

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

**ГИДРОПРИВОД
ПОСТОЯННОЙ ЧАСТОТЫ
ВРАЩЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА
САМОЛЕТА**

**Методические указания
к лабораторной работе**

САМАРА 1996

Составитель *К. А. Нападаев*

УДК 62-50(075)

Гидропривод постоянной частоты вращения электрического генератора самолета: Метод. указания к лабораторной работе / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. *К. А. Нападаев*. Самара, 1996. 16 с.

Рекомендуются для студентов специальности 1301 при изучении курса «Системы оборудования самолетов» и специальности 1310 при изучении курсов «Системы автоматики ЛА» и «Конструкция агрегатов». Изложены назначение и принцип действия гидропривода постоянной частоты вращения электрического генератора переменного тока и описаны конструкции агрегатов его гидравлической системы, приведены вопросы для контроля знаний студентов.

Подготовлены на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева

Рецензент *А. Е. Жуковский*

ВВЕДЕНИЕ

Развитие летательных аппаратов сопровождается усложнением их систем оборудования и ростом потребления энергии, в частности электроэнергии. Общая мощность источников электроэнергии на некоторых типах современных тяжелых самолетов превышает 500 кВт, а их масса в совокупности с электроприводом и сетями электропередач может составить 1,5...2% от массы самолета.

По условиям эксплуатации и массовым характеристикам источники и потребители переменного тока высокого напряжения наиболее полно отвечают предъявляемым к ним требованиям и широко применяются в радиосистемах и пилотажно-навигационном оборудовании, в бытовом электрооборудовании, в системах программной выработки топлива, в системах механизации крыла и управления вооружением и в ряде других систем. Привод источников электроэнергии осуществляется, как правило, от ротора двигателя, частота вращения которого может изменяться в два и более раза. Работа в таком широком частотном диапазоне значительно усложнила и утяжелила бы как источники, так и потребители электроэнергии. Поэтому генераторы переменного тока приводятся во вращение от ротора двигателя через привод постоянной частоты вращения. Такой гидромеханический привод, рассматриваемый в данных методических указаниях, включает в себя все элементы, присущие гидравлической системе самолета:

- гидравлические насосы — источники давления (расхода) гидросмеси;
- приводные агрегаты — гидроцилиндры, гидромоторы;
- регуляторы, дроссели, клапаны, распределители;
- гидравлический бак;
- трубопроводы;
- систему контроля технического состояния.

Поэтому изучение гидромеханического привода постоянной частоты вращения генератора в рамках лабораторной работы является весьма полезным при освоении систем авиационной техники.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ГИДРОПРИВОДА ПОСТОЯННОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Принцип действия гидропривода основан на свойстве дифференциального редуктора (рис. 1) производить алгебраическое сложение частот вращения двух входных валов на третьем выходном валу. Легко показать, что при одинаковом количестве зубьев шестерен редуктора справедливо равенство $\omega_3 = \omega_1 \pm 2\omega_2$. Очевидно, что с

