

МЕТОД ОПИСАНИЯ СТРУКТУРЫ И РАБОТЫ ГИДРОСИСТЕМ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НА ОСНОВЕ ТЕНЗОРОВ

Важнейшим этапом составления алгоритмов диагностирования гидросистем (ГС) воздушных судов (ВС) является разработка их диагностических моделей. При этом для описания ГС наиболее предпочтительными являются аналитические модели [1], позволяющие строить близкие к оптимальным по точности диагностирования алгоритмы. Однако в настоящий момент для описания работы ГС ВС аналитические модели не используются. Главной причиной этого является сложность их структуры, что обусловлено многоконтурностью ГС, высоким уровнем резервирования, большим числом компонентов и режимов работы ГС. Под режимом работы будем понимать процесс выполнения ГС какой-либо одной возложенной на неё функции или одновременного выполнения нескольких функций, что сопровождается работой соответствующих исполнительных устройств (например, режим выпуска шасси). Режим, в котором воздействия на исполнительные устройства ГС отсутствуют, назовём свободным.

Для преодоления проблемы составления аналитической модели ГС ВС в [2] предлагается разработать обобщённое описание структуры ГС (её обобщённую схему), из которого как частный случай вытекал бы любой предусмотренный режимами работы вариант соединения её агрегатов. Это описание должно позволять строить аналитические модели ГС для всех режимов работы. Причем необходимо, чтобы процесс анализа структуры ГС и построения её модели можно было бы реализовать на ЭВМ.

Для синтеза такого обобщённого описания ГС ВС целесообразно использовать представление ГС посредством квадратных матриц состава M' и соединений C . Эти матрицы могут быть получены для системы любой сложности на основе анализа её структуры. Причём каждому режиму работы ГС соответствует своя матрица C , а матрица M' при смене режимов работы остаётся неизменной.

Матрица состава – это диагональная матрица, в качестве элементов которой будем использовать аналитические модели, которые описывают преобразования, выполняемые компонентами ГС над параметрами рабочей жидкости. Такие модели для большинства гидроустройств известны [1, 2], а в случае невозможности синтеза аналитического описания, модель может быть получена экспериментально и задана в виде таблицы или файла данных.

Элементами матрицы соединений являются символы, обозначающие наличие

или отсутствие соединений между компонентами ГС: {1} и {0}, соответственно.

Допуская справедливость для ГС принципа линейной суперпозиции, согласно уравнению

$$M = C M', \quad (1)$$

можно получить матрицу M , описывающую и состав, и соединения компонентов ГС для какого-либо конкретного режима работы. Путём анализа этой матрицы, который предлагается реализовать на ЭВМ, в структуре ГС можно выделить узлы и контуры. Это позволяет применить законы Кирхгофа для построения диагностической модели ГС для данного режима в виде системы уравнений, в которой неизвестными величинами являются параметры рабочей жидкости.

Смену режимов работы ГС ВС можно представить как изменение матрицы C при помощи матрицы преобразования T той же размерности. Например, если посредством матрицы T_j описать изменения в структуре ГС при подключении к источникам гидроэнергии j -го исполнительного устройства, то процесс смены режимов работы ГС можно промоделировать следующим выражением

$$C' = C + T_j, \quad (2)$$

где C и C' – соответственно матрицы соединений ГС до и после подключения j -го исполнительного устройства.

Допустим, что множество матриц T , описывающих подключение (отключение) каждого из исполнительных устройств анализируемой ГС, получено и хранится в памяти ЭВМ. Тогда процесс функционирования ГС (смены её режимов) может быть представлен как последовательное изменение во времени матрицы C , соответствующей начальному состоянию системы (свободному режиму), при помощи совокупности матриц T . При этом, отслеживая каждое изменение матрицы C , можно динамически получать на ЭВМ систему уравнений для каждого применяемого режима, что в конечном итоге позволит повысить эффективность применения диагностических систем.

Таким образом, представление структуры ГС ВС при помощи матриц состава и соединений позволяет строить аналитические модели ГС любой сложности, а представление её работы как последовательной во времени смены матриц C – получить способ описания её работы. При этом работа инженера сводится к составлению матрицы состава ГС, матрицы соединений для свободного режима её работы и совокупности матриц преобразований, описывающих подключение (отключение) каждого из исполнительных устройств ГС. Вся остальная работа по построению модели ГС может быть выполнена ЭВМ.

