

Формализация представления гидравлических сетей структурно-сложных технологических систем на основе элементной базы стандартных модулей

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского „ХАИ“

Проанализированы методы и средства диагностирования гидравлических сетей. Предложен метод диагностирования гидравлических сетей, разработанный на основе преобразования технологической схемы в ориентированный граф. Посредством математического моделирования технологического процесса и гидравлической сети произведена оценка состояния параметров диагностируемых объектов. Предлагаемые модели и методы позволяют выявить «слабые места» в технологической схеме производства, а также разработать метод решения проблемы и отладить его работу посредством моделирования технологической схемы и гидравлической сети.

Ключевые слова: контроль состояния, гидравлическая сеть, технологическая схема, математические модели и методы, моделирование, граф, алгоритм.

Введение

Проблема контроля состояния гидравлических сетей весьма актуальна на данном этапе развития технологического оборудования и способов его комбинирования. Существует множество способов комбинации технологического оборудования для получения целевого продукта. Каждый тип аппарата или трубопровода зачастую разрабатывается сугубо для данного технологического процесса. Зачастую тяжело предположить, как поведет себя вся система в реальных условиях работы. Появляется необходимость в расчетах и оценках риска аварий в определенных ситуациях.

Моделирование технологических процессов и гидравлических сетей современных технологических систем играет очень важную роль для разработки систем безопасности и предупреждения аварий на производстве. Разработчики технологического оборудования представляют паспорта, в которых указаны предельно-допустимые параметры. Но, чтобы устроить стресс-тест технологической системы для проверки систем безопасности и предупреждения аварий, необходимо запускать дорогостоящий процесс «в холостую», убытки от которого колоссальны.

Именно для удешевления продукции и обеспечения максимальной точности систем безопасности предотвращения аварий используются системы контроля состояния гидравлических сетей структурно-сложных технологических систем [1].

Существует множество методов контроля состояния гидравлических сетей.

Первый метод – *статопараметрический*. Контролируемыми переменными являются величина утечки рабочей жидкости, давление, коэффициент подачи и её расход. Метод основан на измерении переменных установившегося дросселированного потока рабочей жидкости. Статопараметрический метод может использоваться для испытания всех элементов гидравлических сетей и на данный момент является наиболее распространённым методом контроля состояния [1, 2].

Наименее трудоёмкий метод контроля состояния – *кинематический* метод. Он определяет общее техническое состояние гидропривода по скорости перемещения исполнительных элементов. Согласно этому методу общую оценку состояния гидравлической сети можно провести визуально, например, при значительном снижении скорости перемещения штока поршня. Для получения точных данных о перемещении исполнительных элементов данных можно использовать акселерометры. Подключив их к компьютеру и используя специальное программное обеспечение (ПО), можно получить диаграмму ускорения перемещения рабочих органов механизма при определённой подаче насоса. Но контроль состояния этим методом не позволит локализовать место появления неисправности [3].

Метод амплитудно-фазовых характеристик имеет и другое название - метод пульсации давления. Он основан на том факте, что между диагностическим параметром (импульсом нарастания давления) и подачей насоса (объёмным КПД) при постоянном режиме диагностирования существует определённая зависимость. В общем случае интенсивность изменения давления определяется измерением величины и времени нарастания давления [4].

Амплитуда импульса и продолжительность нарастания давления измеряются следующим образом. Гидропривод выводят на определённый режим работы, необходимо задать частоту вращения вала насоса, вязкость рабочей жидкости и давление нагружения. Затем с помощью нагрузителя резко повышается рабочее давление в напорной гидролинии до определённого значения и измеряется время нарастания давления от его исходного значения до установившегося. Для снижения погрешности время, затрачиваемое на изменение проходного сечения дросселя, должно быть строго постоянным.

В простейшем случае для упрощения процесса диагностирования фиксируют величину интенсивности изменения давления путём дифференцирования сигнала, измеряемого в гидролинии давления. Полученный сигнал сравнивают с заданным сигналом, соответствующим номинальной величине интенсивности нарастания давления, и по разности сигналов определяют техническое состояние диагностируемого объекта. Измерение амплитуды пульсаций проводят с помощью осциллографов.

Методы контроля состояния определяют исходя из поставленной перед системой диагностирования задачей. Они должны включать диагностическую модель гидравлической сети, правила измерения контролируемых переменных состояния, порядок их анализа и обработки. Высокая точность является основополагающим фактором при выборе метода контроля состояния, но ряд причин, таких, как узкие временные рамки или экономический фактор, когда владелец оборудования не имеет возможности на приобретение дополнительных тестовых аппаратов, вынуждает специалистов, занимающихся ремонтом гидроприводов, прибегать к другим способам контроля состояния, не столь точным, но отвечающим текущим требованиям [4].