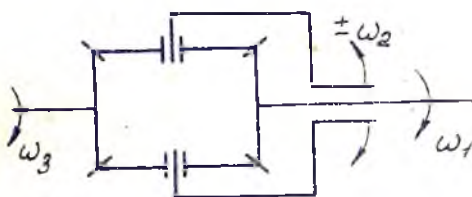


Рис. 1. Схема дифференциального редуктора

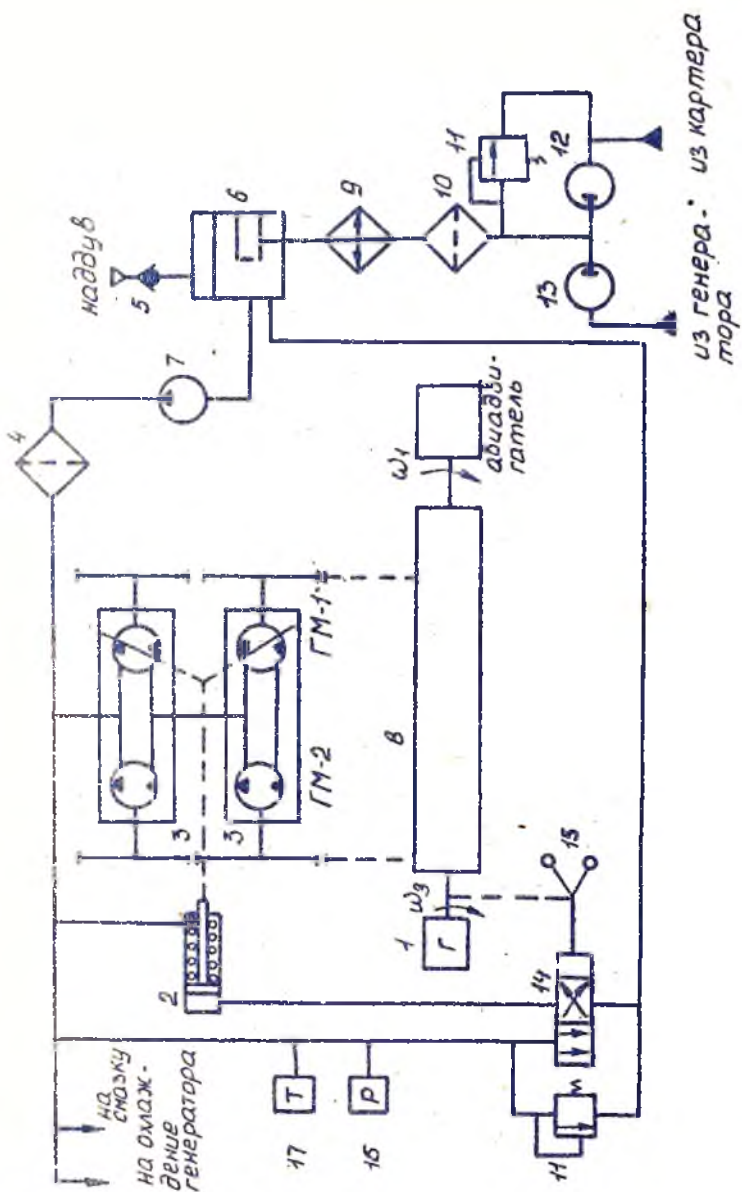
изменением передаточных отношений шестерен или схемы редуктора соотношение частот вращения валов изменится, но принцип алгебраического сложения сохранится.

Отсюда следует, что, присоединив один вал редуктора к ротору авиационного двигателя с частотой вращения ω ,

и регулируя частоту вращения второго вала ω_2 , можно обеспечить постоянство частоты вращения ω_3 третьего вала независимо от режима работы двигателя.

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРИВОДА ПОСТОЯННОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Генератор переменного тока постоянной частоты приводится от левого по схеме вала дифференциала δ , привод правого вала осуществляется от коробки приводов авиационного двигателя (рис. 2). Третий вал дифференциала приводится во вращение через регулируемые гидромашинны $З$, которые также получают механическую энергию от входного (правого) вала. Регулирование скорости вращения выходных валов гидромашинны осуществляется изменением угла



из генера.: из картера тора

Рис. 2. Гидравлическая схема привода постоянной частоты вращения электрического генератора

установки наклонной шайбы гидронасосов с помощью сервопоршня 2.

Чувствительным элементом системы регулирования частоты вращения являются центробежные грузики 15, вал привода которых соединен с валом генератора. Грузики 15 связаны с золотниковым распределителем 14, который управляет сервопоршнем, соединенным с наклонной шайбой гидромашины ГМ-1. Изменяя угол наклонной шайбы гидромашины, можно регулировать частоту вращения третьего вала дифференциального редуктора (см. рис. 1).