Для получения эффективного способа описания ГС её целесообразно представить как геометрический объект, состав компонент которого описывается матрицей M' , а система координат определяется путями распространения гидроэнергии и представляется совокупностью матриц соединений C , построенных для всех возможных режимов работы ГС и образующих группу преобразований C [3]. Тогда формулу преобразования, описывающую процедуру синтеза геометрического объекта ГС BC , с учётом выражения (1) можно записать в следующем виде

$$M = C M'. \quad (3)$$

Поскольку уравнение (3) описывает линейное преобразование, то объект M является тензором, а C – тензором преобразования (тензор является частным случаем геометрического объекта, для которого характерна линейная формула преобразования).

Тензор M – это совокупность матриц M , описывающих структуру ГС во всех возможных режимах работы, и, следовательно, представление ГС посредством тензора M и есть требуемое *обобщённое описание структуры ГС BC* .

Поэтому любую ГС можно представить двумерным тензором M . Однако использовать его удобно лишь для описания несложных ГС. Попытки применить его для представления реально используемых на ВС многоконтурных ГС со сложной структурой дают в результате тензоры большой размерности, что затрудняет анализ работы системы. Это обусловлено тем, что при любом, даже самом незначительном, изменении в структуре одного какого-либо контура ГС необходимо заново проводить анализ всей системы, проводя математические действия с двумерными матрицами большой размерности, что нерационально с точки зрения вычислительных затрат.

Для получения более эффективного метода описания ГС BC исходный геометрический объект представим как совокупность геометрических объектов – её частей, т. е. разделим его на части. Подобное преобразование объекта допускает геометрия тензорного анализа сетей [3, 4], которая реализует такое деление путём представления пространства-структуры ГС, образованного её компонентами и соединениями между ними, как совокупности взаимно дополняющих друг друга подпространств – структур (ППС). Количество и содержание ППС будет определяться сложностью структуры ГС BC , а также глубиной проводимого анализа. Например, в пространстве-структуре многоконтурной ГС целесообразно выделить три ППС: первое из них представляет ГС как совокупность несоединённых контуров (также геометрических объектов) без учёта их внешних связей; второе описывает входы и выходы (внешние связи) элементов первого ППС; третье раскрывает состав каждого контура (гидробаки, насосы, распределители,

дрессели и др.), а также соединения компонентов внутри контуров. Если решаемая задача требует более детального анализа ГС, то элементы третьего ППС (компоненты ГС) также могут быть представлены как геометрические объекты, для описания состава и соединений узлов которых необходимо ввести дополнительное ППС.

Для математического описания представленных таким образом ГС ВС целесообразно использовать компаунд – тензоры [3]. Компаунд-тензор – это совокупность тензоров одинаковой валентности. Так для описания ГС, в пространстве-структуре которой выделено три ППС, необходимо использовать трёхмерный компаунд-тензор M , который состоит из совокупности двумерных тензоров, описывающих контуры ГС.

Геометрическое представление ГС как сложного пространства – структуры, состоящего из нескольких ППС и описываемого компаунд-тензорами, позволяет существенно снизить размерность анализируемых тензоров (матриц) и, соответственно, уменьшить вычислительную сложность операции (2), моделирующей изменение структуры системы при смене режимов её работы. Кроме того, это позволяет применить метод диакоптики [4] для решения задачи диагностирования состояния ГС. Диакоптика даёт возможность исследовать ГС ВС не в полном составе, а лишь её часть – отдельную ГС или какой-либо её контур, если необходимости в анализе остальных нет или они были исследованы ранее.

Таким образом, предложенный тензорный метод представления структуры и работы ГС ВС позволяет получить эффективное описание ГС любой структурной сложности, а также реализовать на ЭВМ процесс составления диагностических моделей.

Библиографический список

1. Башта, Т.М. Надёжность гидравлических систем воздушных судов [Текст]/ Т.М. Башта, В.Д. Бабанская, Ю.С. Головки и др./ Под ред. Т.М. Башты. – М.: Транспорт, 1986. – 279 с.
2. Матвеевко, А.М. Проектирование гидравлических систем летательных аппаратов. Учебник для вузов [Текст]/ А.М. Матвеевко, И.И. Зверев. – М.: Машиностроение, 1982. – 296 с.
3. Крон, Г. Тензорный анализ сетей: Перевод с англ. [Текст]/ Г. Крон./ Под ред. Л.Т. Кузина, П.Г. Кузнецова. – М.: Советское радио, 1978. – 720 с.
4. Крон, Г. Исследование сложных систем по частям – диакоптика: Перевод с англ. [Текст]/ Г. Крон./ Под ред. А.В. Баранова. – М.: Советское радио, 1972. – 544 с.