Основными проблемами существующих методов контроля состояния гидравлических сетей являются: низкая точность, высокая трудоемкость, отсутствие универсальных систем контроля состояния для различного типа задач диагностирования и систем. Также один из недостатков текущих методов контроля состояния гидравлических сетей – это тот факт, что все известные методы требуют выполнения множества дополнительных расчетов и высокой квалификации специалиста. Например: чтобы моделировать работу насоса,

необходимо отдельно рассчитывать множество свойств входящей в него смеси (плотность, фазовый состав, температура, давление).

Для достижения высокой точности результатов контроля состояния необходимо затратить достаточно много времени и ресурсов, а также произвести дополнительные расчеты для того, чтобы иметь набор входных данных, используя тот или иной метод контроля состояния гидравлических сетей.

Современные предприятия, обслуживающие структурно-сложные технологические системы, уделяют достаточно много внимания моделированию и контролю состояния гидравлических сетей: ведь это дает возможность экономить денежные ресурсы компании путем снижения энергозатрат и повышения качества продукции, а также обеспечивает наименьшую вероятность аварийной ситуации на производстве.

Целью работы является разработка метода контроля состояния гидравлических сетей структурно-сложных технологических систем. Предлагаемый метод позволит систематизировать, универсализировать и повысить качество контроля состояния гидравлических сетей на базе технологических схем структурно-сложных технологических систем.

Данная работа посвящена формализации представления процесса контроля состояния гидравлических сетей с помощью технологических схем на основе элементной базы стандартных модулей.

1. Основные понятия

Процесс математического моделирования работы структурно-сложных технологических систем включает в себя несколько этапов: создание базы стандартных модулей, разработка технологической схемы, автоматизированное построение гидравлической сети, моделирование технологической схемы и гидравлической сети, оценка полученных результатов.

База стандартных модулей – набор объектов (аппараты, вентили, трубопроводы, регуляторы и т. д.), которые используются для создания технологической схемы. На основе этой базы имеется возможность построить технологическую схему практически любого промышленного предприятия. Разрабатываемая база является расширяемой, при необходимости можно добавить новый тип объекта либо модифицировать существующий. База содержит не только геометрические свойства объектов, но и множество параметров, позволяющих рассчитывать вспомогательные переменные для моделирования технологических процессов [5].

Технологическая схема – последовательное описание или графическое изображение последовательности технологических операций (процессов) и соответствующих им аппаратов, которые позволяют получить из сырья целевую продукцию. С помощью набора объектов технологической схемы создается графическая интерпретация – цифровой аналог производства (рис. 1).

Гидравлическая сеть – двудольный граф, состоящий из ребер, узлов и вершин. В контексте технологической схемы элементы ориентированного графа олицетворяют следующие связи: вершина – объект технологической схемы, объем которого значительно больше объема трубопровода (резервуар, емкость и т. д.); узел – объект технологической схемы, объем которого сопоставим с объемом трубопровода (смеситель, коллектор и т. д.); ребро – объект технологической схемы, который соединяет узлы и ребра (трубопровод).

Двудольный граф – это обозначающий граф, множество вершин которого можно разбить на две части таким образом, что каждое ребро графа соединяет какую-то вершину из одной части с какой-то вершиной другой части, то есть не существует ребра, соединяющего две вершины, из одной и той же части (рис. 2).