Кроме того, на схеме показаны: насос подкачки масла 7 для обеспечения работы гидромашин в бескавитационном режиме и компенсации утечек; насос откачки масла 13 из системы смазки и охлаждения генератора; насос откачки масла 12 из картера привода (оба насоса подают масло через внешний топливомаслянный теплообменник 9); предохранительные клапаны 11, защищающие агрегаты привода от повышенного давления масла при неисправностях и низких температурах масла (в момент запуска); масляные фильтры 4, 10, датчики давления 16 и температуры масла 17, служащие для контроля состояния привода в полете; гидравлический бак 6 с сепаратором-пеноотделителем.

КОНСТРУКЦИЯ И РАБОТА АГРЕГАТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ ПРИВОДА ПОСТОЯННОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Гидравлическая передача привода частоты вращения, служащая для преобразования ω_1 в ω_2 , состоит из двух параллельно включенных блоков гидромашин

и является активным звеном, определяющим постоянство частоты вращения ротора генератора. Каждый блок состоит из двух механически не связанных роторных аксиально-плунжерных гидромашин ГМ-1 и ГМ-2 (рис. 3). Угол установки наклонной шайбы

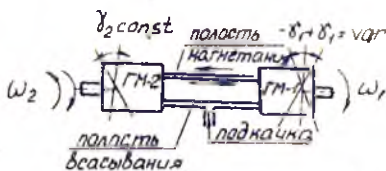


Рис. 3. Схема соединения гидромоторов ГМ-1 и ГМ-2

может изменяться при работе от -8 до $+8^\circ$, обеспечивая переменную производительность ГМ-1. Угол установки наклонной шайбы ГМ-2 постоянен, следовательно, его производительность, определяемая объемом проходящей через него за один оборот жидкости, постоянна. Между вращающимися блоками цилиндров гидромашин расположен неподвижный торцевой распределительный золотник 1, в

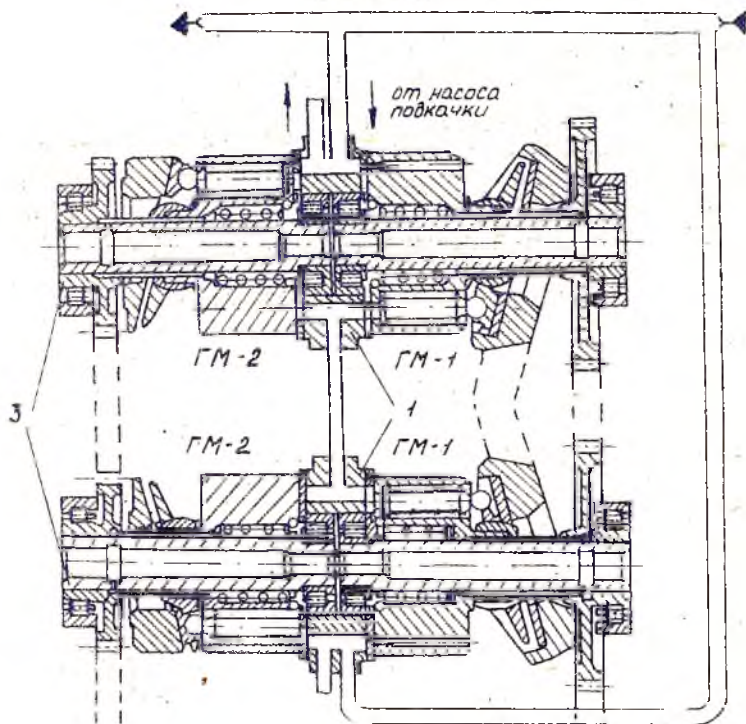


Рис. 4. Конструктивная схема блока гидромоторов ГМ-1, ГМ-2

котором имеются полости нагнетания и всасывания, общие для обеих гидромашин (рис. 4). Полость всасывания золотника соединена с насосом подкачки для обеспечения бескавитационной работы и компенсации утечек жидкости и находится под постоянным давлением подкачки. Давление

в полости нагнетания зависит от нагрузки на генератор. Нетрудно заметить, что соединенные таким образом гидромашин (см. рис. 3) имеют три режима работы:

а) $\gamma_1 > 0$ — гидромашин вращаются в противоположные стороны;

б) $\gamma_1 < 0$ — направления вращения гидромашин совпадают;

в) $\gamma_1 = 0$ — гидромашин ГМ-2 не вращается (производительность ГМ-1 равна нулю).

