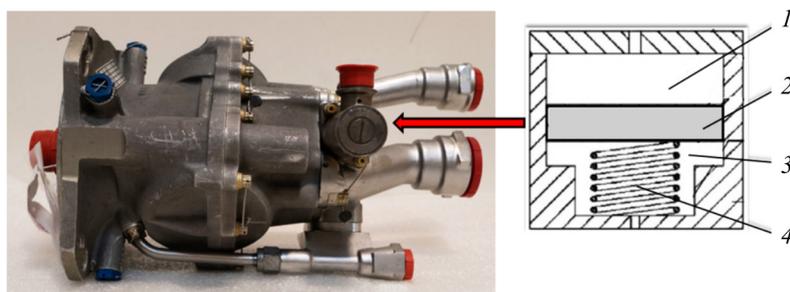


Рис. 6. Аксиально-плунжерный насос гидросистемы Boeing 747 со встроенным глушителем: 1 – камера высокого давления; 2 – поршень; 3 – камера низкого давления; 4 – пружина

Совершенно новую область исследований для повышения эксплуатационных характеристик аксиально-плунжерных гидромашин открывают мониторинг состояния посредством сбора сигналов со специальных датчиков параметров, диагностика неисправностей системы и прогнозирование неисправностей в режиме реального времени. При создании интеллектуальной системы диагностики следует всесторонне учитывать надежность, безопасность, ремонтнопригодность, уровень отказов и аварийности.

Заключение

Рассмотрен комплекс направлений развития блоков передачи мощности для аварийных гидросистем гражданских самолетов.

Определены основные задачи дальнейших исследований в области расширения функциональных возможностей РТУ и использования интеграции с интеллектуальной компьютерной системой управления и диагностики самолета. Создание объектно-ориентированных технологий моделирования и использование концепции интеллектуального производства позволит значительно повысить эффективность разработки авиационных гидромашин и, в частности, блока передачи мощности.

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

1. Петров П.В., Целищев В.А. Основы алгоритмического моделирования нелинейных гидромеханических устройств: учеб. пособие / Уфим. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2012. – 137 с.
2. Коева А.А., Петров П.В., Целищев В.А. Концепция исследований устройств гидроавтоматики сложных энергетических систем // Вестник УГАТУ. – 2012. – Т. 16, № 5 (50). – С. 103–108.
3. Петров П.В., Целищев В.А., Коева А.А. Методические основы исследования систем автоматического регулирования авиационного двигателя // Вестник УГАТУ. – 2012. – Т. 16, № 8 (53). – С. 7–14.
4. Петров П.В., Целищев В.А. Численное моделирование работы систем автоматического управления авиационного газотурбинного двигателя на установившихся и переходных режимах // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2019. – № 57. – С. 7–16.
5. Коева А.А., Петров П.В., Целищев В.А. Автоматизация вычислительного эксперимента с помощью программного комплекса HMAR // Вестник УГАТУ. – 2013. – Т. 17, № 3 (56). – С. 166–173.
6. Петров П.В., Коева А.А., Целищев В.А. Обобщенный анализ динамических характеристик электрогидроусилителя // Вестник УГАТУ. – 2014. – Т. 18, № 3 (64). – С. 40–47.

References

1. Petrov P.V., Tselishchev V.A. *Fundamentals of algorithmic modeling of nonlinear hydromechanical devices*: textbook. stipend. Ufa: UGATU, 2012. 137 p.
2. Koeva A.A., Petrov P.V., Tselishchev V.A. *The concept of re-search of hydroautomatics devices of complex energy systems*. Vestnik UGATU. 2012. Vol. 16. No. 5 (50). pp. 103-108.
3. Petrov P.V., Tselishchev V.A., Koeva A.A. *Methodological foundations of the study of automatic control systems of an aircraft engine*. Vestnik UGATU. 2012. Vol. 16. No. 8 (53). pp. 7-14.

4. Petrov P.V., Tselishchev V.A. *Numerical simulation of the operation of automatic control systems of an aviation gas turbine engine in steadystate and transient modes*. Vestnik PNIPU. Aerospace technology. 2019, no. 57, pp. 7-16
5. Koeva A.A., Petrov P.V., Tselishchev V.A. *Automation of a computational experiment using the HMAR software complex*. Vestnik UGATU. 2013, vol. 17, no 3 (56), pp 166-173.
6. Petrov P.V., Koeva A.A., Tselishchev V.A. *Generalized analysis of the dynamic characteristics of the electric hydraulic booster*. Vestnik UGATU. 2014, vol. 18, no 3 (64), pp 40-47.

Об авторах

Поляков Николай Александрович (Москва, Россия) – заместитель директора центра проектирования, холдинг «Технодинамика» (115184, Москва, ул. Большая Татарская, д. 35, стр. 5, e-mail: polyakovna@tdhc.ru).

Соловьева Анна Александровна (Уфа, Россия) – старший преподаватель кафедры «Прикладная гидромеханика» ФГАОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (450008, Уфа, ул. К. Маркса, д. 12, e-mail: kerargirit@rambler.ru).

Целищев Владимир Александрович (Уфа, Россия) – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Прикладная гидромеханика» ФГАОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (450008, Уфа, ул. К. Маркса, д. 12, e-mail: pgl.ugatu@mail.ru).

About the authors

Nikolai A. Polyakov (Moscow, Russian Federation) – Associate Director of Design Center, Holding “Technodinamika” (35, p. 5, Bolshaya Tatarskaya st., Moscow, 115184, Russian Federation; e-mail: polyakovna@tdhc.ru).

Anna A. Solovyeva (Ufa, Russian Federation) – Senior Lecturer of Applied Hydromechanics Department, Ufa State Aviation Technical University (12, K. Marx st., Ufa, 450008, Russian Federation; e-mail: kerargirit@rambler.ru).

Vladimir A. Tselischev (Ufa, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Applied Hydromechanics Department, Ufa State Aviation Technical University (12, K. Marx st., Ufa, 450008, Russian Federation; e-mail: pgl.ugatu@mail.ru).

Получено 08.10.2021

Принято 11.11.2021

Опубликовано 28.01.2022