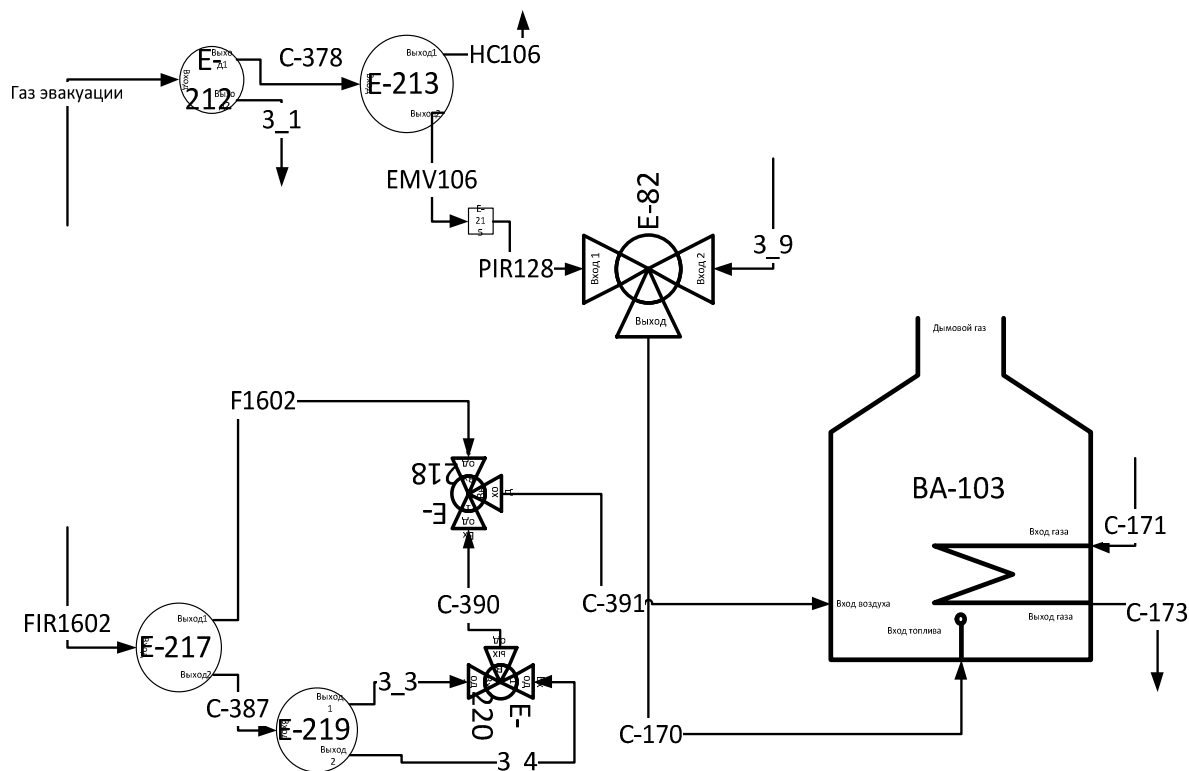


Рис. 1. Пример технологической схемы

Математическое моделирование физико-химических процессов, протекающих в элементах структурно-сложных технологических систем, – расчет переменных состояния объектов технологической схемы с целью его детального изучения. Моделирование технологической схемы можно разделить на несколько этапов: создание технологической схемы, сбор и ввод исходной информации об объектах; автоматизированное формирование гидравлической сети на базе технологической схемы; расчет переменных состояния объектов; управление расчетом [6].

Создание технологической схемы происходит путем использования базы стандартных модулей объектов. Объекты и связи между ними формируют архитектуру производства.

Для того, чтобы моделирование давало достоверные результаты, необходимо провести работу по сбору информации о реальных объектах производства и занести эту информацию в объекты технологической схемы. Но, чтобы приступить к моделированию физико-химических процессов в аппаратах схемы, необходим ещё один важный этап – построение и расчет гидравлической сети. Этот этап моделирования подлежит автоматизации, алгоритм которой представлен ниже.

2. Метод формирования представления гидравлической сети

Предлагаемый метод формирования представления гидравлической сети берет за основу разработанную технологическую схему и входные данные. Каждый тип объектов производства на этапе цифровой интерпретации имеет строго определенную роль в гидравлической сети. Но жесткой привязки нет, несколько элементов гидравлической сети могут представлять собой один объект технологической схемы, и наоборот. Ниже рассмотрен пример представления гидравлической сети на базе технологической схемы.

На рис.2 изображен пример графического представления технологической схемы, построенной с помощью базы стандартных модулей. Поступающая из резервуаров E-3 и E-4 смесь веществ смешивается в смесителе V-1, затем охлаждается в теплообменнике E-5 и разделяется в коллекторе V-2 на две части.