Режим *а* называется режимом «докрутки» и имеет место, когда частота вращения входного вала (ротора двигателя) меньше требуемой для обеспечения необходимой частоты вращения вала генератора. В дифференциальном редукторе происходит сложение частот вращения входного вала ω_1 и вала ГМ-2 ω_2 (с учетом передаточных отношений зубчатых зацеплений).

Режим *б* называется режимом «скрутки» и имеет место, когда частота вращения ω_1 входного вала больше требуемой величины. В дифференциальном редукторе происходит вычитание частоты вращения ГМ-2 ω_2 из частоты вращения входного вала ω_1 .

Режим *в* называется режимом «прямой передачи» и имеет место, когда частота вращения входного вала соответствует необходимой частоте вращения вала генератора, т. е.

$$\omega_2 = 0.$$

Очевидно, что при переходе с режима *а* на режим *б* направление движения жидкости между ГМ-1 и ГМ-2 меняется на противоположное и машин ГМ-2 из моторного режима переходит в насосный, а машин ГМ-1 — из насосного в моторный. Таким образом, в системе используется свойство обратимости гидромашин. Независимо от режима работы гидропередачи давление в полости нагнетания определяется нагрузкой на генератор. Обоснуйте это самостоятельно, базируясь на третьем законе Ньютона.

ГИДРОЦИЛИНДР

Гидроцилиндр (рис. 5) служит для изменения угла установки шайб гидромашин ГМ-1. Гидромашины являются мощными агрегатами с давлением в полостях нагнетания до 20 МПа, поэтому для управления наклонными шайбами применен гидроусилитель, выходным звеном которого является гидроцилиндр.

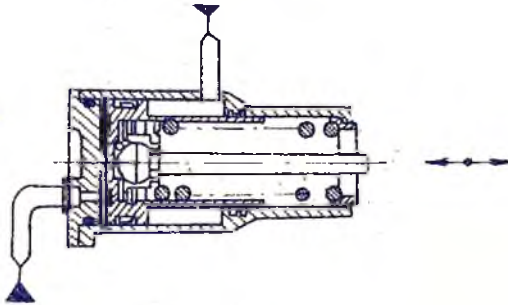


Рис. 5. Конструктивная схема гидроцилиндра

Рабочие площади поршня справа и слева (по рисунку) не одинаковы и подобраны таким образом, чтобы с учетом действия пружины, предназначенной для установки системы в исходное положение перед запуском, обеспечить необходимые усилия на наклонных шайбах и предельно упростить систему управления. В данной конструкции для управления положением поршня достаточно управлять давлением в левой полости гидроцилиндра. В правую полость подается постоянное давление из насоса подкачки. При одинаковых давлениях в полостях цилиндра поршень занимает крайнее правое положение.

ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ РЕГУЛЯТОР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Центробежный регулятор (рис. 6) управляет подачей жидкости в левую полость гидроцилиндра (см. рис. 5) в зависимости от отклонения частоты вращения генератора от заданной величины. Грузики 1 центробежного регулятора

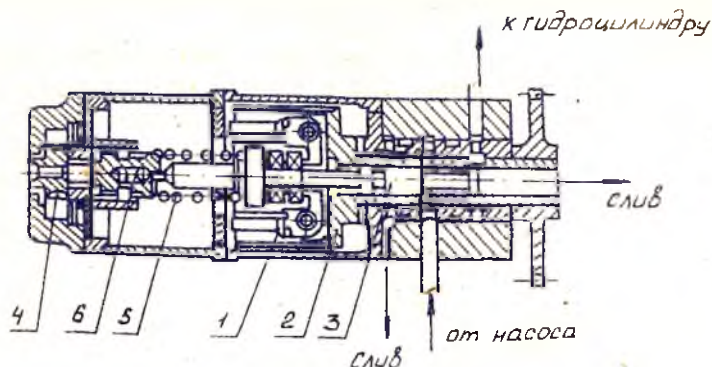


Рис. 6. Конструктивная схема регулятора частоты вращения

установлены на вращающейся гильзе 2 золотника 3. Гильза 2 через зубчатую передачу соединена с валом генератора, и, следовательно, ее частота вращения пропорциональна частоте вращения вала генератора. Конструкция золотника с вращающейся гильзой обеспечивает высокую чувствительность регулятора и, соответственно, требуемую точность регулирования частоты вращения генератора.

Настройка частоты вращения вала генератора производится винтом 4, затягивающим пружину 5, усилие которой компенсирует усилие от центробежных сил грузиков 1. На установившемся режиме работы пояски золотника перекрывают окна в гильзе таким образом, что обеспечивается давление в левой полости гидроцилиндра (см. рис. 5), необходимое для установки наклонной шайбы ГМ-1 в соответствующее положение. При изменении частоты вращения входного вала или нагрузки на генератор равновесие сил на золотнике нарушится и он переместится в осевом направлении, что вызовет перемещение поршня и угла установки наклонных шайб ГМ-1 на восстановление заданной частоты вращения. Новое положение поршня гидроцилиндра из-за наличия пружины потребует другого давления в левой полости и, следовательно, другого положения золотника относительно гильзы, что будет соответствовать другой частоте вращения грузиков. Поэтому правильнее говорить не о

полном восстановлении частоты вращения вала генератора, а о сохранении ее в пределах допуска (статической погрешности). Упомянутая ошибка регулирования связана со статизмом, внесенным в систему регулирования в связи с упрощением системы, о котором мы говорили выше при рассмотрении конструкции гидроцилиндра.

Во всех основополагающих нормативных документах, например НЛГС, содержится требование, чтобы конструкция самолетных агрегатов ни при каких отказах не повреждала соседние агрегаты и конструкцию самолета. В нашем случае к таким отказам относится нарушение трансмиссии к центробежному регулятору с последующим резким возрастанием частоты вращения ротора генератора. Корпус генератора не рассчитан на удерживание кусков разлетающегося ротора. Для предотвращения разгона ротора генератора при остановке гильзы 2 и перемещении золотника под действием пружины 5 на увеличение частоты вращения генератора вступает в действие пружина 6, перемещающая золотник дальше до упора. При этом полость гидроцилиндра соединяется со сливом и наклонная шайба ГМ-1 устанавливается в положение максимальной «скрутки». Таким образом, даже при максимальной частоте вращения входного вала частота вращения вала генератора не превысит максимально допустимого значения. Другим средством защиты является механизм расцепления входного вала привода с валом двигателя по команде экипажа или автоматических систем защиты. Механизм представляет собой зубчатую муфту, работа которой ясна из рис. 7. Механизм может возвращаться в исходное состояние кольцом, расположенным на корпусе привода.

БАК С ЦИКЛОНОМ

Масло в приводе является рабочим телом трех основных систем: системы смазки, системы охлаждения и гидросистемы. Из этих систем наиболее жесткие требования предъявляются к рабочему телу гидросистемы. Основные из них — это недопустимость перерывов в подаче масла (даже кратковременных) и отсутствие нерастворенных газов в масле. Поэтому часть картера в корпусе привода (рис. 8) отделена и представляет собой маслобак с циклоном, предназначен-