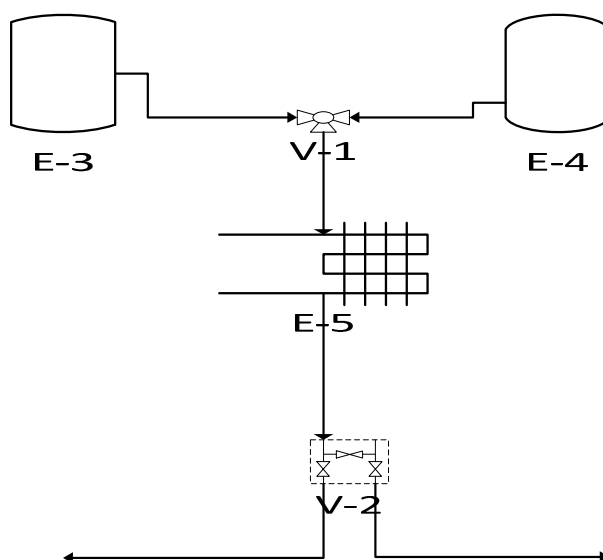


Рис. 2. Пример технологической схемы

Граф состоит из вершин, узлов, ребер. Метод формирования представления гидравлической сети, используя схематическое представление технологической системы, строго формализован и однозначен. В контексте технологической схемы элементы ориентированного графа олицетворяют следующие связи: вершина – объект технологической схемы, объем которого значительно больше объема трубопровода (резервуар, емкость и т. д.); узел – объект технологической схемы, объем которого сопоставим с объемом трубопровода (смеситель, коллектор и т. д.); ребро – объект технологической схемы, который соединяет узлы и ребра (трубопровод).

Разработан алгоритм формирования гидравлической сети (ГС), который включает в себя последовательность операций по созданию связей для обмена информацией технологической схемы (ТС) и ориентированного графа (рис. 3).

Используя разработанный алгоритм создана гидравлическая сеть в виде ориентированного графа (рис. 4). Исходя из разработанного метода преобразования технологической схемы в ориентированный граф, объекты E-3, E-4 являются вершинами графа, объекты V-1, E-5 и V-2 – узлами. Связями между узлами и вершинами служат ребра графа.

Объектов E-7 и E-8 на технологической схеме нет, но на графе имеются, т. к. трубопроводы из коллектора V-2 выходят в атмосферу, которая является объектом, объем которого значительно больше объема трубопровода, и поэтому, они служат вершинами.



Рис. 3. Алгоритм построения гидравлической сети на базе технологической схемы

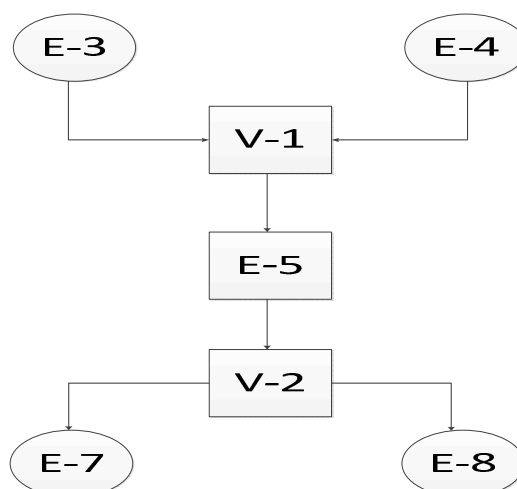


Рис. 4. Представление гидравлической сети в виде двудольного графа

3. Описание информационной технологии моделирования технологического процесса

Информационная технология моделирования технологического процесса включает этапы формирования представления и контроля состояния гидравлической сети. ПО, обеспечивающее процесс моделирования, содержит следующие модули: база стандартных модулей объектов, графическая система создания технологической схемы, система ввода и хранения информации об объектах, модуль автоматического построения гидравлической сети, система математических моделей объектов, система управления счетом, графическое отображение результатов. На рис. 5. представлена структурно-функциональная схема информационной технологии моделирования технологического процесса и обмен данными между модулями.



Рис. 5. Структурно-функциональная схема информационной технологии моделирования технологического процесса

Так, с помощью графического редактора схемы и базы стандартных модулей производится создание технологической схемы производства на основе заводской документации и паспортов аппаратов. Затем осуществляется ввод входных данных в систему ввода/вывода и хранения входных данных. После того как схема создана и данные введены, подключаются модули формирования гидравлической сети и математические модели объектов технологической схемы. Происходит обмен данными между расчетными модулями, системой управления счетом и модулем графического отображения результатов.

Используя модуль графического отображения результатов, имеется возможность выбрать нужные переменные для контроля состояния. Также имеется достаточное количество наборов начальных значений и условий для математического модуля, что позволяет производить все необходимые тесты. Следует заметить, что для моделирования технологической схемы и гидравлической сети необходимость в остановке производства полностью отпадает, т. к. данные, которые занесены в модуль ввода/вывода и хранения

входных данных, подготовлены исключительного из номинального режима работы. Также отпадает надобность в проведении дополнительных расчетов.

Все необходимые режимы работы схемы информационная технология позволяет получить автономно, не замеряя параметры. Этот факт значительно снижает ресурсоемкость контроля состояния без потери точности.