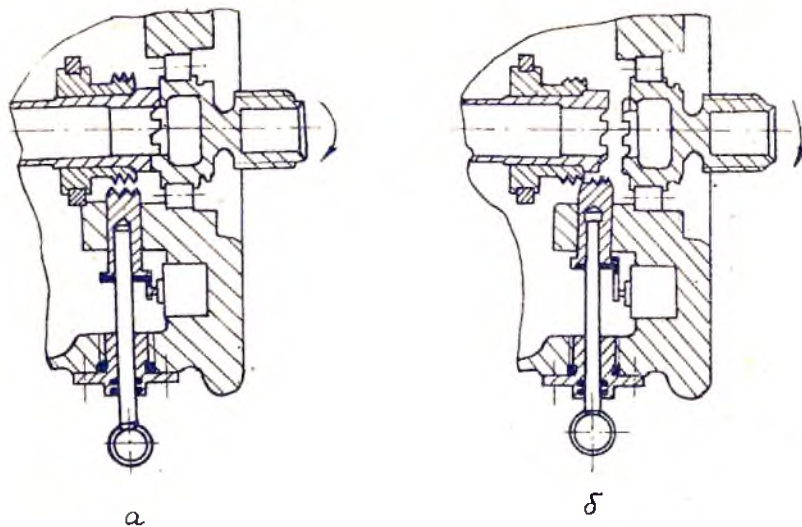


Рис. 7. Схема зацепления привода постоянной частоты вращения с валом авиационного двигателя: *а* — в сцепленном состоянии; *б* — в разъединенном состоянии

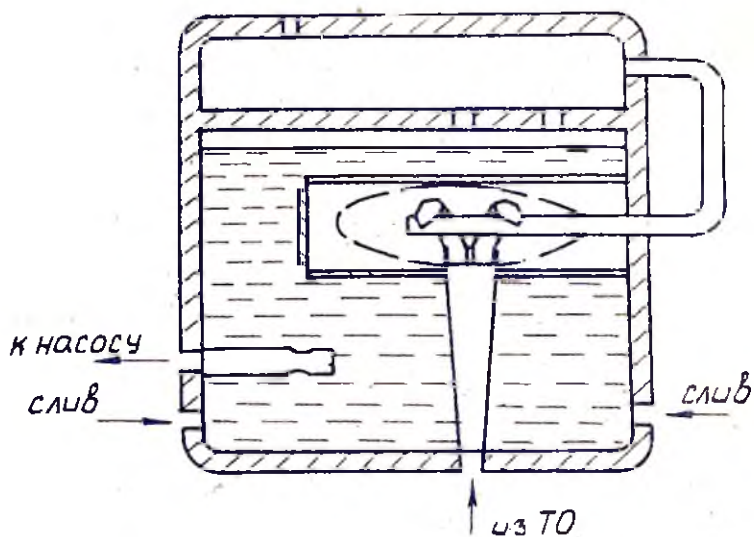


Рис. 8. Схема гидравлического бака с воздухоотделителем

ным и для отделения воздуха от масла и обеспечения бесперебойного питания маслом гидросистемы при различных пространственных положениях привода. Бак разделен перегородкой с отверстиями на верхнюю и нижнюю полости. В нижней полости расположен циклон, представляющий собой центробежный воздухоотделитель. Циклон состоит из полого цилиндра и подведенных к нему двух трубок — одна по касательной к поверхности, вторая — по оси цилиндра. Масловоздушная смесь поступает с большой скоростью по касательной во внутрь цилиндра, разделяясь на воздух и масло (вследствие различных плотностей). Масло по стенкам цилиндра стекает в бак, а воздух по центральной трубке отводится в верхнюю полость бака. Количество масла в баке таково, что всасывающий патрубок насоса подкачки при любых пространственных положениях привода погружен в масло. Для выравнивания давлений в баке и картере в верхней полости бака имеются отверстия. В нижней полости бака также имеются небольшие отверстия для перетекания масла из бака в картер при стоянке и заправке привода. Отверстия в перегородке служат для перетекания воздуха и масла из одной полости бака в другую при наклонах привода и действии отрицательных перегрузок, а также при забросе масла в верхнюю полость из циклона.

НАСОС ПОДКАЧКИ

Насос подкачки является источником энергии в гидросистеме управления приводом. Параллельно он используется для подпитки маслом гидropередачи и смазки под давлением некоторых узлов трения. В идеальном случае при отсутствии утечек гидropередача могла бы работать и без подпитки, но реальная гидropередача без подпитки работать не может.

По конструкции насос подкачки выполнен шестеренным с внутренним зацеплением шестерен, имеющих циклоидальный профиль зубьев. Внутренняя шестерня имеет на один зуб меньше, чем наружная и установлена с эксцентриситетом относительно наружной шестерни. Аналогично выполнены насосы откачки из картера и генератора, причем насосы подкачки и откачки из картера и генератора представляют собой единый блок.

Все насосы приводятся во вращение от вала генератора, что

обеспечивает постоянство частоты вращения и, следовательно, подачи масла на любых режимах работы двигателя. Известно, что давление за насосами вытеснительного типа определяется гидросопротивлением потребителей и напорных магистралей. Поскольку привод имеет широкий температурный диапазон работы (следовательно, в широком диапазоне изменяется вязкость и плотность масла) давление будет меняться, хотя постоянство частоты вращения насоса обеспечено. Это приведет к дополнительным погрешностям в поддержании постоянства частоты вращения вала генератора системой регулирования. Дополнительная статическая ошибка регулирования появляется вследствие изменения равновесного положения поршня цилиндра управления (см. рис. 4) при изменении (на одинаковую величину) давлений в рабочих полостях цилиндра. Для стабилизации рабочего давления масла в напорной магистрали насоса подкачки установлен клапан II (см. рис. 2). Здесь уместно заметить, что в процессе проектирования гидросистемы конструктор должен самым тщательным образом проанализировать влияние всех видов погрешностей на выходные параметры системы еще на этапе схемных проработок. Предлагается самостоятельно проанализировать влияние температуры масла на работу гидросистемы привода при постоянном давлении в напорных магистралях.

ФИЛЬТРАЦИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ

Чистота рабочей жидкости — залог безотказной и долговременной работы агрегатов гидросистемы. Микронные зазоры в золотниковых и плунжерных парах, высокие удельные давления в контактах плунжеров с наклонными шайбами и в зубчатых передачах предполагают высокую чистоту и точность изготовления перечисленных деталей и узлов конструкции. Посторонние частицы в масле вызывают абразивное воздействие на детали агрегатов с последующим ускорением их износом и выходом из строя. Даже при «чистой» сборке и отсутствии посторонних частиц в заправляемом масле частицы появляются в результате естественного износа агрегатов, особенно в процессе приработки. Это и диктует необходимость установки фильтров в любой гидросистеме.

В приводе установлено два фильтра грубой (рис. 9) и тонкой

(рис. 10) очистки. Полнопроточный фильтр тонкой очистки установлен за насосом подкачки и фильтрует масло, поступающее в системы гидромашин, регулирования и смазки. Основная деталь — фильтроэлемент 1 представляет собой металлическую цилиндрическую сетку сложного плетения, напаянную по торцам на два кольца, по которым производится закрепление и уплотнение фильтроэлемента. Тонкость фильтрации сетки — 20 мкм. В большинстве полетных ситуаций выгоднее пойти на повышенный износ агрегата, чем получить его отказ. Поэтому в конструкции фильтра предусматривается перепускной клапан 2 на случай засорения сетки фильтра. Клапан срабатывает при повышении перепада давлений на фильтроэлементе, пропуская масло в гидросистему помимо сетки. Сигнал о засорении фильтра экипажу в этом случае не подается (система работает нормально), но сам факт засорения фильтроэлемента свидетельствует о повышенном износе каких-то агрегатов привода. Поэтому в конструкции фильтра предусмотрен сигнализатор засорения 3 в форме кнопки, «выскакивающей» из корпуса фильтра при срабатывании перепускного клапана. Выступление кнопки обнаруживается при послеполетном осмотре агрегата. Действия обслуживающего персонала при этом регламентированы руководством по эксплуатации. Конструкцию механизма «выбрасывания» кнопки предлагается изучить самостоятельно.