Процесс контроля состояния гидравлической сети можно считать оконченным, когда произведены расчеты со всеми необходимыми наборами входных данных. Далее результаты контроля состояния (выбранные переменные состояния при моделировании) анализируются специалистом, что в дальнейшем позволит настроить систему предупреждения аварии и безопасности, либо внести корректировки при настройках различного типа контроллеров и регуляторов для достижения максимальной эффективности производства.

В случае, когда производится модернизация либо ремонт каких-либо участков технологических объектов, процесс контроля состояния повторяется с учетом внесенных изменений.

Выводы

Повсеместное развитие технологий способствует развитию промышленности и её усложнению. Модернизируется весь перечень используемых в них аппаратов, что приводит к расширению перечня возможных неисправностей оборудования. Поэтому необходимо постоянно разрабатывать новые или модернизировать уже существующие методы контроля состояния, что не просто устраняет возникающие неполадки, но и успешно предупреждает их. В этой связи контроль состояния гидравлических сетей на основе предложенной информационной технологии может стать успешным решением современных проблем диагностирования состояния структурно-сложных технологических систем. Она сможет успешно прогнозировать изменение состояния систем, что приведёт к снижению времени простоя оборудования при ремонте, а также к снижению экономических затрат.

Предлагаемый метод систематизирует знания моделирования технологических процессов и гидравлических сетей, исключает ведение дополнительных расчетов для процесса контроля состояния. Информационная технология представляет собой полноценную систему для создания и редактирования технологических схем, ввода информации об объектах, а также включает в себя унифицированные методы расчета вспомогательных параметров, что позволяет, имея минимальный набор информации об объекте (схеме), произвести его моделирование и контроль состояния.

Основными задачами по развитию программного обеспечения задачи контроля состояния являются: расширяемость базы стандартных модулей; совершенствование и доработка математических моделей объектов; оптимизация структуры математических блоков для ускорения процесса моделирования.

Список литературы

1. Техническая диагностика гидравлических приводов [Текст] / Т. В. Алексеева, В. Д. Бабанская, Т. М. Башта и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 263 с.

2. Налимов, В. В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов [Текст] / В. В. Налимов, Н. Л. Чернова. – М. : Наука, 1965. – 340 с.

3. Поляков, С. А. Математические модели и моделирование объектов машиностроительного производства [Текст] : учеб. пособие / С. А. Поляков. – М. : Изд-во Московского государственного открытого университета, 2011. – 104 с.

4. Технические средства диагностирования [Текст] : справочник / В. В. Ключев, П. П. Пархоменко, В. Е. Абрамчук и др.; под общ. ред. В. В. Ключева. – М. : Машиностроение, 1989. – 672 с.

5. Майника, Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах [Текст] / Э. Майника. – М. : Мир, 1981. – 328 с.

6. Кафаров, В. В. Математическое моделирование основных процессов химических производств [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. В. Кафаров, М. Б. Глебов. – М. : Высш. шк., 1991. – 400 с.

Поступила в редакцию 19.11.2015

Формалізація подання гідравлічних мереж структурно-складних технологічних систем на основі елементної бази стандартних модулів

Проаналізовано методи і засоби діагностування гідравлічних мереж. Запропоновано метод діагностування гідравлічних мереж, розроблений на основі перетворення технологічної схеми в орієнтований граф. За допомогою математичного моделювання технологічного процесу і гідравлічної мережі проведено оцінювання стану параметрів діагностованих об'єктів. Пропоновані моделі й методи дозволяють виявити «слабкі місця» в технологічній схемі виробництва, а також розробити метод вирішення проблеми і налагодити його роботу за допомогою моделювання технологічної схеми і гідравлічної мережі.

Ключові слова: контроль стану, гідравлічна мережа, технологічна схема, математичні моделі й методи, моделювання, граф, алгоритм.

Information Technology of Technical Diagnosis of Hydraulic Networks of Structural -Complex Technological Systems

The methods and means of diagnosing hydraulic networks are being analyzed. A method of diagnosing hydraulic networks, developed on the basis of transformation of the technological scheme in a directed graph is proposed. Assessment of diagnosable objects parameters' status is made through mathematical modeling of technological process and the hydraulic system. The proposed models and methods allow to identify the "weak points" in the technological scheme of production, as well as to develop a method to solve the problem and debug its performance by simulation of the process flow diagram and the hydraulic network.

Keywords: control of the state, the hydraulic network, process flow diagram, mathematical models and methods, modeling, graph algorithm