Фильтр грубой очистки (см. рис. 9) установлен после насосов откачки и предназначен для фильтрации масла из картера и генератора перед подачей его в бак привода.



Рис. 9. Масляный фильтр грубой очистки

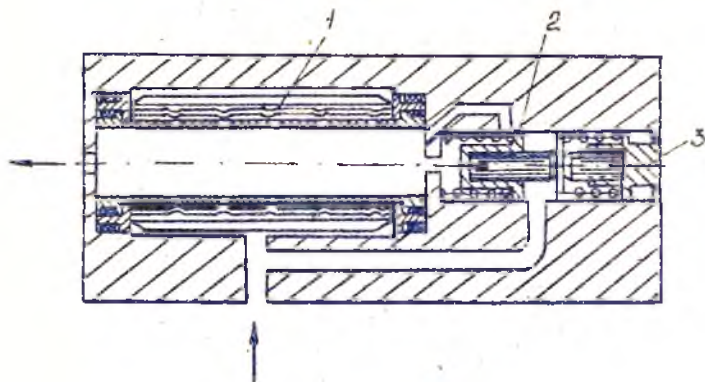


Рис. 10. Масляный фильтр тонкой очистки

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ

Привод постоянной частоты вращения генератора является компактным мощным агрегатом, и работа его на нерасчетном режиме может привести к быстрому разогреву, разгерметизации и выбросу масла с последующим его возгоранием.

Задача системы контроля — выдача сигналов экипажу и в автоматические системы о нерасчетных режимах работы для принятия мер, предотвращающих опасные последствия. С этой целью в приводе установлены сигнализатор падения масла 16 в линии подкачки и сигнализатор опасной температуры масла 17 (см. рис. 2). Эти сигнализаторы охватывают весь комплекс аварийных ситуаций в приводе, которые могут повлечь опасные последствия, а именно:

- потеря масла вследствие внешней негерметичности;
- прекращение работы системы внешнего охлаждения из-за отказа насосов откачки (срез рессоры привода насосов);
- переполнение привода жидкостью (топливом) при неисправности внешнего теплообменника;
- сухое трение в трансмиссии при засорении системы смазки и др.

При получении сигналов по команде экипажа или автоматики производится расцепление привода постоянной частоты вращения и коробки приводов агрегатов авиационного двигателя механизмом расцепления привода.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Для чего нужен привод постоянной частоты вращения?
2. Каково назначение дифференциального редуктора?
3. Что такое производительность машины (мотора, насоса)?
4. Как и от чего зависит давление в полости нагнетания гидropередачи?
5. Как и почему изменяется частота вращения ГМ-2 при изменении угла установки наклонной шайбы ГМ-1?
6. Что такое статическая ошибка регулирования?
7. Как и почему изменение нагрузки на генератор влияет на режим работы привода (положение органов регулирования гидросистемы)?
8. Какие системы защиты имеются в приводе и как они работают?
9. Для чего в системе установлен насос подкачки?
10. как влияет температура масла на работу гидроусилителя системы?
11. Каково назначение перепускного клапана в фильтре тонкой очистки?
12. Для чего предназначен предохранительный клапан?

ГИДРОПРИВОД ПОСТОЯННОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА САМОЛЕТА

Составитель *Константин Александрович Навасов*

Редактор Г. А. Усачева

Техн. редактор Н. М. Каленюк

Корректор Т. И. Шелокова

Подписано в печать 20.05.96. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл.печ.л. 1,16. Усл.кр.-отт. 1,28. Уч.-издл. 1,0.
Тираж 200 экз. Заказ 63. Арт. С—34/96.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени
академика С. П. Королёва. 443086 Самара, Московское шоссе, 34.

ИПО Самарского государственного аэрокосмического
университета. 443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.